

Zyklischer Vielkanal-Datenspeicher

H.J. Jäckel, J. Kießlinger, F. Rau, M. Schmähling

IPP 2/216

November 1973

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK

GARCHING BEI MÜNCHEN

MAX-PLANCK-INSTITUT FÜR PLASMAPHYSIK
GARCHING BEI MÜNCHEN

November 1973

Zyklischer Vielkanal-Datenspeicher

H.J. Jäckel, J. Kißlinger, F. Rau, M. Schmäling

IPP 2/216

November 1973

Die nachstehende Arbeit wurde im Rahmen des Vertrages zwischen dem Max-Planck-Institut für Plasmaphysik und der Europäischen Atomgemeinschaft über die Zusammenarbeit auf dem Gebiete der Plasmaphysik durchgeführt.

H. J. Jäckel, J. Kißlinger

F. Rau, M. Schmäling

November 1973

Zusammenfassung

Ein zyklischer Vielkanal-Datenspeicher wird beschrieben. Er besteht aus einem aus Rechenverstärkern und integrierten Bausteinen aufgebauten 24-Kanal-Multiplexer und einem kommerziellen 1024-Kanal-Speicher. Bis zu 24 Meßsignale können innerhalb eines Zeitintervalls $\Delta t \geq 48 \mu\text{sec}$ registriert werden. Das Zeitintervall Δt ist limitiert durch die Grenzfrequenz des 1024-Kanal-Speichers. Mit einer Testschaltung wird die Linearität des 24-Kanal-Multiplexers bei unterschiedlichen Eingangsamplituden gezeigt; das Auflösungsvermögen des 1024-Kanalspeichers beträgt 4 % der eingestellten Maximalamplitude. Das beschriebene Gerät ist besonders geeignet für alle Meßaufgaben, bei denen in einer kurzen, nicht genau vorhersagbaren Meßzeit viele Meßwerte registriert werden müssen.

1. Einleitung

Die Unstetigkeit einer Zustandsgröße eines zeitlich veränderlichen physikalischen Systems führt oft zu einer raschen Änderung vieler wesentlicher Zustandsgrößen dieses Systems. Der Quench stromdurchflossener supraleitender Spulen, also der Übergang von der supraleitenden Phase in die normalleitende, stellt z.B. ein solches Ereignis dar, wobei die Unstetigkeit des elektrischen Widerstandes durch die auftretenden ohmschen Verluste zu einer raschen Erwärmung der Spule führt. Abb. 1 zeigt den möglichen zeitlichen Verlauf von wesentlichen Versuchsparametern vor und nach einem Ereignis (z.B. Quench). Zum Zeitpunkt $t = t_x$ (siehe Abb. 1) ändert sich die Größe $R(t)$ (elektrischer Widerstand einer supraleitenden Spule) unstetig und verursacht spontane Änderungen der Größen $U(t)$ (Klemmenspannung der Spule) und $T(t)$ (Spulentemperatur).

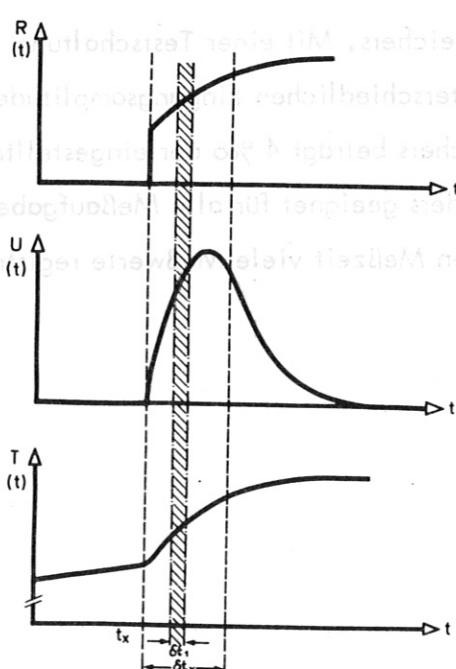


Abb. 1:

Schematische Darstellung der zeitlichen Verläufe dreier Zustandsgrößen $R(t)$, $U(t)$, $T(t)$ eines Systems. Die spontane Änderung von $R(t)$ im Zeitpunkt t_x beeinflusst die Größen $U(t)$ und $T(t)$ drastisch

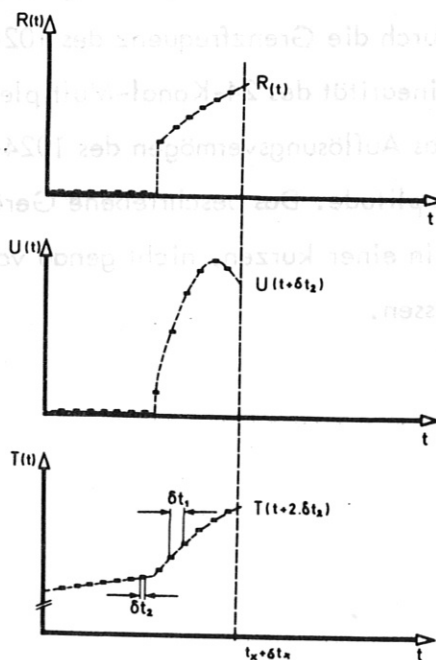


Abb. 2:

Im Speicher zum Zeitpunkt $t_x + \delta t_x$ (siehe Abb. 1) enthaltene Information.

Die Meßaufgabe besteht nun darin, den zeitlichen Verlauf von vielen, in unserem Fall bis zu 24 Versuchsparametern simultan unmittelbar vor und nach dem Ereignis zu messen. Der Zeitpunkt t_x ist jedoch nicht genau vorhersagbar, so daß die interessierenden Größen praktisch kontinuierlich gemessen werden müssen.

Zur direkten Registrierung scheiden elektromechanische Y-t-Schreiber wegen ihres begrenzten zeitlichen Auflösungsvermögens in der Regel aus. Bei Oszillographen ergeben sich Probleme mit der ereignissynchronen Triggerung. Der Aufwand an Meßgeräten ist groß. Darüber hinaus fällt im allgemeinen zuviel wertlose Information an. Ist der Zeitpunkt t_x z.B. mit einer Ungenauigkeit von 30 min. vorhersagbar und beträgt das interessierende Zeitintervall zum Zeitpunkt des Ereignisses 2 sec, so ist nur $2/1800$, also ca. 1 ‰ der anfallenden Information von unmittelbarem Interesse.

