

HEINRICH-HERTZ-INSTITUT FÜR SCHWINGUNGSFORSCHUNG
BERLIN-CHARLOTTENBURG

Technischer Bericht Nr. 134

Elektronischer Frequenzfehler – Kompensator zur
Korrektur von Frequenzablagen zwischen $4 \cdot 10^{-8}$
und $2,5 \cdot 10^{-10}$.

von

Ing. grad. Rainer Raupach



Berlin

1 9 7 1

Technischer Bericht Nr. 134

Elektronischer Frequenzfehler - Kompensator zur Korrektur von Frequenzablagen

zwischen $4 \cdot 10^{-8}$ und $2,5 \cdot 10^{-10}$.

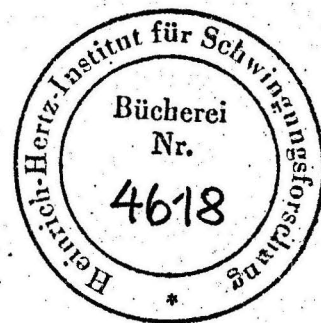
Zusammenfassung:

Nach einer kurzen Einleitung wird die Funktion des Gerätes anhand des Blockschaltbildes und der einzelnen Baugruppen erläutert. Anschließend werden für den Einsatz des Gerätes Einstellhinweise gegeben, sowie alle möglichen Eingriffe in den Korrekturablauf besprochen.

HEINRICH-HERTZ-INSTITUT

Der Bearbeiter

R. Raupach
(Ing.grad. R. Raupach)



Der Abteilungsleiter

F. W. Gundlach
(Prof. Dr.-Ing. F. W. Gundlach)

Der Institutsdirektor

P. Matthieu
(Prof. Dr.-phil. P. Matthieu)

Der elektronische Frequenzfehlerkompensator FK1/68/1

1. Einleitung:

Im Jahre 1968 wurde im HHI ein elektronischer Frequenzfehlerkompensator entwickelt, der eine beliebige Korrektur zwischen $4 \cdot 10^{-8}$ und $2,5 \cdot 10^{-10}$ vorzunehmen gestattet. Darüberhinaus ist es möglich, Drifterscheinungen zu kompensieren, wie sie bei quarzstabilisierten Normalfrequenz-Generatoren z.B. durch die Quarzalterung verursacht werden. Das Prinzip des Gerätes erlaubt eine Kompensation bei beliebigen Frequenzen. Die Spezialisierung des Gerätes auf eine diskrete Frequenz betrifft nur wenige Baugruppen, die leicht abwandelbar sind. Im Zuge einer umfassenden Registrierung des auf 16 kHz liegenden britischen Senders GBR interessiert unter anderem die Phasenlage des elektrischen bzw. magnetischen Feldvektors. Die Normalfrequenz ist im HHI auf 100 kHz normiert. Aus diesem Grunde wurde die Arbeitsfrequenz des Kompensators auf 100 kHz festgelegt. Der Sender ist auf Universalzeit UT_2 synchronisiert, die durch notwendige Korrekturen aus der, auf die mittlere Sonnensekunde bezogene Universalzeit UT_0 hervorging und über lange Zeit die am weitesten verbreitete Bezugszeit war. An die Stelle von UT_2 tritt in zunehmendem Maße die Atomzeit AT. Die Atomsekunde ist durch einen atomaren Übergang im Cäsium-Atom (^{133}Cs) definiert.

Die Abweichung zwischen Atomzeit AT und Universalzeit UT_2 liegt bei $3 \cdot 10^{-8}$. Um die Phase des britischen Senders GBR gegen AT messen zu können, muß die Abweichung von $3 \cdot 10^{-8}$ kompensiert werden. Nachdem der elektronische Kompensator seit zwei Jahren erprobt ist und fehlerfrei läuft, soll seine Funktion im folgenden näher beschrieben werden. Es sei noch darauf hingewiesen, daß man die vor zwei Jahren entworfenen Schaltungen durch das stark erweiterte Angebot an integrierten Bausteinen zum Teil erheblich vereinfachen könnte.

