

Interner Bericht

DESY F56-70/8

August 1970

DESY-Bibliothek

15. SEP. 1970

Neues universelles Verstärker-Logik-System  
für Charpak-Kammern

von

W. Neff, H.-J. Stuckenberg



# Neues universelles Verstärker-Logik-System

## für Charpak-Kammern

W. Neff, H.-J. Stuckenberg

### 1. Anforderungen an die Elektronik bei Proportional-Kammern

In [1-6] sind mehrere Verstärker-Logik-Kombinationen für den Einsatz an Proportional-Kammern beschrieben. Die Verstärker werden zum Teil mit diskreten Bauelementen, zum Teil mit integrierten Schaltkreisen der TTL- oder ECL-Technik aufgebaut. Die Logik-Schaltungen sind immer aus TTL- oder ECL-Bausteinen zusammengestellt.

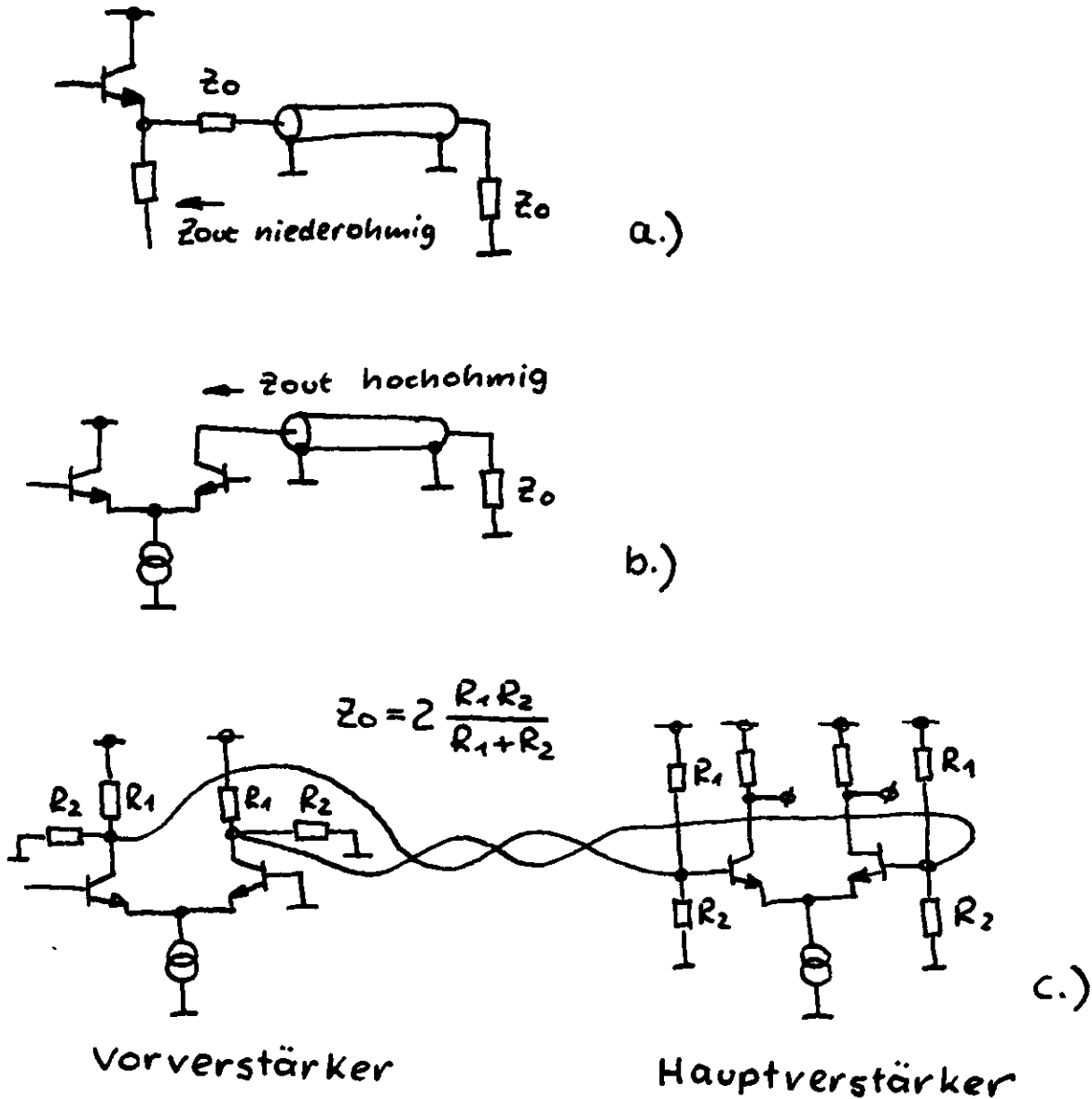
In [1] sind die Bedingungen für die Verstärker ausführlich diskutiert. Die dort empfohlene hohe Verstärkung von  $10^4$  fach orientierte sich an den 1969 benutzten Gasgemischen. Inzwischen wurden weitere Gase untersucht, die sowohl hohe Elektronenbeweglichkeit und damit gute Zeitauflösung als auch wesentlich höhere Gasverstärkungen durch erhöhte Absorption der Argon-Lichtquanten durch Halogenbeimengungen gestatten. Danach erscheint es nicht mehr nötig, die Schwelle für die minimale Empfindlichkeit auf etwa  $200 \mu\text{V}$  zu legen, sie kann voraussichtlich auf etwa  $1 - 10 \text{ mV}$  erhöht werden. Damit ergeben sich ganz neue Aspekte für den Verstärkerbau.

Offenbar genügt eine Verstärkung von einigen  $10^2$  fach gegenüber  $10^4$  fach bisher, um den digitalen Schwellwert der ECL von  $0,8 \text{ V}$  bzw. der TTL von  $2 \text{ V}$  zu erreichen. Diese Verstärkung kann man leicht auf zwei Teilverstärker aufteilen, falls, wie heute üblich, der Hauptverstärker mit der Logik von der Kammer aus Platzgründen getrennt werden muß. An der Kammer verbleibt ein Vorverstärker mit einer Verstärkung von etwa 20 fach, der entweder niederohmig mit Emitterfolgerausgang sein Spannungssignal über ein Koax-Kabel abgibt oder konstanten Strom aus Kollektoren in ein Koax-Kabel oder eine "Twisted-pair"-Leitung schickt. Letztere Anordnung wird besonders bei hohen Frequenzen in Räumen benutzt, in denen Störungen auftreten, wenn durch schlechte Erdung und

durch kapazitive oder induktive Einstreuungen auf das Abschirm-  
geflecht am Koaxkabel Störungen auftreten.

Bild 1.1 zeigt die drei Schaltungstypen.

Bild 1.1



Der Hauptverstärker kann in drei Schaltungsarten betrieben werden, als linearer Verstärker mit etwa 50 facher Verstärkung, als Komparator (biased amplifier) und als Schmitt-Trigger mit Hysterese. Das hier vorgeschlagene System verwendet die Schmitt-Trigger-Lösung.

## 2. Vorverstärker

Als Vorverstärker können mehrere schnelle integrierte Typen Verwendung finden. Wir haben zwei Bausteine, den Motorola MC1020P und den Fairchild  $\mu$ A733C, genauer untersucht. Der MC 1020 P enthält vier Zweifach-NOR-Gates in ECL-Technik mit Emitterfolger-Ausgang, wovon 2 Gates je Vorverstärker benutzt werden. Diese Version ist für den Anschluß an  $50\Omega$ -Koax-Kabel gedacht und liefert in der Schaltung nach Bild 2.1 etwa 15fache Verstärkung.