Eine quasikontinuierliche Erfassung mehrerer zeitlich veränderlicher Zustandsgrößen ist dagegen mit Hilfe digitaler Speicher in einer Art time-sharing-Verfahren mit relativ geringem Aufwand und vernünftiger Zeitauflösung realisierbar.

Meßprinzip

In dem hier beschriebenen Verfahren wird als Speichereinheit ein 1024-Kanal-Transient Recorder (BIOMATION) verwendet. Dieser gestattet, ein Analogsignal digital zu speichern und mit praktisch beliebiger Zeitdehnung wieder auszulesen. Durch einen vorgeschalteten 24-Kanal-Multiplexer mit zugehörigem Steuerteil wurde dieses Gerät so umgerüstet, daß es 24 Meßwertfunktionen $R(t), U(t), T(t) \dots$ erfassen und speichern kann. Innerhalb des Zeitintervalls δt_1 (siehe Abb. 1 und Abb. 2) wird jeder der 24 Meßkanäle nacheinander im Zeitabstand $\delta t_2 = \frac{\delta t_1}{24}$ abgefragt und in n ($n = 1, 2, 4, 8$ oder 16) Speicherkanäle eingelesen. Im Steuerteil zeigt eine von 24 Leuchtdioden an, welcher Meßkanal jeweils mit dem Transient-Recorder verbunden ist. Der Transient-Recorder enthält also in den Kanälen 1 bis n den Verlauf des zeitabhängigen Meßwertes $R(t)$, in den Kanälen $n + 1$ bis $2n$ den Verlauf des Meßwertes $U(t + \delta t_2)$

in den Kanälen $2n + 1$ bis $3n$ den Verlauf des Meßwertes $T(t + 2\delta t_2)$ usw. Nach Abfragen aller 24 Meßkanäle sind $n \times 24$ Speicherkanäle des Transient-Recorders eingelesen, der Abfragezyklus wiederholt sich. Sind alle 1024 Speicherkanäle des Transient-Recorders durchgeschaltet, so beginnt die Einspeicherung wieder bei Kanal 1, indem die alte Information überschrieben wird.

Durch ein vom Ereignis ausgelöstes Triggersignal kann der Speicherzyklus angehalten werden. Dieser Zeitpunkt sei $t_x + \delta t_x$ (Abb. 1). Er ist durch den Stand eines Zählwerkes und der Anzeige der Leuchtdioden registriert. Die Meßwertfunktionen sind im Transient-Recorder in Form einer Folge von Punkten (bzw. bei $n > 1$ in Form von Kurvenstücken der Länge δt_2) mit einer zeitlichen Auflösung δt_1 gespeichert. Die in Abb. 1 dargestellten Funktionen $R(t)$, $U(t)$, $T(t)$ würden nach Beendigung des Speichervorgangs zum Zeitpunkt $t = t_x + \delta t_x$ vom Transient-Recorder in der Form der Abb. 2 ausgelesen werden. Den 1024 Kanälen des Transient-Recorders entsprechen bei $n = 4$ zehn Durchschaltzyklen der 24 Meßkanäle.

Zeitliche Auflösung

Die zeitliche Auflösung δt_1 (siehe Abb. 2) ist vorgegeben entweder durch die gewünschte Länge des Meßzeitintervalls oder durch die maximale zulässige Kanalfortschaltungsfrequenz $f_k = 0.5$ MHz des Transient-Recorders, d.h. durch dessen minimale Umschaltzeit $t_K = 2$ usec. Damit ergibt sich als minimale Länge für das Zeitintervall $\delta t_1 = 48$ μ sec für $n = 1$ ($\delta t_1 = 24 \times \delta t_2 = 24 \times n \times t_K$).