2. Funktionsbeschreibung : (s. Blockschaltbild)

a.) Ablage - Kompensation

Die Grundidee bei dem Gerät war, eine Verzögerungsleitung aufzubauen, die gerade eine volle Periode einer 1 MHz-Schwingung reflektionsfrei unterzubringen gestattet und sie mit Anzapfungen zu versehen. Diese Anzapfungen werden der Reihe nach mit wählbarer Geschwindigkeit abgefragt. Somit hängt es nur von der Taktfolgezeit der Abfrage ab, wie groß der Betrag der Korrektur $|\Delta f|$ wird. Die Abfragerichtung entscheidet, ob Δf positiv oder negativ wird.

Die Anzapfungen an den Verzögerungsleitungen lassen sich naturgemäß nur schrittweise abfragen. Um einerseits die Anzahl der Anzapfungen möglichst klein zu halten, andererseits jedoch einen möglichst kleinen Phasenschrittwinkel zu erhalten, wurde die am Eingang des Gerätes liegende 100 kHz-Normalfrequenz auf 1 MHz vervielfacht (Schaltung 2) und an die Verzögerungsleitung (Schaltung 3) angepaßt. Bei 16 Anzapfungen ergeben sich pro Schritt

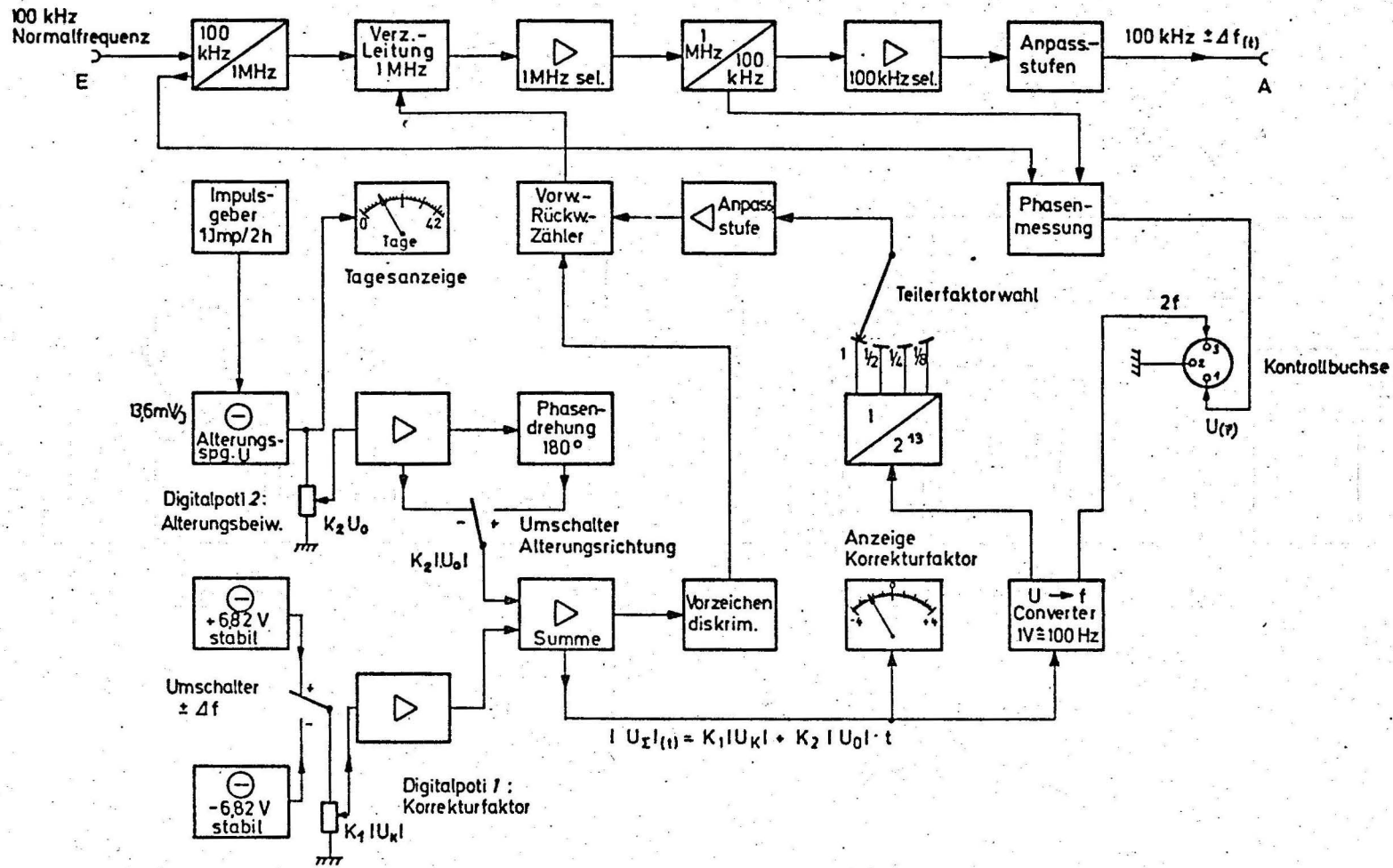
$$\frac{360^{\circ}}{16} = 22,5^{\circ}/\text{Schritt}$$