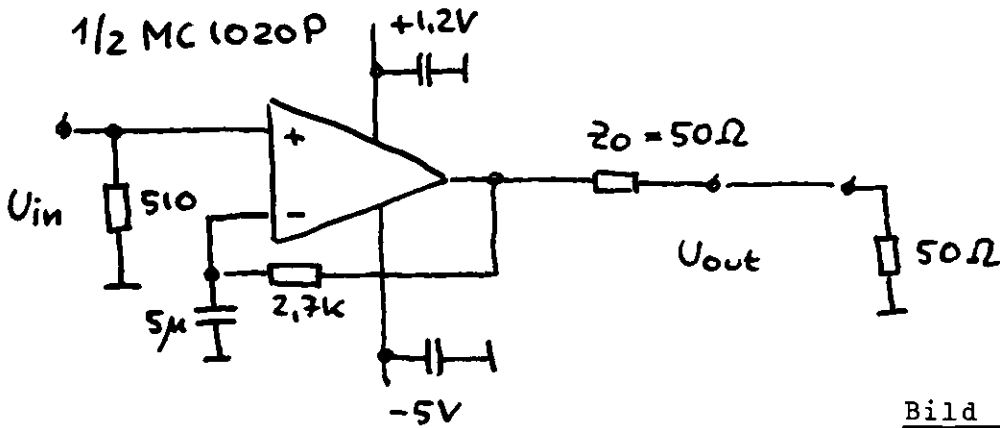
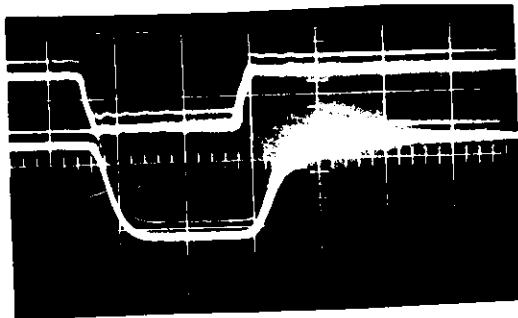


Bild 2.1

Bild 2.2 zeigt die Ein- und Ausgangssignale für 10mV Input, die Zeitachse ist 50 nsec/cm.



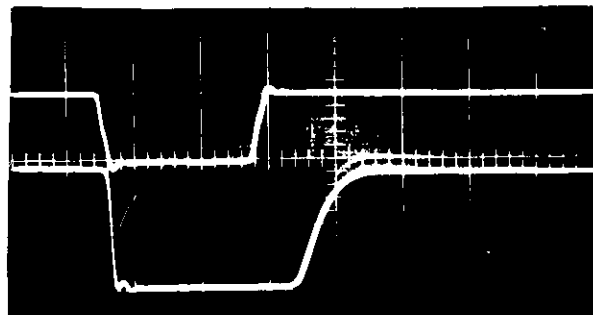
$U_{in} 10\text{ mV/cm}$

$U_{out} 100\text{ mV/cm}$

$t = 50\text{ nsec/cm}$

Bild 2.2

Bild 2.3 zeigt das Verhalten bei Übersteuerung mit 100 mV Input, der Ausgang ist limitiert auf etwa 200 mV, die Zeitachse ist 50 wie im vorigen Bild.



$U_{in} 100\text{ mV/cm}$

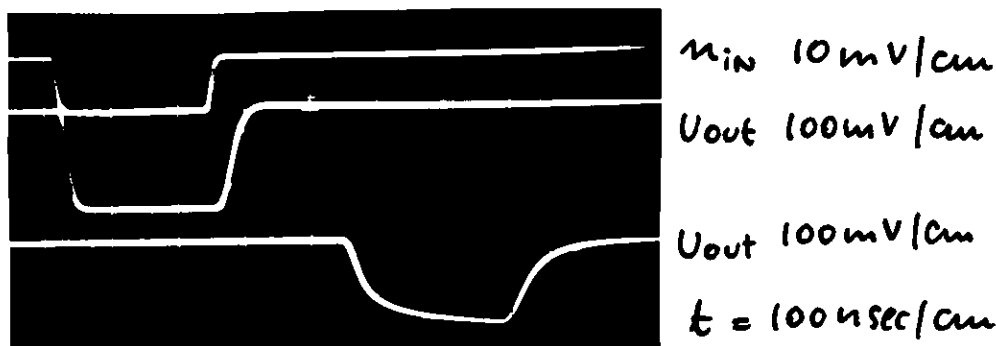
$U_{out} 100\text{ mV/cm}$

$t = 50\text{ nsec/cm}$

Bild 2.3

Wird der Vorverstärker mit Kabel (RG-174U) belastet, ergibt sich Bild 2.4.

Bild 2.4



Das Eingangssignal ist 10 mV in der oberen Spur, die mittlere Spur zeigt das Ausgangssignal (ca. 150 mV) nach 1 m Koaxkabel, die untere Spur das Signal nach 100 m Kabel. Man erkennt neben der Verzögerung von etwa 500 nsec auch die Verschlechterung der Anstiegszeit.

Der  $\mu A733C$  ist ein Breitbandverstärker von DC bis etwa 35 MHz. Seine Verstärkung ist zwischen 10 und 400 veränderbar, indem man eine geeignete Verbindung zwischen verschiedenen Emitterwiderständen im Eingangs-Differenzverstärker herstellt. Bild 2.5 zeigt die Schaltung für etwa 15fache Verstärkung, wenn man die Anschlüsse G2A und G2B verbindet, Bild 2.6 die Signalformen für 10 mV Input und 200 mV Output.

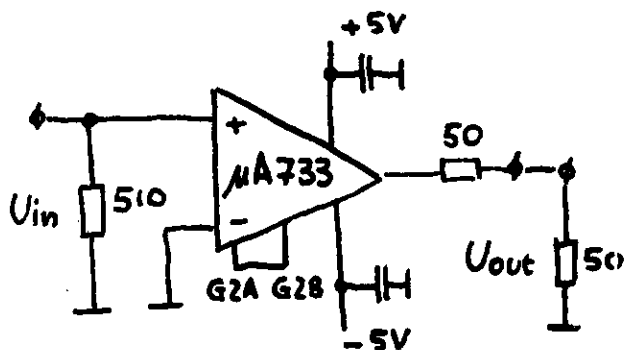


Bild 2.5

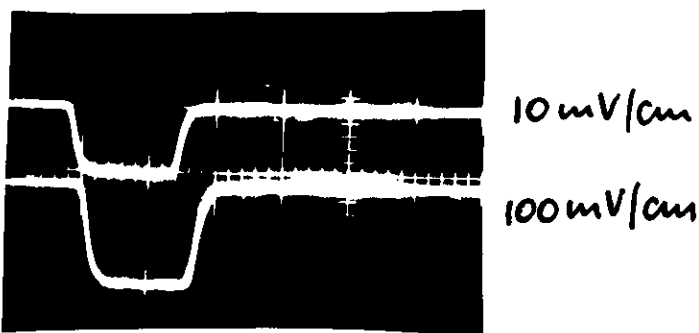


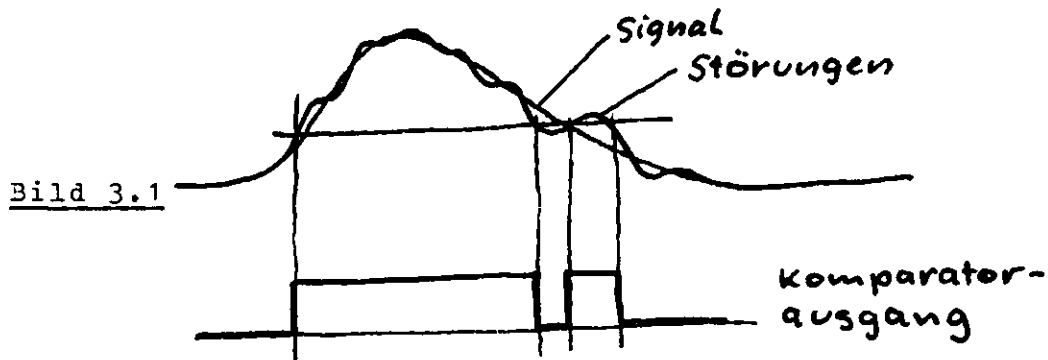
Bild 2.6

Beide Verstärker haben Emitterfolger-Ausgang, sie sind daher für den "Twisted-pair"-Betrieb nur bedingt geeignet. In Abschnitt 6 sind Versuche mit selbstgebauten Differenzverstärkern und verdrehten Leitungen kurz beschrieben.