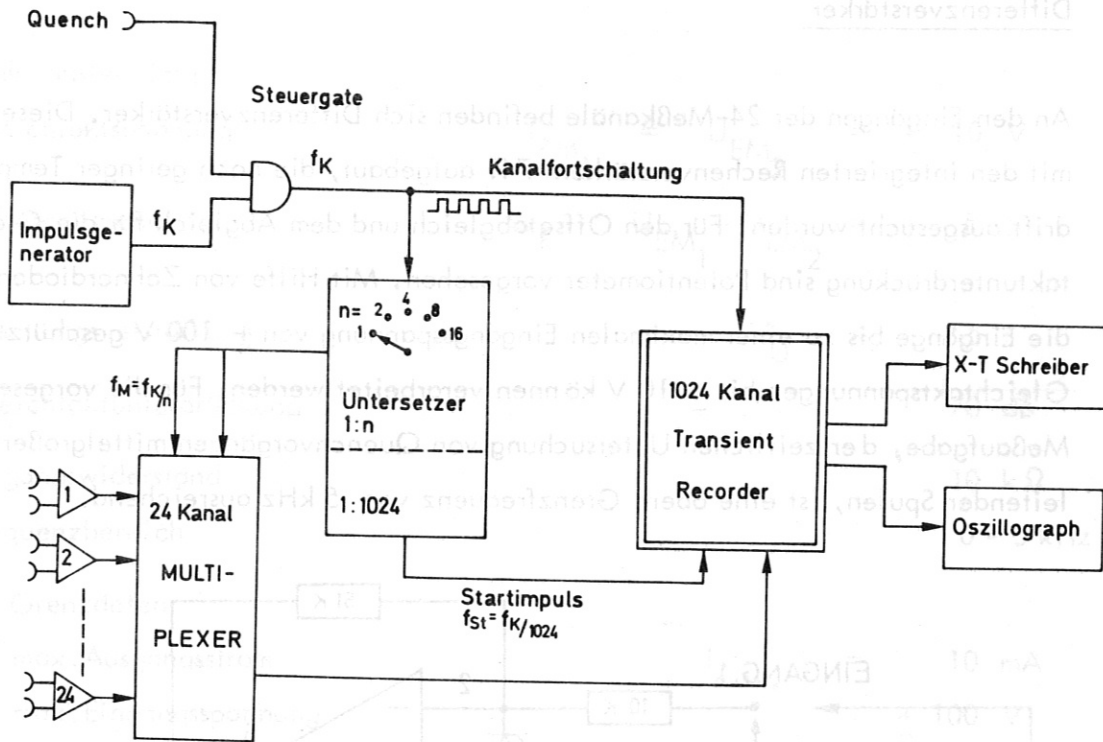


Abb. 3: Schaltschema des zyklischen Datenspeichers

Wirkungsweise der Schaltung

Abb. 3 zeigt das Schaltschema des zyklischen Datenspeichers. Die entsprechend den typischen Zeitkonstanten des Experimentes zu wählende Frequenz f_k des Impulsge-nerators wird um den Faktor 1024 untersetzt und startet den Speicherzyklus des Transient-Recorders, in welchem die Umschaltung von Kanal zu Kanal mit der Frequenz f_k erfolgt. Die Meßkanäle 1 bis 24 werden mit der Frequenz $f_M = f_k/n$ vom Multiplexer abgefragt und in die entsprechenden Speicherkanäle des Transient-Recorders eingelesen. Eine an den Quench-Eingang angelegte Spannung von + 5 V (ausgelöst vom Ereignis) beendet die zyklische Abfrage der Meßkanäle. Die zu diesem Zeitpunkt im Transient-Recorder gespeicherten Meßwerte können z.B. mit einem Y-t-Schreiber oder einem Oszillographen ausgelesen werden.

Schaltungsbeschreibung

Differenzverstärker

An den Eingängen der 24-Meßkanäle befinden sich Differenzverstärker. Diese sind mit den integrierten Rechenverstärkern 741 aufgebaut, die nach geringer Temperaturdrift ausgesucht wurden. Für den Offsetabgleich und dem Abgleich für die Gleichtaktunterdrückung sind Potentiometer vorgesehen. Mit Hilfe von Zehnerdioden sind die Eingänge bis zu einer maximalen Eingangsspannung von ± 100 V geschützt. Gleichtaktspannungen bis ± 10 V können verarbeitet werden. Für die vorgesehene Meßaufgabe, der zeitlichen Untersuchung von Quenchvorgängen mittelgroßer supra-leitender Spulen, ist eine obere Grenzfrequenz von 5 kHz ausreichend.

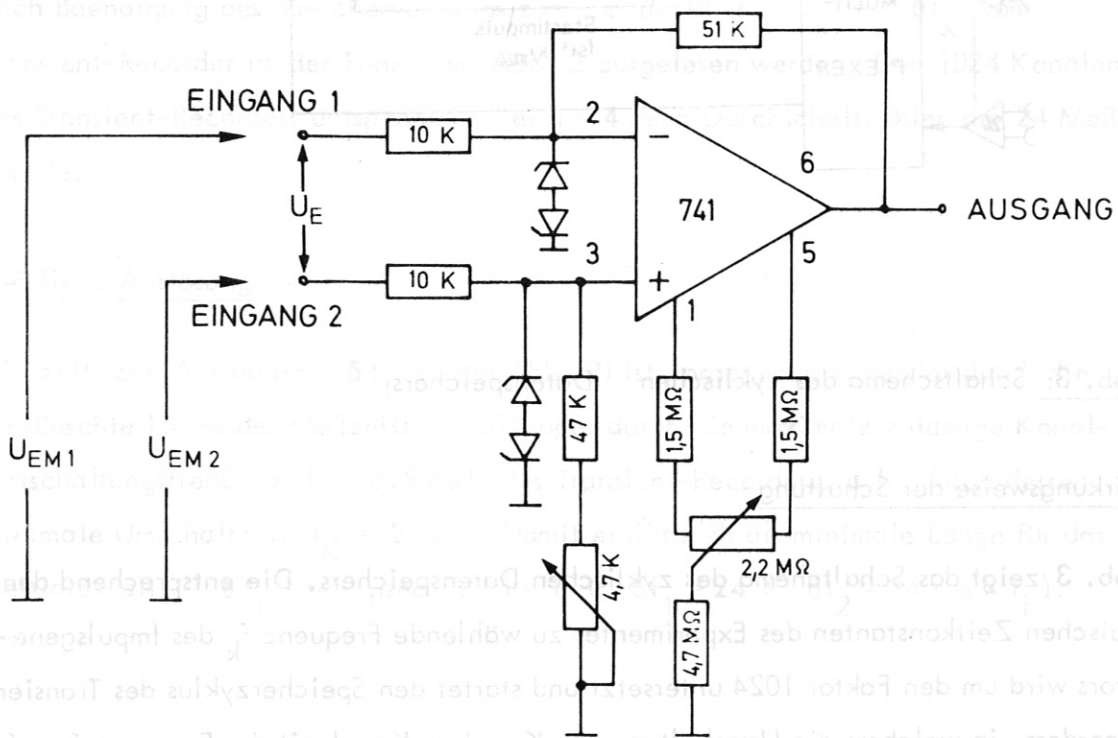


Abb. 4: Schaltung des Differenzverstärkers

Technische Daten:

Funktionsbereich:

Gleichtaktspannung	$U_{EM_1} = U_{EM_2} = \pm 10 \text{ V}$
Differenzspannung	$U_E = U_{EM_1} - U_{EM_2} = \pm 5 \text{ V}$
Spannungsverstärkung	$V_U = 5$
Gleichtaktunterdrückung	70 dB
Eingangswiderstand	10 k Ω
Frequenzbereich	0 - 5 kHz

Grenzdaten:

max. Ausgangsstrom	$I_{\text{max.}} = 10 \text{ mA}$
max. Eingangsspannung	$\pm 100 \text{ V}$

Steuerteil

Der Steuerteil (Abb. 5) liefert die Impulsfrequenzen für die Kanalfortschaltung f_k (Ext. T.B.), den Start f_{st} (ARM Inp.) des Transient-Recorders und für die Meßkanalumschaltung f_M (Takt) im Multiplexer. Die Frequenz f_k wird vom Impuls-generator (Sign.Gen.Inp.) festgelegt. Über den "Quench"-Eingang kann durch Anlegen einer positiven Gleichspannung von 5 V ein NAND-Gate angesteuert werden, das den Eingang für den Taktgenerator sperrt. Das Teilverhältnis von 1024 : 1 des Untersetzers ist angepaßt an die Zahl der Kanäle (1024) des Transient-Recorders. Mit dem Schalter S kann das Teilverhältnis für die Frequenz f_M (siehe auch Abb. 3), die die Zahl der Speicherkanäle pro Meßwert (pro Zeitintervall δt_1) festgelegt, verändert werden. Monostabile Multivibratoren (SN 74123) in den Ausgangspfaden des Steuerteils legen die Impulsbreite der verschiedenen Steuerimpulse unabhängig von der gewählten Taktfrequenz fest. Ein Zählwerk (z) registriert die Zahl der Durchläufe des Multiplexers.