Durch Frequenzteilung 10 : 1 folgt daraus bei 100 kHz eine Schrittweite von $2,25^{\circ}/\text{Impuls}$ (Schritt). Die Phasenmessung findet bei 35 kHz statt, der Phasenwinkel reduziert sich auf

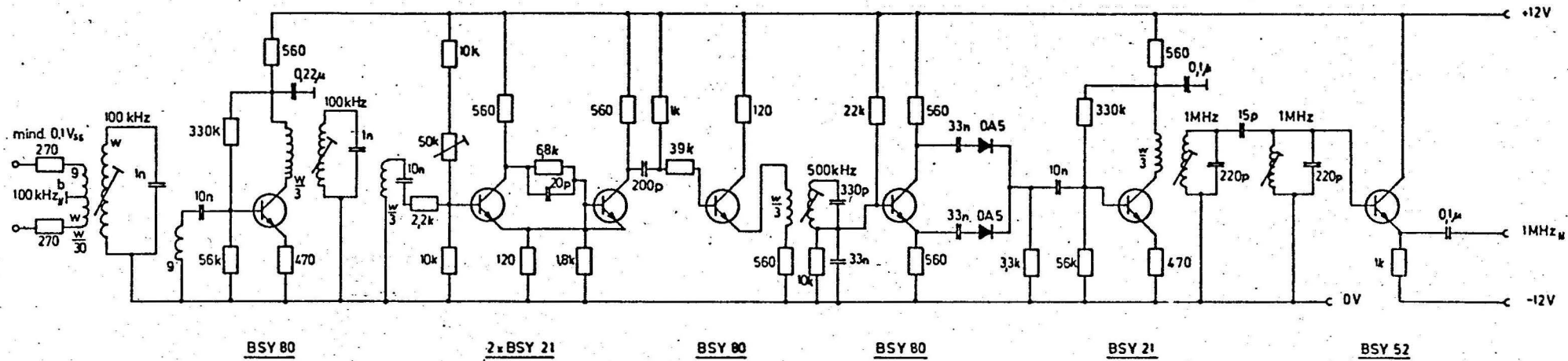
$$2,25 \cdot \frac{35}{100} = 0,787^{\circ}/\text{Schritt}$$

Im folgenden wird beschrieben, wie die Abfrage der Verzögerungsleitung mit einstellbarer Geschwindigkeit und Richtung $\hat{=} \pm \Delta f$ geschieht, und wie die Geschwindigkeit zur Quarzalterungs-Kompensation eine Funktion der Zeit $\pm \Delta f(t)$ wird.