### 3. Schmitt-Trigger als Hauptverstärker

#### 3.1 Signalform

Die Signale, die aus der Kammer kommen, sind in [1] genau beschrieben. In der Praxis des Kammerbetriebs hat es sich gezeigt, daß die Signale mit verschiedenen Störungen behaftet sind. Einmal ist ein allgemeiner Störuntergrund vorhanden, der aus der Hochspannungsversorgung über die Rundfunkfelder (die Kammer ist ein Plattenkondensator, der als Antenne wirkt) sowie aus allgemeinen Funkenstörungen des Experimentierbetriebs stammt. Diese Störsignale sind oft klein, etwa 1 mV oder weniger, so daß sie mit einem Schwellenverstärker, dessen Schwelle bei 5 - 10 mV liegt, wegdiskriminiert werden können. Zum anderen sind die Signale von kurzen hochfrequenten Störungen überlagert, wie es Bild 3.1 schematisch zeigt.



Die Störungen können, wenn der Verstärker nur mit einer Schwelle versehen ist, also als Komparator geschaltet ist, Anlaß zu mehrmaligem Antriggern geben und damit zu Doppelpulsen führen, die später bei der Logik nicht immer einwandfrei identifiziert werden können und damit die Zeitauflösung verschmieren. Baut man die Schaltung aber als Schmitt-Trigger mit Schwelle und Hysterese, wobei die Amplitude der Störungen kleiner als die Hysterese sein soll, triggert die Schaltung erst bei einem kleineren Level wieder aus, das Doppelpulsproblem wird vermieden (s. Bild 3.2)

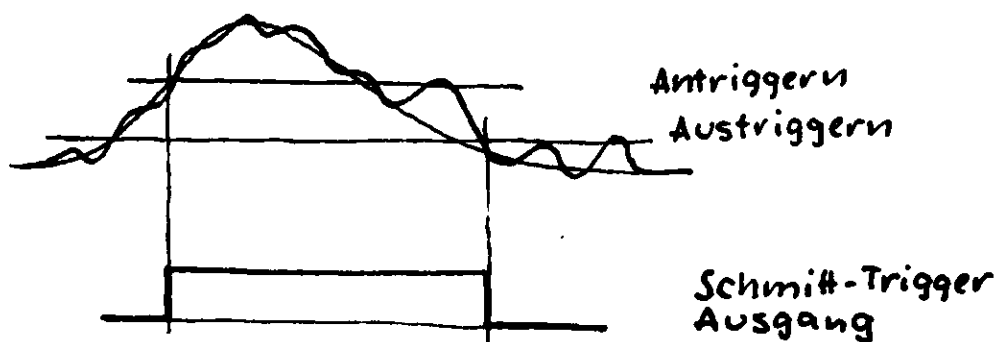


Bild 3.2

Schmitt-Trigger können sowohl mit ECL-Bausteinen als auch mit Operationsverstärkern ausgeführt werden. In unserem System wird der sehr empfindliche Line Receiver SN 75107N von Texas Instr. benutzt, der bei 3mV-Signalen am Eingang bereits einen TTL-Ausgangspegel liefert.

### 3.2 Berechnung der Hysterese und Schwelle

Bild 3.3 zeigt die Schaltung des Schmitt-Triggers.

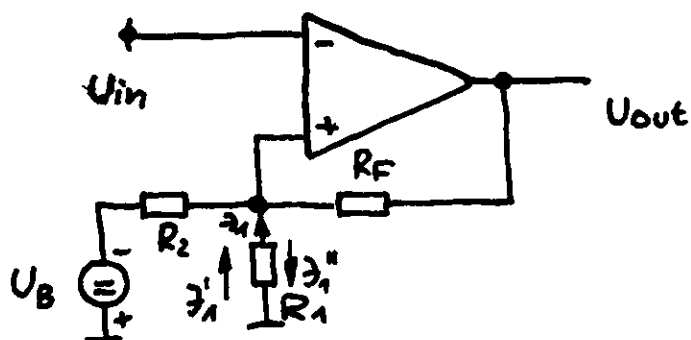


Bild 3.3



Die Schwellenspannung  $U_s$  ist dann:

$$U_s = U_{R_1} = I_1 R_1 = (I_1' - I_1'') R_1$$

Darin sind  $I_1' = \frac{U_B \frac{R_1 \parallel R_F}{R_2 + R_1 \parallel R_F}}{R_1}$  ;  $I_1'' = \frac{U_{out} \frac{R_1 \parallel R_2}{R_F + R_1 \parallel R_2}}{R_1}$

Es folgt:

$$(1) \quad U_s = \frac{U_B}{1 + \frac{R_2}{R_1 \parallel R_F}} - \frac{U_{out}}{1 + \frac{R_F}{R_1 \parallel R_2}} ; \text{ für } R_F > R_1 \text{ und } R_2 > R_1 \text{ (praktisch immer erfüllt)}$$

ergibt sich dann:

$$(2) \quad U_s = U_B \frac{R_1}{R_2} - U_{out} \frac{R_1}{R_F}$$

Der zur Verwendung vorgesehene Differenzverstärker hat am Ausgang eine maximale Spannung  $U_{out(max)} = 2.5 \text{ V}$ , eine minimale Spannung  $U_{out(min)} = 0 \text{ V}$ .

Damit wird die Einschaltsschwelle

$$(3) \quad U_{s(on)} = U_B \frac{R_1}{R_2} - U_{out(min)} \frac{R_1}{R_F} = U_B \frac{R_1}{R_2}$$

Die Ausschaltsschwelle wird

$$(4) \quad U_{s(off)} = U_B \frac{R_1}{R_2} - U_{out(max)} \frac{R_1}{R_F}$$

Die Hysterese ist die Differenz der beiden Schwellen, also wird

$$(5) \quad U_H = (U_{out(max)} - U_{out(min)}) \frac{R_1}{R_F} = U_{out(max)} \frac{R_1}{R_F}$$

Aus (3) ist ersichtlich, daß bei konstantem  $R_1$  und  $R_2$  die Eingangsschwelle nur von  $U_B$  abhängt, die Hysterese ist jedoch davon unabhängig.

Wählen wir z.B.  $U_B = 5\text{ V}$ ,  $U_{\text{out}}(\text{max}) = 2.5\text{ V}$ ,  $U_{\text{out}}(\text{min}) = 0\text{ V}$ ,  
 $U_s(\text{ON}) = 5\text{ mV}(\text{min})$  und  $10\text{ mV}(\text{max})$ , die Hysterese zu  $U_H = 2.5\text{ mV}$ ,  
so erhalten wir die Widerstandswerte

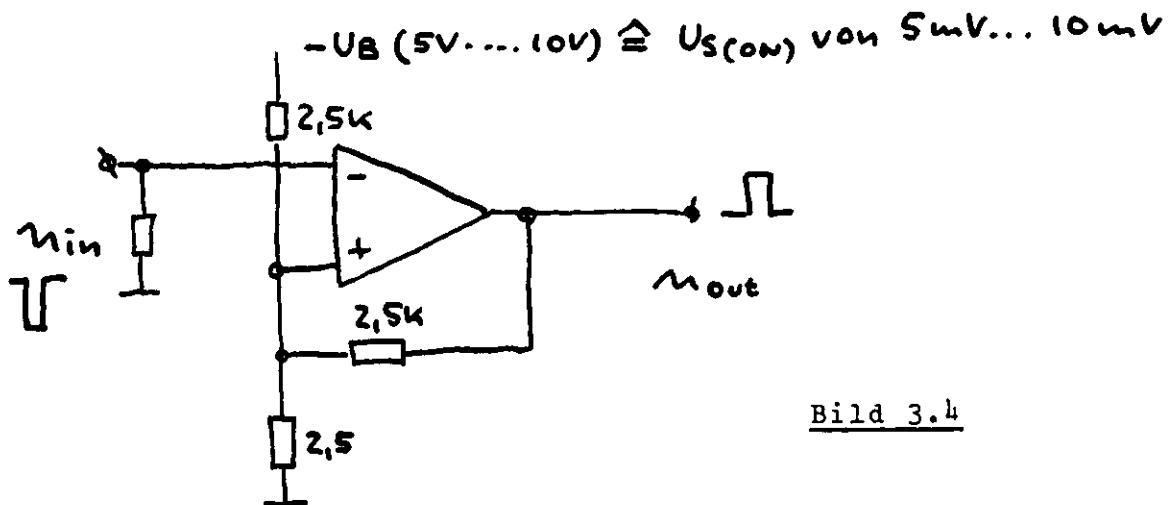
$$\frac{R_1}{R_F} = \frac{R_1}{R_2} = 10^{-3} \quad ; \quad R_2 = R_F = 10^3 R_1$$

Da die Einschaltsschwelle  $U_s(\text{ON})$  direkt proportional zu  $U_B$  ist,  
können wir schreiben:

$$\frac{U_{s(\text{ON})\text{max}}}{U_{s(\text{ON})\text{min}}} = \frac{U_B(\text{max})}{U_B(\text{min})}$$

Soll z.B. das Einschalten zwischen  $5\text{ mV}$  und  $10\text{ mV}$  einstellbar  
gemacht werden, wird  $U_B(\text{max}) = 2U_B(\text{min}) = 10\text{ V}$ .