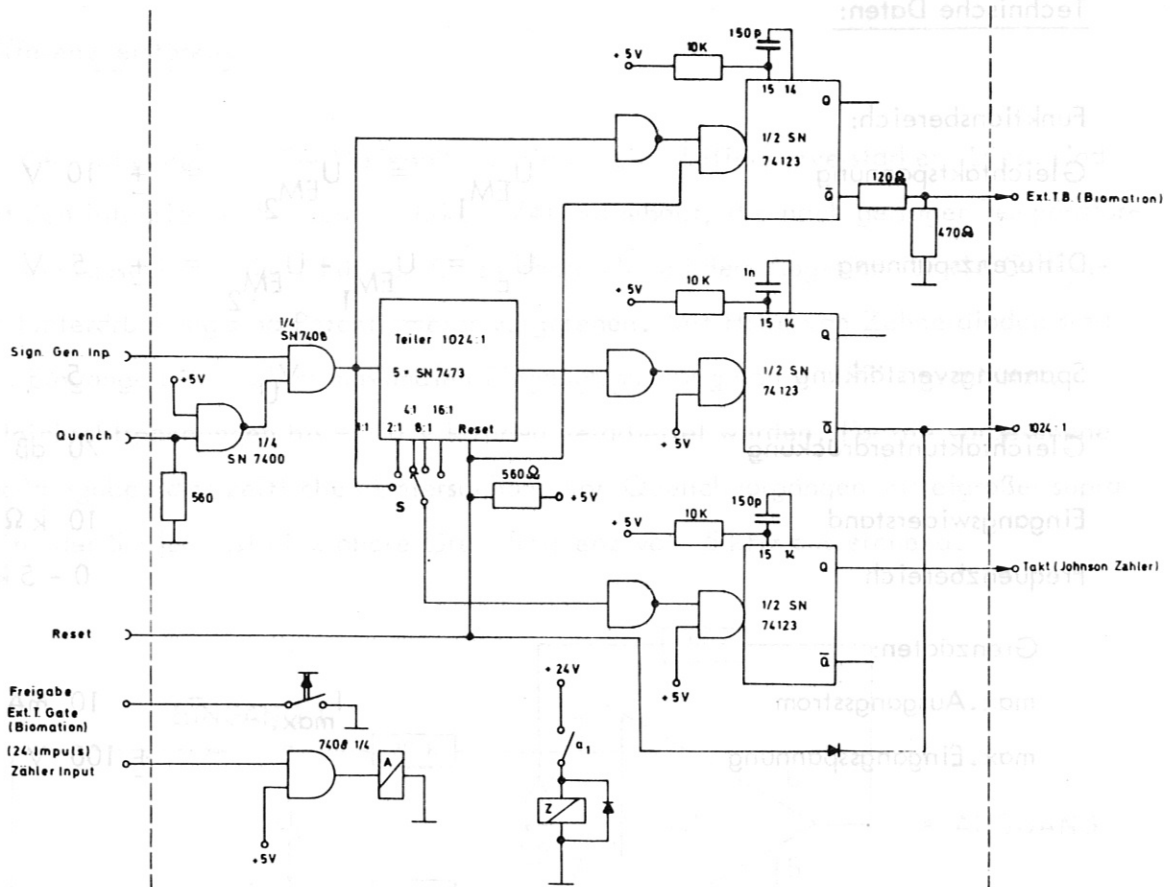


Abb. 5: Steuerteil

Multiplexer:

Im Multiplexer (Abb. 6) werden die 24 Meßkanäle (Analog Input 1 - 24) zyklisch abgefragt und in zeitrichtiger Reihenfolge in den Transient-Recorder eingespeist. Die wesentlichen Bestandteile des Multiplexers sind die Zählereinheit (Johnson-Zähler) mit Decoder und die nachgeschaltete Analoggate-Einheit.

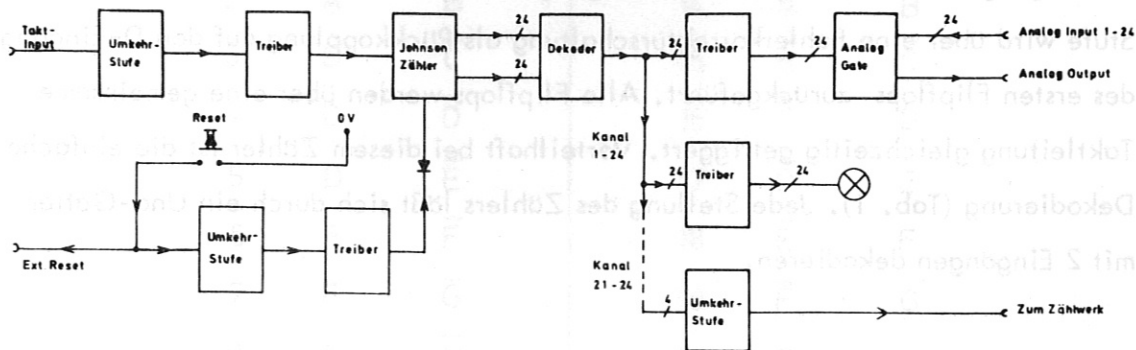


Abb. 6: Multiplexer

Um mit der Zähleinheit (TTL-Technik) die Analog-Gatter (COS-MOS-Technik) ansteuern zu können, ist es notwendig, am Eingang eine Umkehrstufe einzubauen. Diese steuert über einen Treiber die gemeinsame Taktleitung des Johnson-Zählers an. Das Prinzip dieses Zählers (Abb. 7) gleicht funktionsmäßig einem Schieberegister bzw. einem Ringzähler.