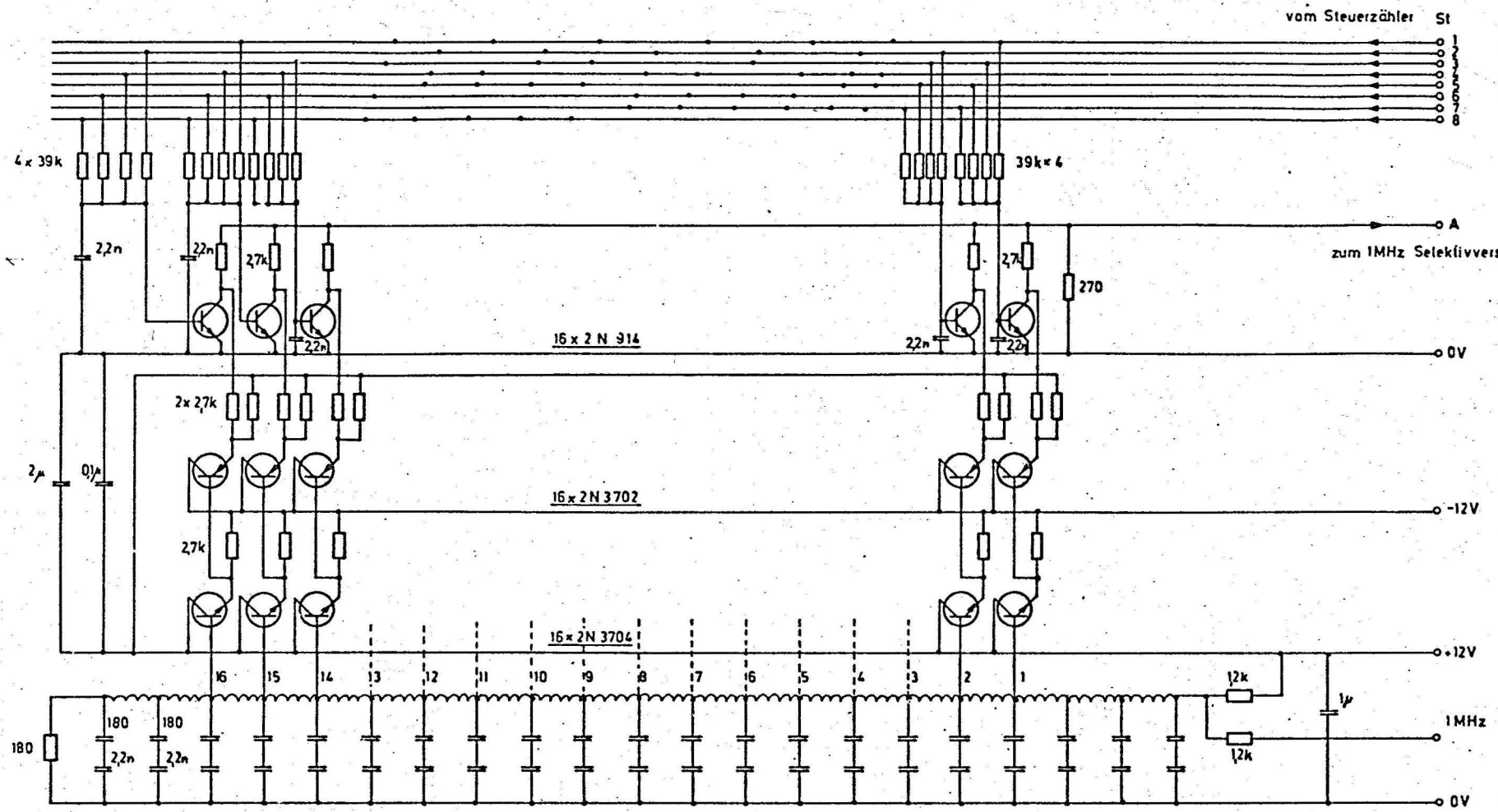
Die Anzapfungen an der 1 MHz-Verzögerungsleitung werden durch sechzehn Transistor-Schaltstufen, die von einem 4-Bit Vor-Rückwärts-Zähler angesteuert werden, abgefragt. Dieser Zähler (Schaltung 7) ist so decodiert, daß stets nur eine der