Als praktische Ausführung kann die in Bild 3.4 gezeigte Schal-  
tung verwendet werden, bei anderen Anforderungen an die Schwell-  
spannung ist sie leicht umzudimensionieren.



### 3.3 Meßergebnisse

Die Ansprechschwelle des Schmitt-Triggers ist eine Funktion  
der Eingangspulsbreite. Ist diese zu kurz, genügt die Pulsan-  
lage nicht, die Rückkopplung in Gang zu setzen. Wichtig ist

daher, daß für die vorliegende Pulsbreite am Eingang, die sicher länger als 50 nsec ist, die Schwelle praktisch konstant bleibt.

Bild 3.5 zeigt die gemessene Kurve. Man erkennt, daß ab 30 - 40 nsec Pulsbreite diese Bedingung erfüllt ist.

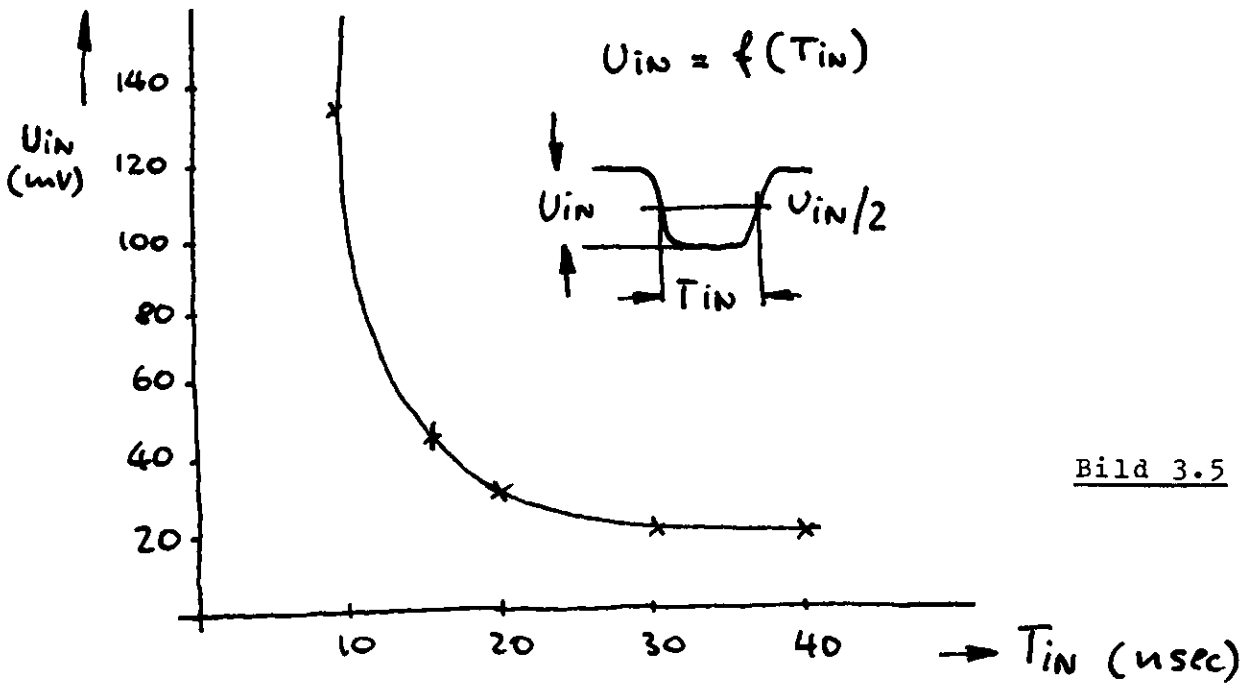
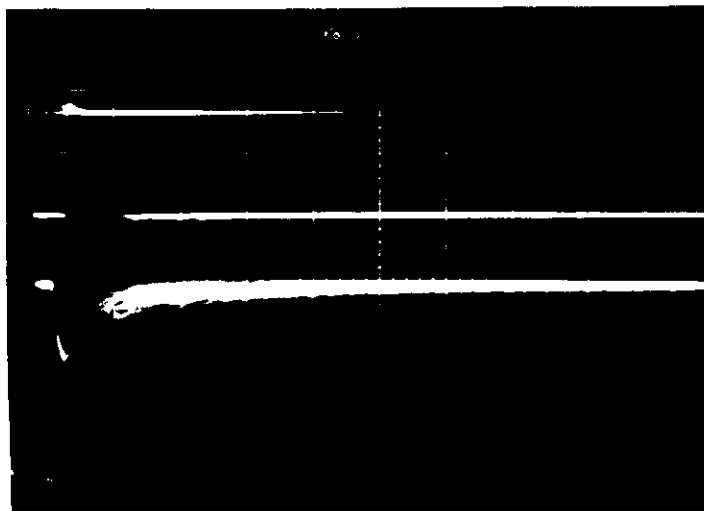


Bild 3.5

Der Schmitt-Trigger wurde an der Kammer mit einem Vorverstärker (Typ Mc1020P) getestet. Bild 3.6 zeigt unten die Kammerpulse mit einem Arbeitswiderstand von 470 Ohm und oben die Ausgangspulse des Schmitt-Triggers.



$U_{out}$  2V/cm

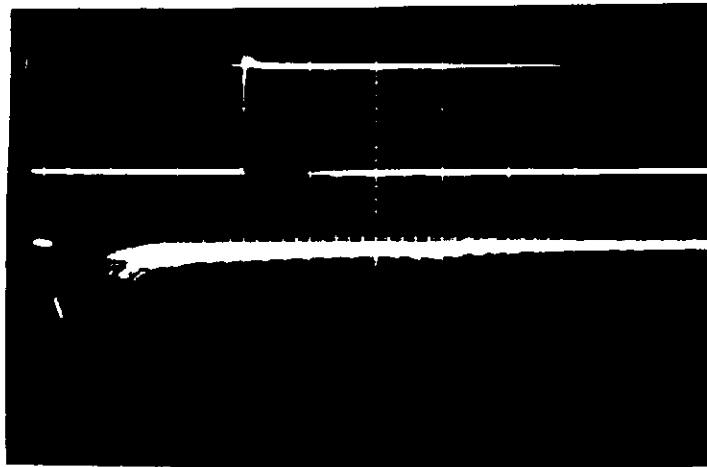
$U_{in}$  5mV/cm

$t = 200ns/cm$

Bild 3.6

Zwischen Vorverstärker und Schmitt-Trigger befindet sich 1 m Kabel. Je nach Amplitude des Eingangssignals ergibt sich die Breite des Ausgangspulses für die Zeitdauer des Übersprechens der Schwelle. Bild 3.7 zeigt die gleiche Anordnung, jedoch mit 100 m Kabel zwischen Vorverstärker und Schmitt-Trigger.

Bild 3.7



$U_{out} 2V/cm$

$U_{in} 5mV/cm$

$t = 200nsec/cm$

Der Einsatz der Ausgangspulse verschiebt sich entsprechend. In beiden Bildern ist die Zeitachse 200 nsec/cm, die Amplitudenachse für die Kammerpulse ist 5 mV/cm, für die Schmitt-Triggerpulse 2 V/cm.