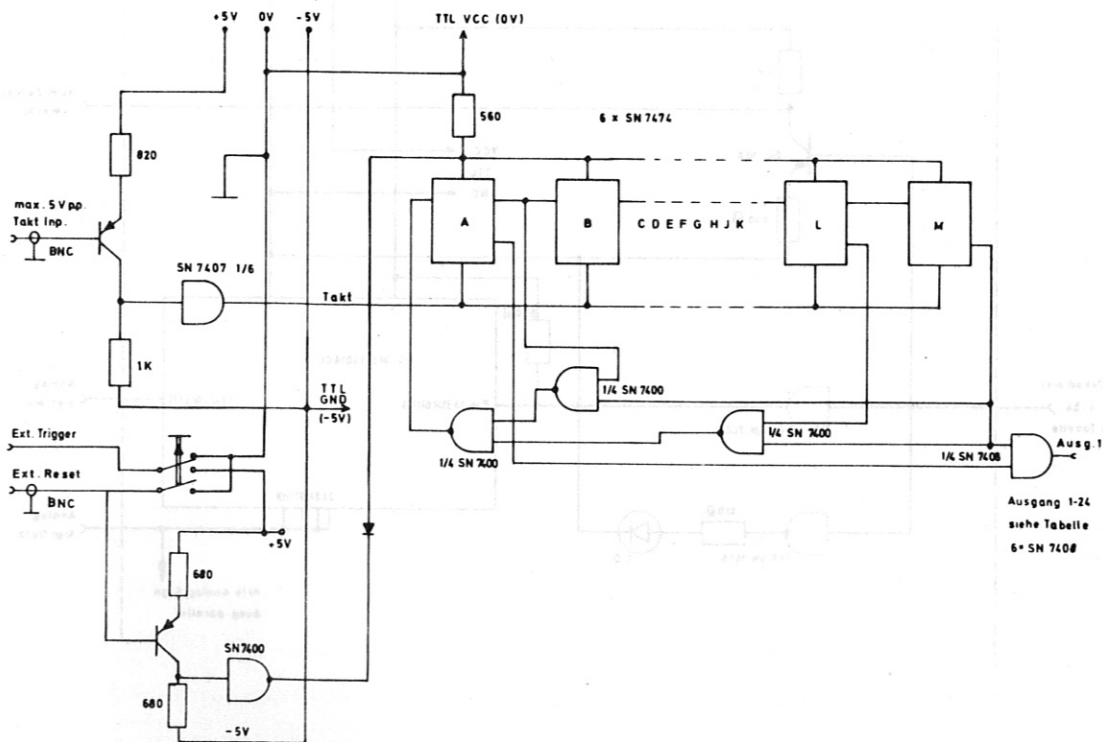


Abb.7: Johnson-Zähler mit Fehlerkorrektur und Dekodierung

Die einzelnen Flipflops werden so hintereinander geschaltet, daß jeweils der Q-Ausgang den nächstfolgenden D-Eingang steuert. Der Ausgang der letzten Stufe wird über eine Fehlerkorrekturschaltung als Rückkopplung auf den D-Eingang des ersten Flipflops zurückgeführt. Alle Flipflops werden über eine gemeinsame Taktleitung gleichzeitig getriggert. Vorteilhaft bei diesem Zähler ist die einfache Dekodierung (Tab. 1). Jede Stellung des Zählers läßt sich durch ein Und-Gatter mit 2 Eingängen dekodieren.

Von diesem Dekodierer aus werden über Treiber mit offenem Kollektor die Analog-Gatter (Abb.8) angesteuert. Über parallelgeschaltete Treiber und Luminiszenzdioden (L.D.) wird der jeweilige Zustand des Zählers angezeigt. Die Ausgänge 21-24 des Johnsonzählers sind über Umkehrstufen TTL-kompatibel bezüglich der Betriebsspannung herausgeführt.

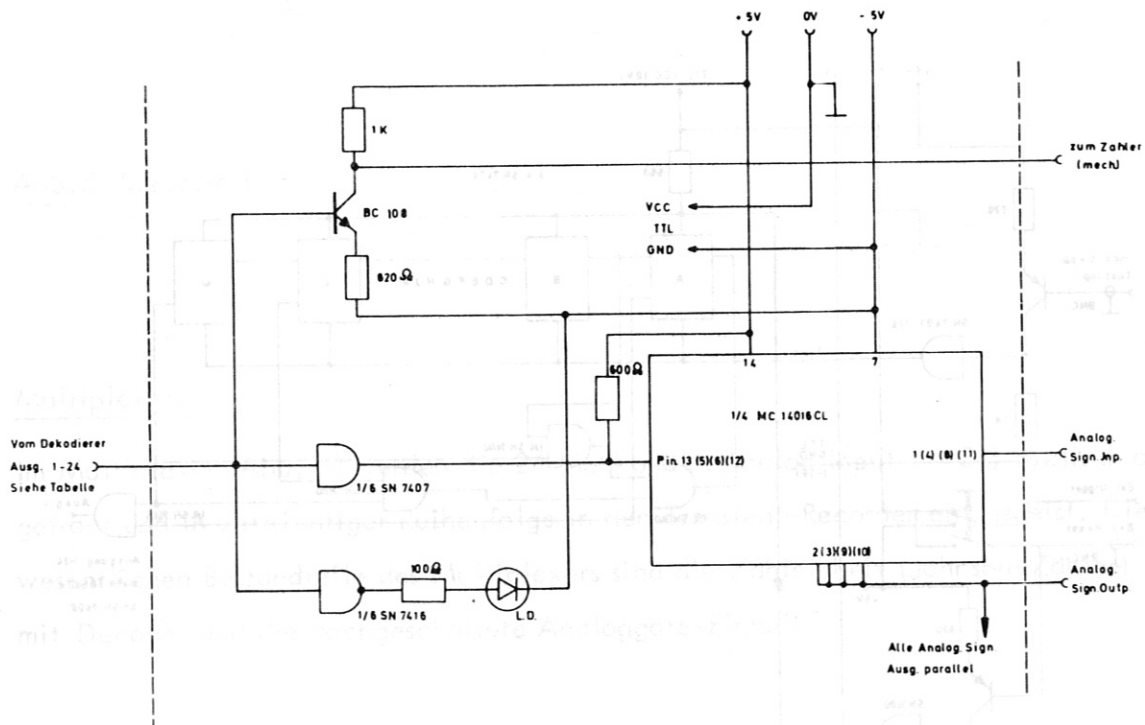


Abb.8: Analog Gate mit Treiber, Luminiszenzdioden(L.D.)-Anzeige und Umkehrstufe.

1	\bar{M}	\bar{A}	13	M	A
2	A	\bar{B}	14	\bar{A}	B
3	B	\bar{C}	15	\bar{B}	C
4	C	\bar{D}	16	\bar{C}	D
5	D	\bar{E}	17	\bar{D}	E
6	E	\bar{F}	18	\bar{E}	F
7	F	\bar{G}	19	\bar{F}	G
8	G	\bar{H}	20	\bar{G}	H
9	H	\bar{J}	21	\bar{H}	J
10	J	\bar{K}	22	\bar{J}	K
11	K	\bar{L}	23	\bar{K}	L
12	L	\bar{M}	24	\bar{L}	M

Tab. 1: Anschlußschema der Flipflops A,B,C,... M des Johnsonzählers (siehe Abb.7) an den Dekoder (siehe Abb.6) zum Anwählen der Meßkanäle 1-24. Quer-gestrichene Buchstaben beziehen sich auf den invertierenden Ausgang des entsprechenden Flipflops.

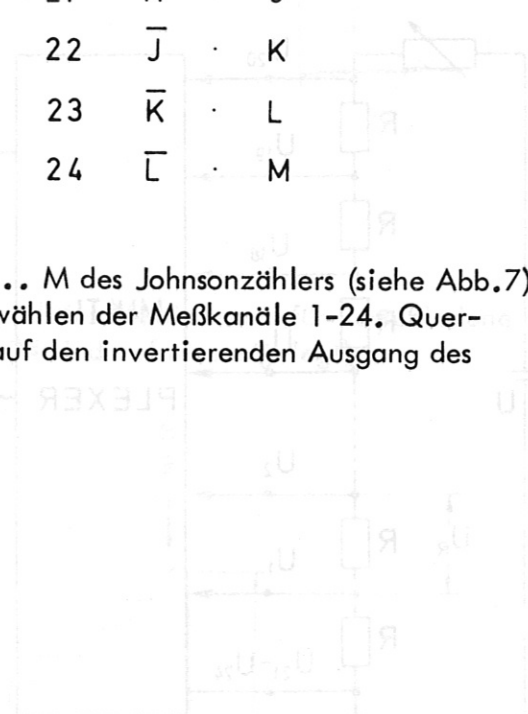


Abb. 9 zeigt das im Transistor-Rekorder gespeicherte Signal für eine Eingangsumplitude $U_0 = 300 \text{ mV}$ bei einer Δ -Kluzzeit $\Delta t = 10 \text{ ns}$. Die Durchschaltzeit t_{sch} für alle 24 Meßkanäle) des Multiplexers von 2 msec. Der Verstärkungsfaktor K des Transistor-Rekorders ist nicht definiert einstellbar, so daß für eine quantitative Auswertung eine Eichspannung auf den Meßkanälen (21-24) mit eingespeist werden muß. Die digitale Speicherung der Information in Form eines 8 bit-Wortes bedingt eine Auflösung von 4 % (2⁸ = 256) bei einer Meßspannung von 300 mV. Die Spannung des Meßkanals wird durch den Faktor K verstärkt.

Funktionstest

Ein Funktionstest wurde mit der in Abb.9 wiedergegebenen Schaltung durchgeführt. An einem Spannungsteiler werden die Teilspannungen $U_1, U_2, U_3 \dots$ abgegriffen und vom Multiplexer abgefragt. Bei genügend langsamer Taktfrequenz des Multiplexers kann dessen Ausgangssignal direkt mit einem $y-t$ -Schreiber registriert werden (siehe Abb.10). Der Spannungssprung von Kanal zu Kanal einer Treppe ist jeweils gleich groß. Die Kanäle 21-24 sind zu Markierungszwecken auf Masse gelegt.

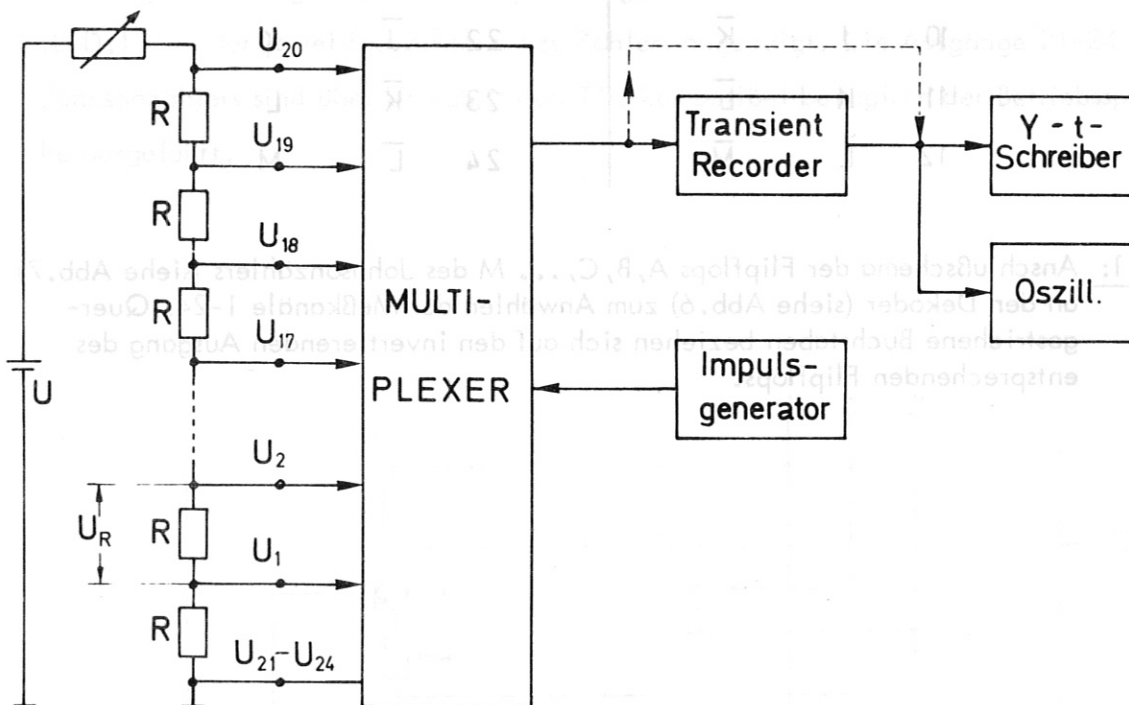


Abb.9: Testschaltung

Abb. 9 zeigt das im Transient-Recorder gespeicherte Signal für eine Eingangsamplitude $U_{20} = 300 \text{ mV}$ bei einer Zykluszeit (= Durchschaltzeit δt_1 für alle 24 Meßkanäle) des Multiplexers von 2 msec. Der Verstärkungsfaktor α des Transient Recorders ist nicht definiert einstellbar, so daß für eine quantitative Auswertung eine Eichspannung (z.B. auf den Meßkanälen 21-24) mit eingespeist werden muß. Die digitale Speicherung der Information in Form eines 8 bit-Wortes bedingt eine Auflösung von 4 % ($\approx 1/256$) bezogen auf den Endwert des am Transient-Recorders eingestellten Meßbereiches.