#### 4. Univibrator mit TTL-Bausteinen

Als Univibrator sind drei verschiedene Versionen möglich:

##### 4.1

Es wird der Texas Instruments-Baustein SN 74121 verwendet. Dieser benötigt nur eine externe RC-Kombination, um die Pulsdauer, in unserem Fall 300 nsec (vgl. [1]) zu erzeugen. Ohne äußeres RC ist die Pulsdauer 30 nsec. Die Temperaturstabilität der Pulsdauer ist ausgezeichnet, sie ist praktisch nur durch die externen Komponenten bestimmt. Bei Verwendung gleicher Komponenten schwankt die Pulsbreite der Schaltkreise untereinander nur maximal  $\pm 0,5\%$ .

Eine weitere hervorragende Eigenschaft dieses Univibrators ist der hohe Duty-Cycle von 67%. Nachteilig ist der relativ stark schwankende Propagationdelay, der zwischen 15 und 80 nsec liegt, hierdurch wird der Timejitter der ganzen Anordnung wesentlich beeinflusst.

Trotzdem ist der SN 74121 gut für diese Anwendung geeignet, da er nur wenige äußere Bauelemente benötigt und auch sehr billig ist. Im Herbst 1970 erscheint eine ähnliche Version mit 2 Univibratoren in einem Gehäuse, so daß der Verdrahtungsaufwand noch günstiger wird.

##### 4.2

Auch der Line-Receiver SN 75107 kann nach Bild 4.1 als Univibrator geschaltet werden, wenn man durch Dioden die auftretenden Amplituden begrenzt, wodurch man eine hohe Pulsdauerstabilität erzielt. Der einzige sichtbare Nachteil der Schaltung ist die Verwendung mehrerer äußerer Bauelemente, dies macht die Verdrahtung etwas umfangreicher. Bild 4.2 zeigt die zugehörigen Pulsformen, das Eingangssignal beträgt 1 V negativ, das Ausgangssignal etwa 3,5 V positiv.

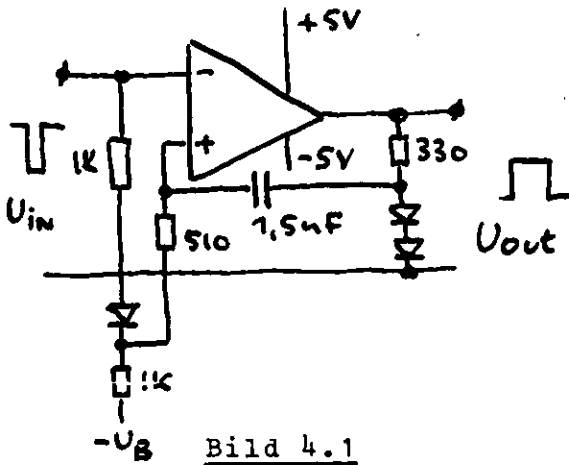


Bild 4.1

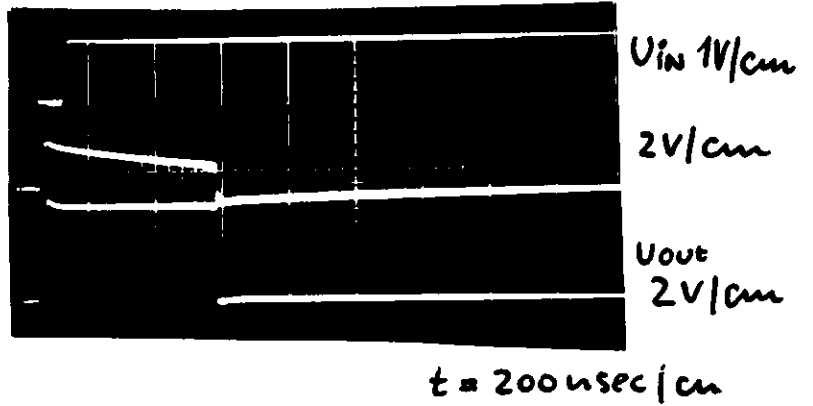


Bild 4.2

Da im SN 75107 zwei Verstärker enthalten sind, kann vorteilhaft der Schmitt-Trigger und der Univibrator eines Drahtes in einem Gehäuse gewählt werden.

#### 4.3

Auch aus einem RS-Flip-Flop mit Rückstellung durch Integration des Signals kann ein Univibrator gebaut werden, der bei Verwendung eines SN 7400 sogar noch das Strobe-Gate enthält. Bild 4.3 zeigt die Schaltung. Der Ausgangspuls ist um RC verzögert und nur etwa 40 nsec schmal.

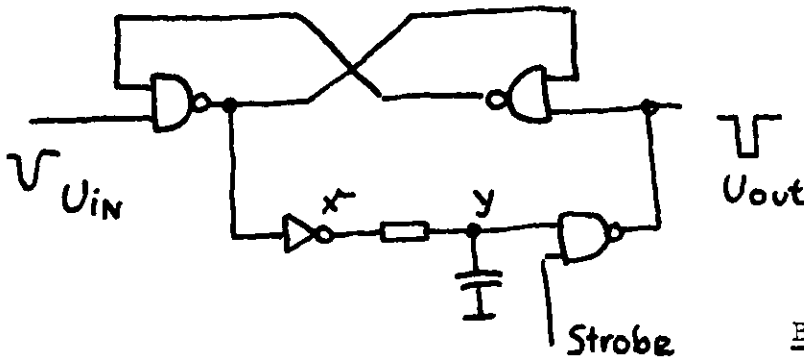


Bild 4.3

Der Nachteil dieser Schaltung ist eine durch die Integration bedingte relativ lange Totzeit, d.h. der Duty-Cycle ist 50%, wie sich aus Bild 4.4 erkennen läßt, in dem der Eingangspuls, der integrierte sowie der verzögerte Ausgangspuls gezeigt sind.

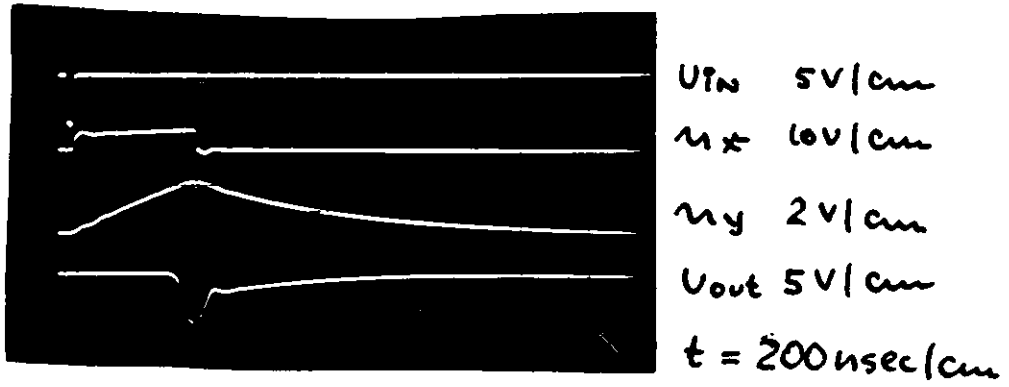


Bild 4.4

## 5. Übrige Logik

Die übrige Logik, d.h. das Durchschleusen des Univibratorpulses durch das Strobe-Gate (UND-Schaltung) sowie die Übernahme des gestrobteten Signals auf den Flip-Flop im Schieberegister ist praktisch so geblieben, wie es in [1] beschrieben ist.

Für die Durchschiebemethode zum Auslesen der in den Flip-Flops gesetzten Einsen wird das SN 7496-Schieberegister benutzt. Eine neuartige Auslesemethode, die den Inhalt der Flip-Flops wesentlich schneller ausliest, enthält andere Flip-Flop-Typen. Diese Methode wird in Kürze beschrieben.



## 6. Übertragung analoger Signale auf "Twisted-pair"-Leitungen

"Twisted-pair"-Leitungen werden in der Digitaltechnik besonders bei hohen Übertragungsraten benutzt, da sie auf Grund der symmetrischen Anordnung sehr störungsfrei sind.