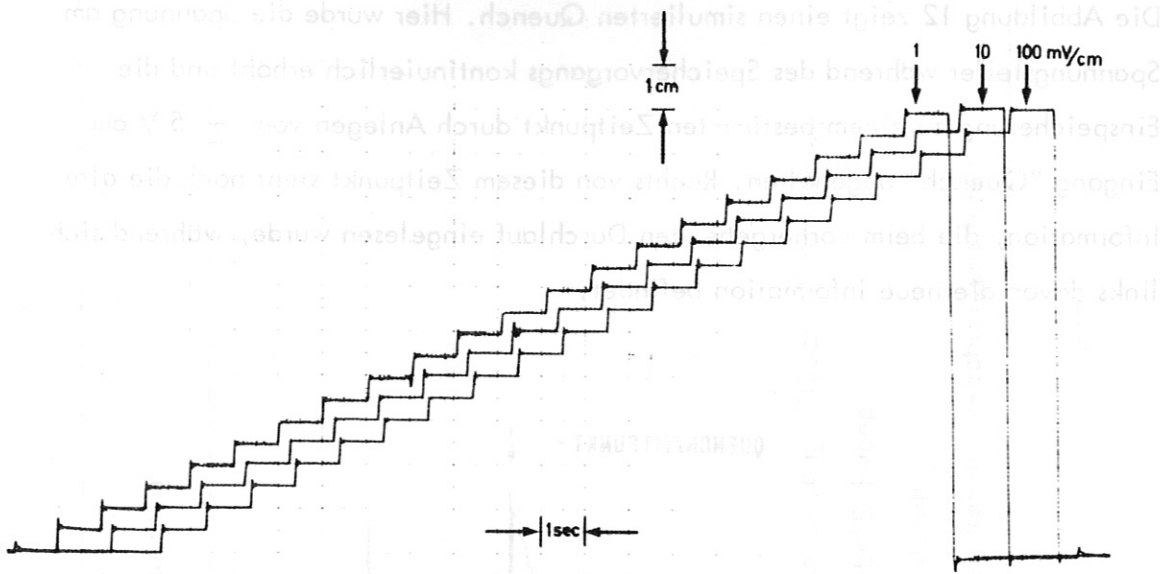


Abb. 10: Linearität des Multiplexers. Ausgangssignal des Multiplexers für verschiedene Eingangsspannungen (Die Meßkanäle 21-24 sind auf Masse gelegt).

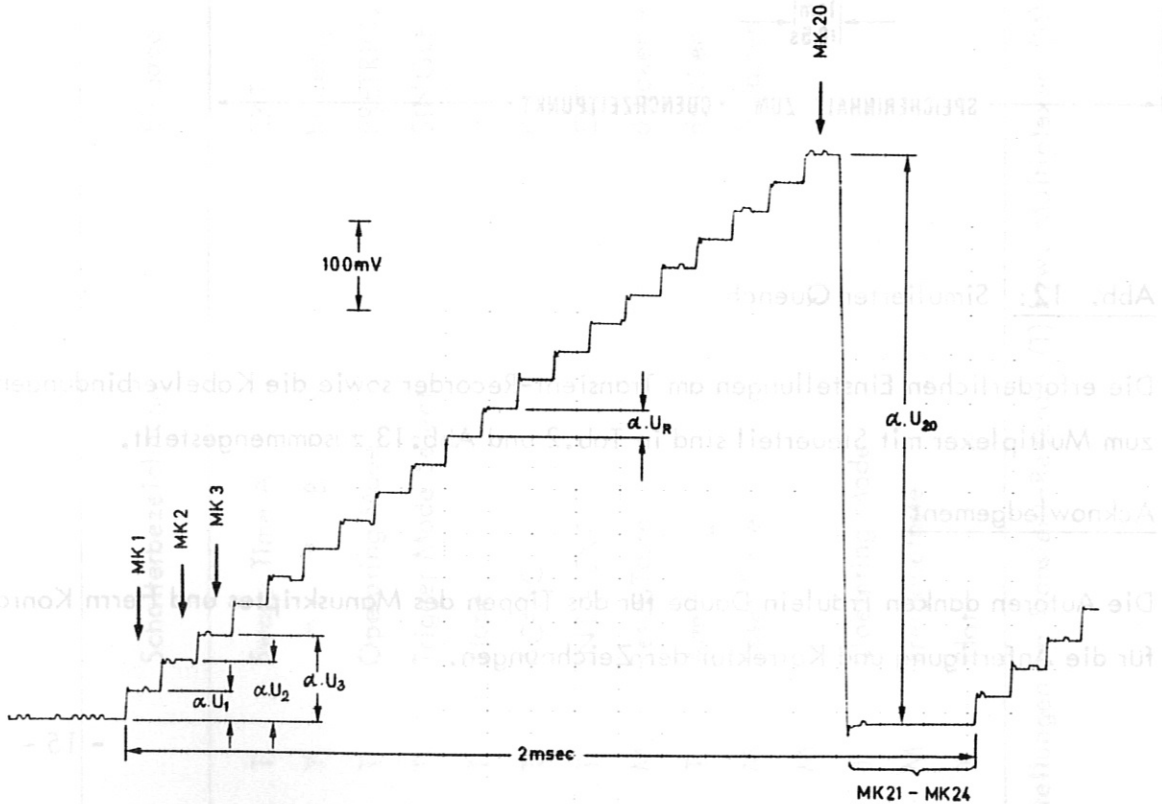


Abb. 11: Funktionstest der gesamten Schaltung. Im Transient-Recorder gespeichertes Signal. Die Spannungen der einzelnen Meßkanäle werden im Transient-Recorder um den Faktor α verstärkt.

Die Abbildung 12 zeigt einen simulierten Quench. Hier wurde die Spannung am Spannungsteiler während des Speichervorgangs kontinuierlich erhöht und die Einspeicherung zu einem bestimmten Zeitpunkt durch Anlegen von $\pm 5\text{ V}$ am Eingang "Quench" angehalten. Rechts von diesem Zeitpunkt steht noch die alte Information, die beim vorhergehenden Durchlauf eingelesen wurde, während sich links davon die neue Information befindet.

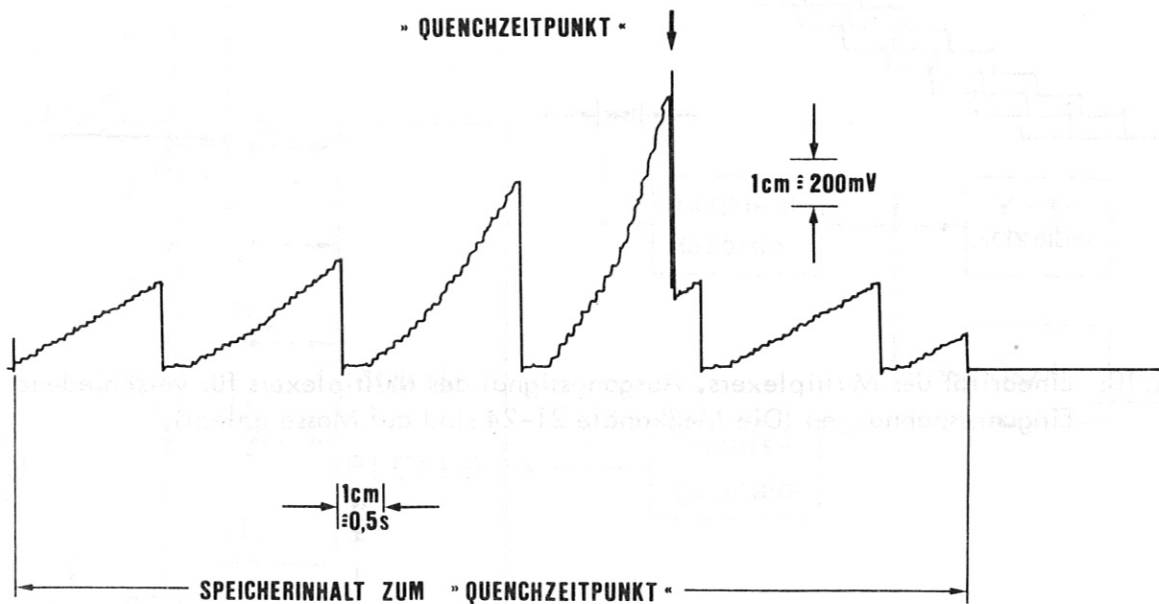


Abb. 12: Simulierter Quench

Die erforderlichen Einstellungen am Transient-Recorder sowie die Kabelverbindungen zum Multiplexer mit Steuerteil sind in Tab.2 und Abb.13 zusammengestellt.

Acknowledgement

Die Autoren danken Fräulein Daube für das Tippen des Manuskriptes und Herrn Konrad für die Anfertigung und Korrektur der Zeichnungen.

Schalterbezeichnung	Eingabe	Ausgabe
1. Sweep Time A	EXT	
2. " " B	beliebig	
3. Operating Mode	PRETRIG.-Record	
4. Trigger Mode Select	SINGLE	
5. Slope	+	
6. AC-AC	DC	
7. INT - EXT	EXT	
8. Reset Taste	drücken + halten	
9. Arm	drücken	
10. Reset Taste	loslassen	
11. Operating Mode		An Eingang "Quench" 5 V anlegen
13. Freigabetaste		DEL' D Sweep drücken
14. Plot		drücken + y-t-Schreiber starten

Tab.2: Einstellungen am Transient-Recorder (T) bzw. Multiplexer (M) für Ein- und Ausgabe

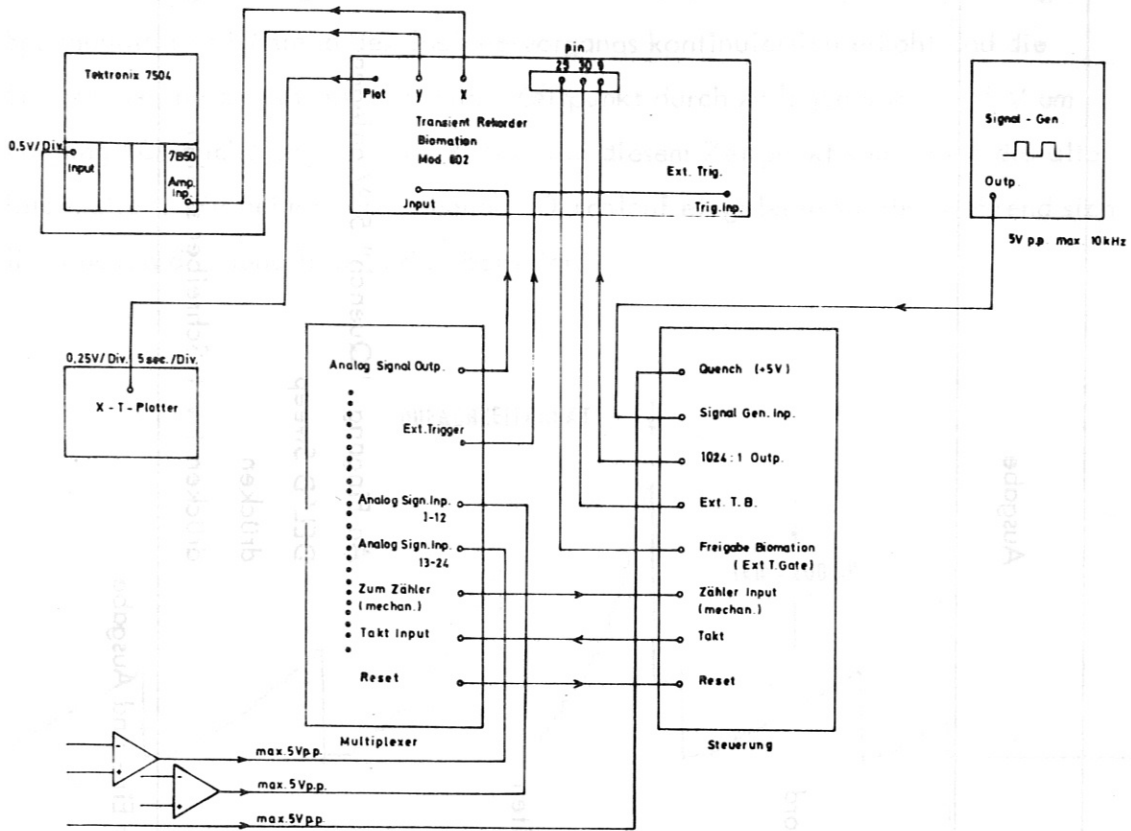


Abb. 13: Verschaltung der einzelnen Komponenten