Sie können aber auch mit Vorteil zur Übertragung analoger Signale eingesetzt werden. Dazu baut man symmetrische Sender bzw. Empfänger, wie es im nächsten Bild 6.1 gezeigt ist.

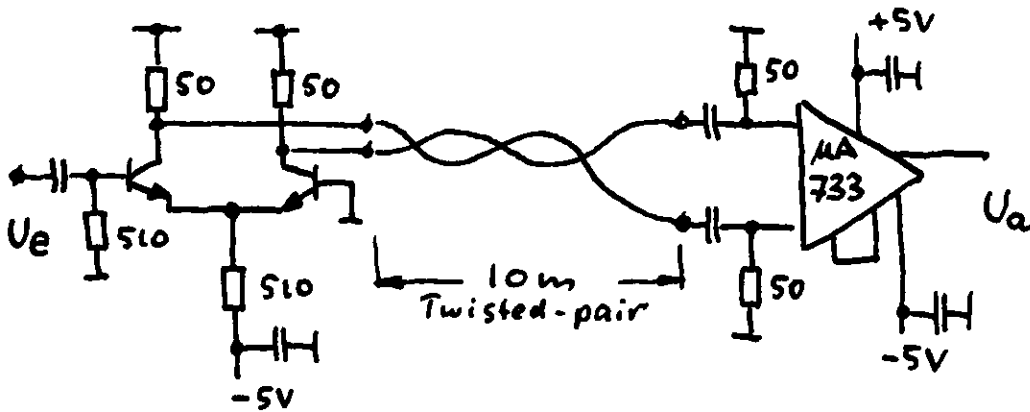


Bild 6.1

Mit einem einfachen Differenzverstärker als Sender und einem  $\mu A733$  als Empfänger erhielten wir bei einer Gesamtverstärkung von ca. 200fach und einer "Twisted-pair"-Leitung von 10 m Schaltdraht die Ergebnisse in Bild 6.2.

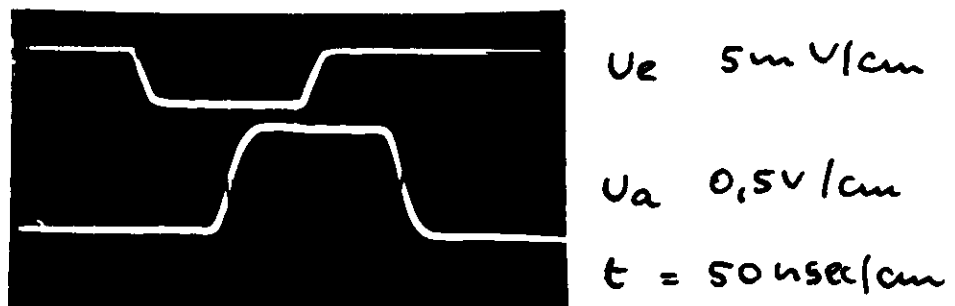


Bild 6.2

Die Leitung verzögert ähnlich wie ein Koaxialkabel um etwa 5 nsec/m. Trotz selbsterzeugter Störungen ist die Signalform am Ausgang des Empfängers einwandfrei.

### 7. Komplettes Verstärkersystem mit Signalübertragung über Twisted-pair-Leitungen

Durch die Verwendung eines einfachen Vorverstärkers als Sender für Twisted-pair-Leitungen sowie eines Differenz-Eingangsverstärkers und eines empfindlichen Schmitt-Triggers läßt sich ein sehr preiswertes Verstärkersystem aufbauen. Bild 7.1 zeigt die Verstärkeranordnung.

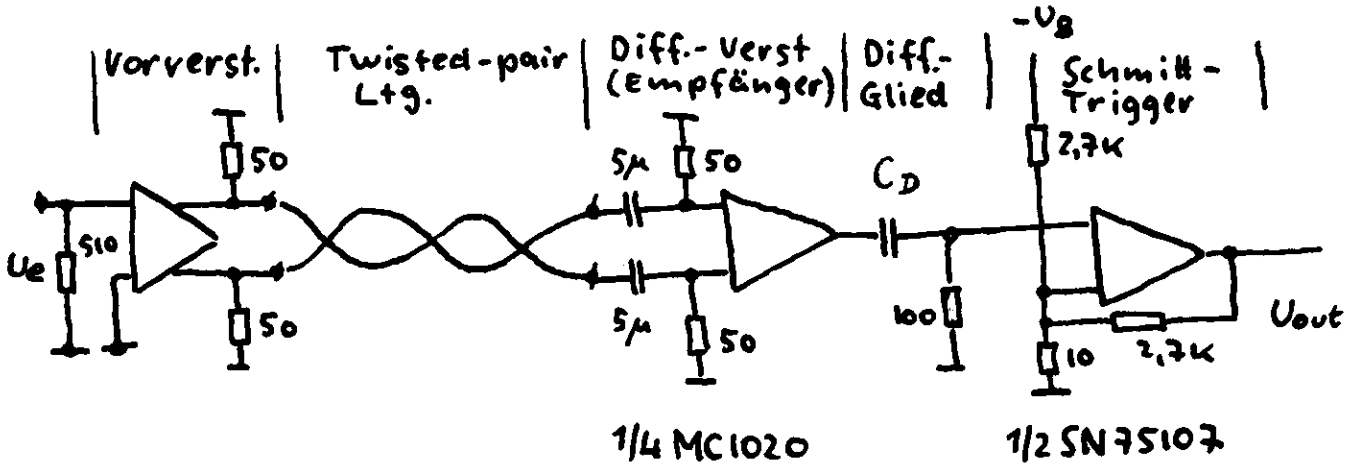


Bild 7.1

An dem Eingangswiderstand des Schmitt-Triggers kann das Eingangssignal über  $C_D$  noch geformt werden.

Bild 7.2 zeigt das Eingangssignal und das Ausgangssignal mit 10 m Twisted-pair-Leitung bei 2 mV, 20 mV und 200 mV Aussteuerung. Die Schwelle des Schmitt-Triggers läßt sich durch  $U_B$  von 20 mV bis 40 mV einstellen ( $U_B = -5$  V bis  $-10$  V).

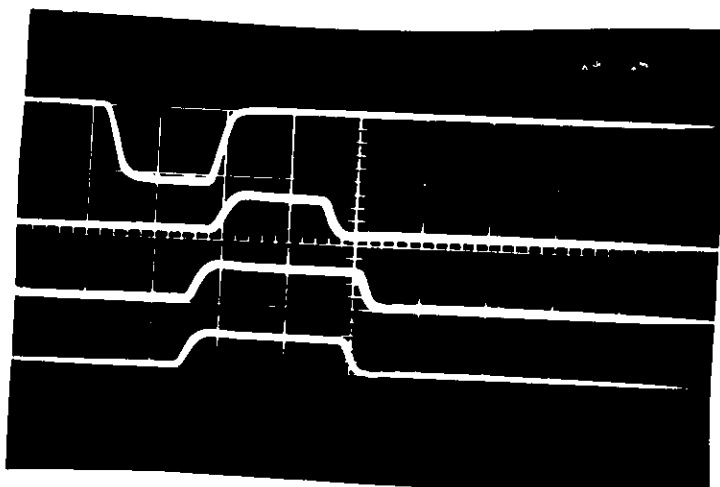


Bild 7.2

$U_e$

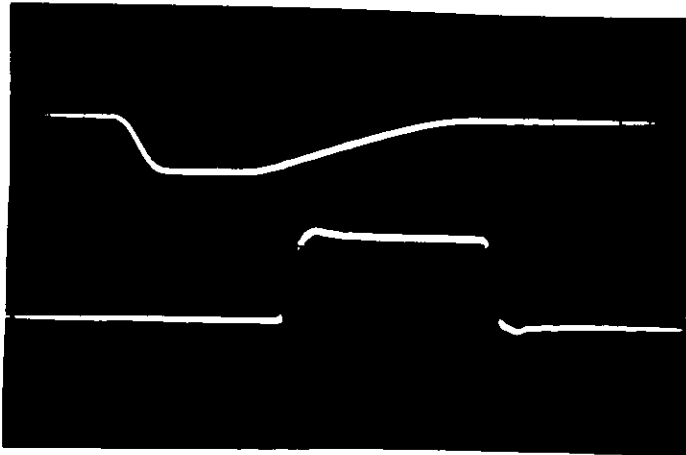
$U_{out}$  bei  $U_e = 2$  mV (5V/cm)

$U_{out}$  bei  $U_e = 20$  mV (5V/cm)

$U_{out}$  bei  $U_e = 200$  mV (5V/cm)

$t = 50$   $\mu$ sec/cm

Bild 7.3 zeigt ein dem Puls am Draht angenähertes Eingangssignal sowie das Signal am Ausgang des Schmitt-Triggers (10 m Twisted-pair).



$$U_e = 2 \text{ mV/cm}$$

$$U_{out} = 2 \text{ V/cm}$$

$$t = 50 \text{ nsec/cm}$$

Bild 7.4 zeigt die Anordnung nach Bild 7.1; als Übertragungsleitung wird jedoch an Stelle der Twisted-pair-Leitung ein 50 $\Omega$ -Koaxialkabel verwendet.

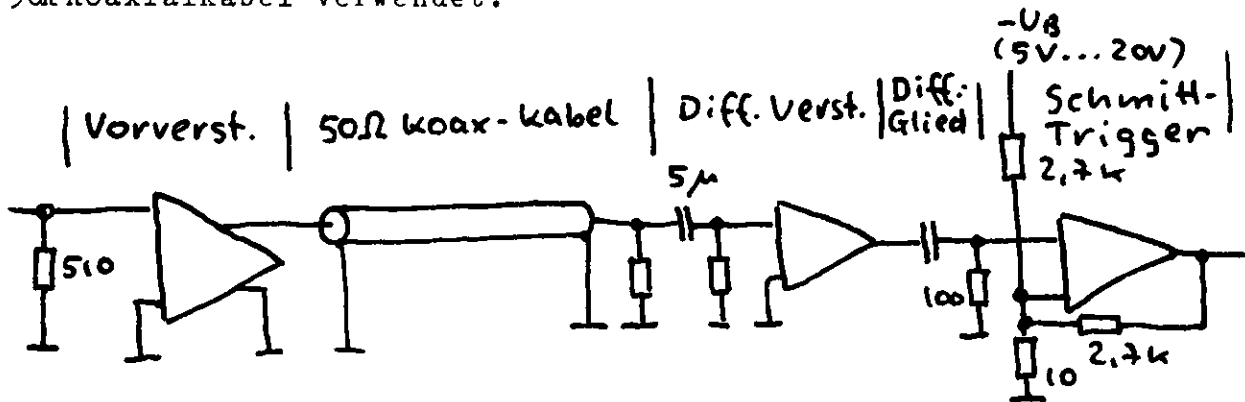


Bild 7.4

In den folgenden Abschnitten werden die einzelnen Stufen des Verstärkersystems beschrieben.

7.a) Vorverstärker

Der Vorverstärker nach Bild 7.5 wurde, wie in [6] beschrieben, aus diskreten Bauelementen aufgebaut. Natürlich können an Stelle der einzelnen Transistoren auch sogenannte Transistorarrays oder Differenz-Verstärker mit einer Konstantstromquelle (RCA) verwendet werden.

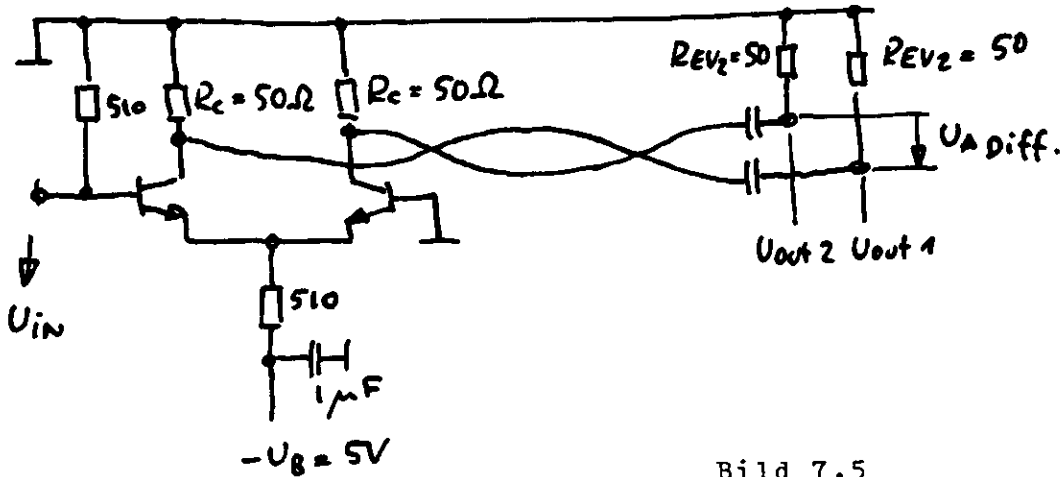
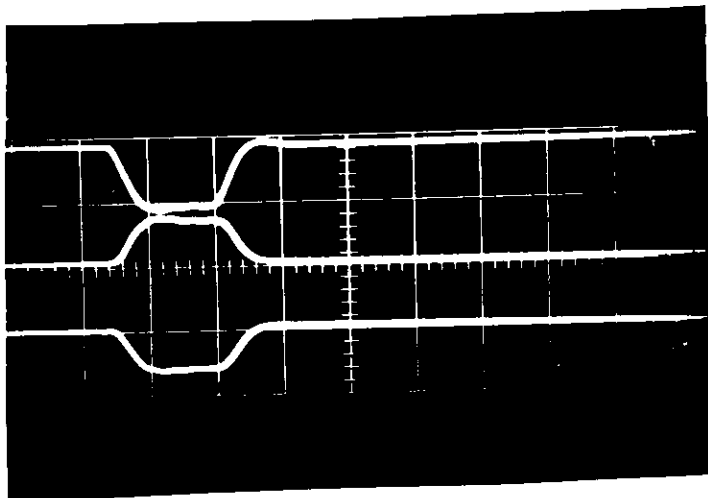


Bild 7.5

Die Verstärkung dieser Schaltung ist:

$$\frac{U_{aDiff}}{U_{in}} = 2 \frac{R_c \parallel R_{ev2}}{\frac{U_T}{I_e} \cdot 2} = \frac{(R_c \parallel R_{ev2}) \cdot I_e}{U_T} = \frac{25 \Omega \cdot 4 \text{ mA}}{26 \text{ mV}} \sim 4$$

Die obere Spur in Bild 7.6 zeigt das Eingangssignal. Die mittlere und untere Spur zeigen die beiden Ausgangssignale.



$U_{in} = 50 \text{ mV/cm}$   
 $U_{out1} = 100 \text{ mV/cm}$   
 $U_{out2} = 100 \text{ mV/cm}$   
 $t = 50 \text{ nsec/cm}$

Bild 7.6

7.b) Eingangsverstärker

Als Eingangsverstärker (Empfänger) für das Diff.Signal vom Vorverstärker wurde ein Verstärker des 4-fach Differenzverstärkers MC 1020<sup>P</sup> verwendet. Um die in [2] benötigten 2 Netzteile zu vermeiden, wurde der Verstärker ähnlich dem in 7.5 beschriebenen Vorverstärker geschaltet (Bild 7.7).

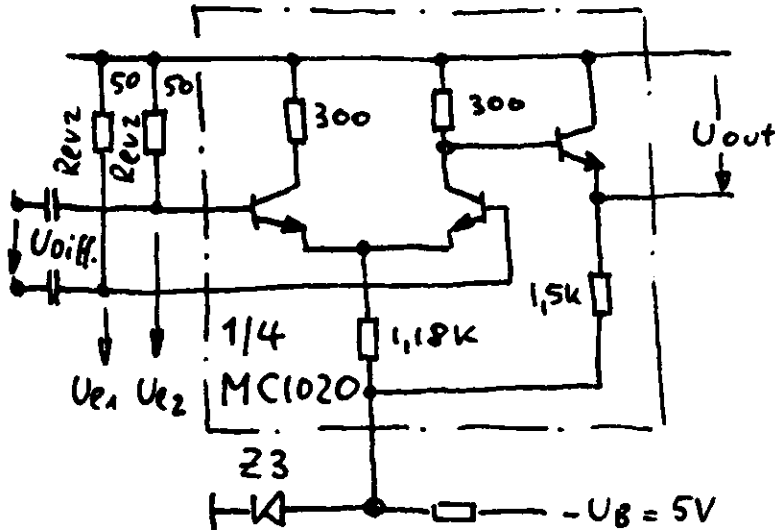


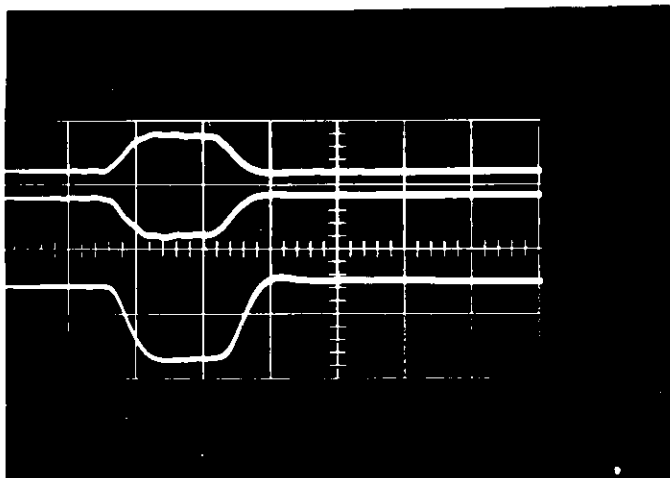
Bild 7.7

Die 3 V Versorgungsspannung wird über einen Vorwiderstand und eine Zenerdiode aus dem -5V Netzteil für die Schmitt-Trigger gewonnen. Ein Vorwiderstand und eine Zenerdiode sind für vier Verstärker ausreichend.

Die Verstärkung ist:

$$\frac{U_{out}}{U_{diff.}} = \frac{R_c}{2 \frac{U_T}{\beta_e}} = \frac{300 \Omega}{52 mV} \cdot 0,9 mA \sim 5$$

Bild 7.8 zeigt die Eingangsspannungen sowie die Ausgangsspannung des Eingangsverstärkers.



$U_{e1} = 50 mV/cm$   
 $U_{e2} = 50 mV/cm$   
 $U_{out} = 200 mV/cm$   
 $t = 50 \mu sec/cm$

Bild 7.8

7.c) Empfindlicher Schmitt-Trigger

Der Schmitt-Trigger wurde nach [6] für eine Einschaltsschwelle von  $-20\text{ mV}$  bei  $u_B = -5\text{ V}$  und  $-40\text{ mV}$  bei  $u_B = -10\text{ V}$  dimensioniert. Die Hysterese ist ca.  $12\text{ mV} = \text{const.}$

Bild 7.9 zeigt die Schaltung des Schmitt-Triggers.

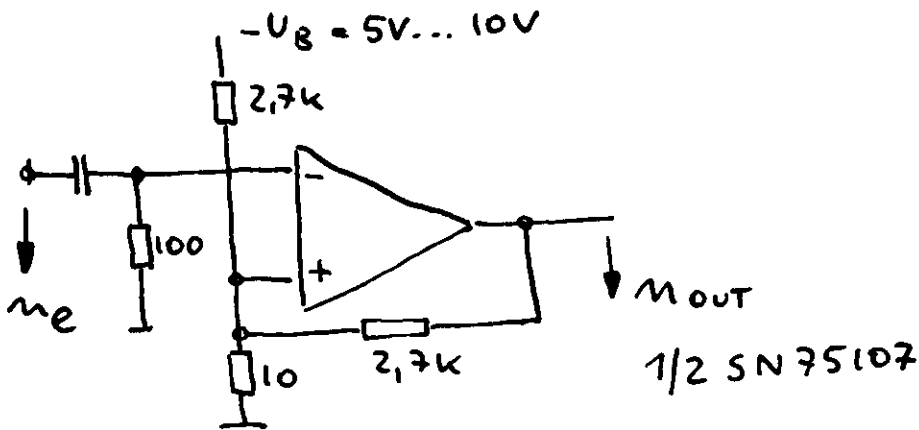
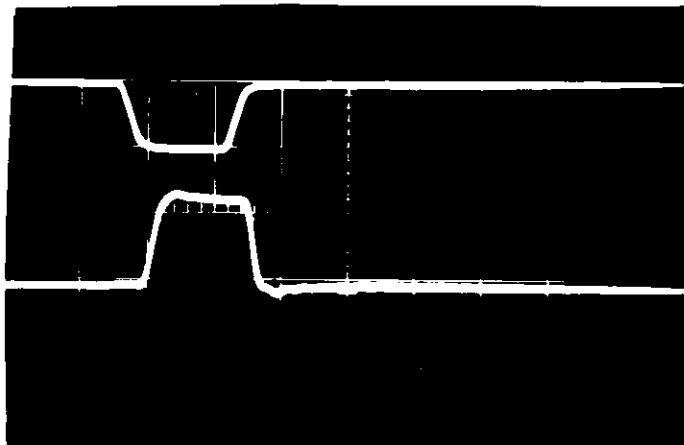


Bild 7.9

Bild 7.10 zeigt das Eingangs- und Ausgangssignal des Schmitt-Triggers.



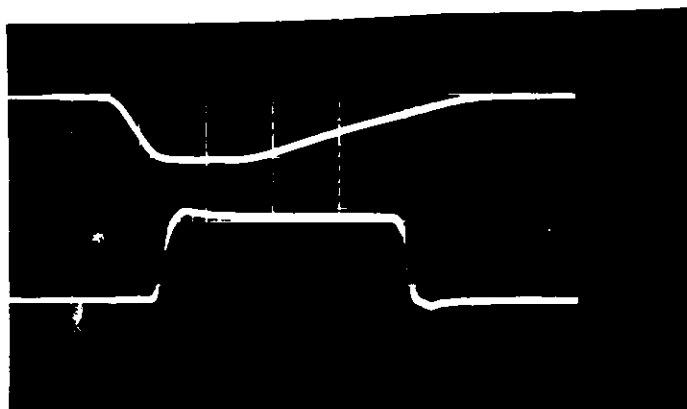
$U_e = 20\text{ mV/cm}$

$U_{out} = 2\text{ V/cm}$

$t = 50\text{ nsec/cm}$

Bild 7.10

In Bild 7.11 wurde ein Eingangssignal gewählt, bei dem die Hysterese des Schmitt-Triggers zu erkennen ist.



$U_e = 20\text{ mV/cm}$

$U_{out} = 2\text{ V/cm}$

$t = 50\text{ nsec/cm}$

Bild 7.11

## Literatur

- 1 W. Neff, H.-J. Stuckenberg, Untersuchungen über Verstärker für die Signale in Charpak-Kammern, DESY F56-69/2, Interner Bericht, Dez. 1969
- 2 I.C. Tarlé, H. Verweij, An amplifier, trigger and memory for signals from proportional wire chambers, Nucl. Instr. 78, 93, 1970
- 3 C. Bemporad, W. Bensch, A.C. Melissinos, E. Schuller, P. Astbury, I.G. Lee, Performance of a system of proportional wire chambers, Nucl. Instr. 80, 205, 1970
- 4 I.R. Simanton, K.R. Bourkland, R.F. Marquadt, A low cost amplifier/discriminator/limiter for proportional mode wire chambers, Nucl. Instr. 81, 13, 1970
- 5 L.I. Koester, U. Koetz, S. Segler, Measurement of efficiency and time resolution of multiwire proportional counters, Nucl. Instr. 82, 67, 1970
- 6 I.R. Simanton, K.R. Bourkland, R.F. Marquadt, I. Lales, A facility for computer evaluation of proportional wire chamber design, Nucl. Instr. 83, 165, 1970