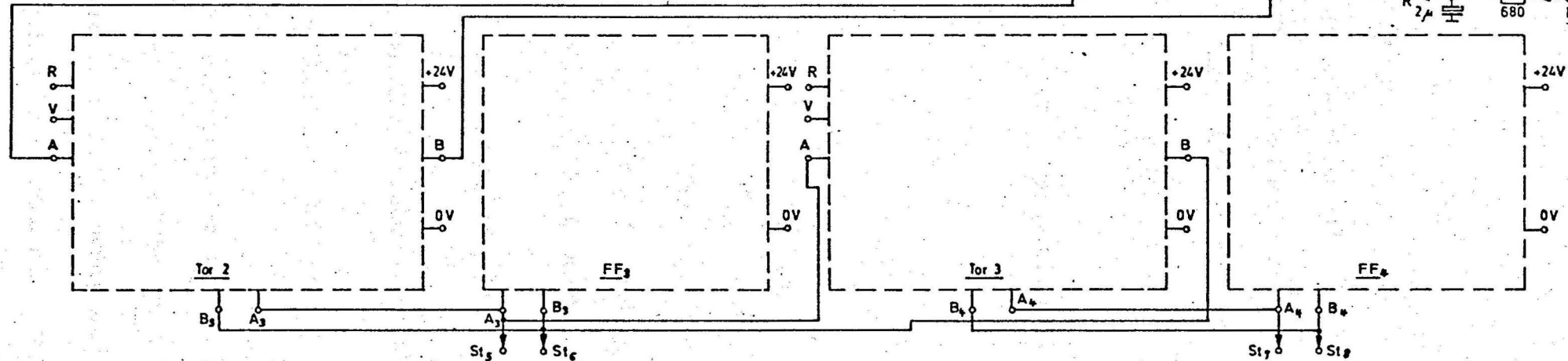
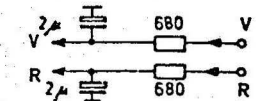
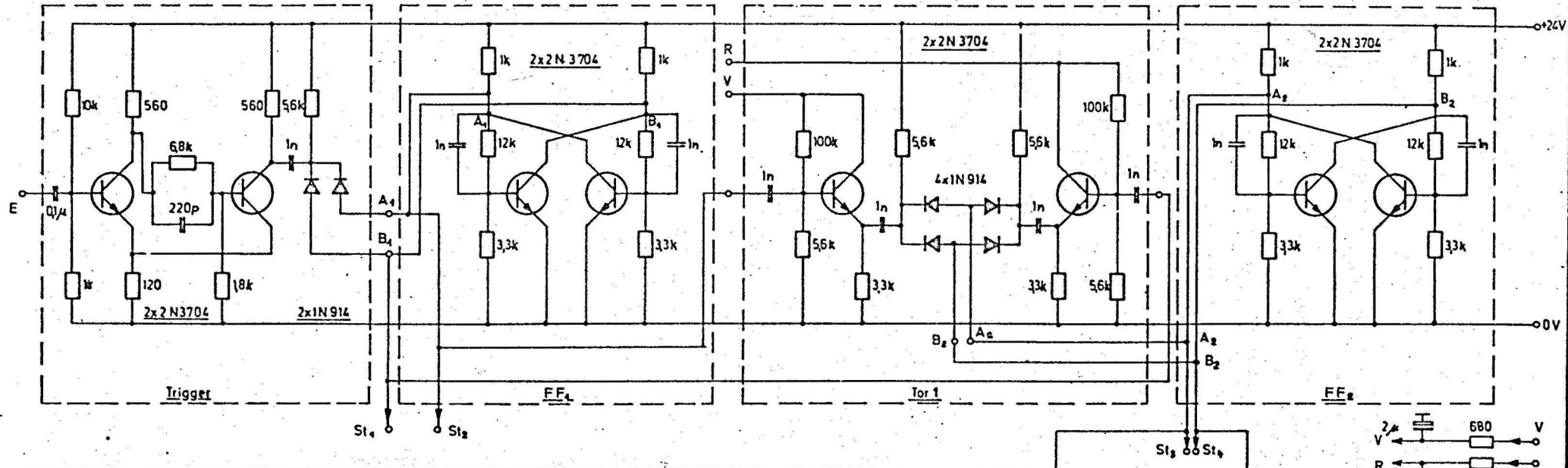
	Tag	Name	Schaltg. 1	Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
Ges.	3.6.74	kc		
Gepr.				
Norm.				
Maßstab	Blockschaltbild Frequenz- fehlerkompensator (Fk 1/68/1)			
Maße ohne Toleranz- angabe:				



	Typ	Name	Schaltg. 2
Gez.	3.6.7f	Kz	
Gepr.			
Norm.			
Mechlab	Vervielfacher 100 kHz—1MHz		Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
Malle ohne Toleranz- ang. nach:			



	Tag	Name	Schaltg. 3	
Gez.	3 6 71	K.		
Gepr.				
Norm.				
Maßstab	Phasenschalter			Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
Maße ohne Toleranz- ang. nach:				



St₁ ... St₈ zum Phasenschalter

Tag		Name		Schaltg. 7	Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik*
Gez.	1.6.71	lk			
Gepr.					
Norm.					
Maßstab					
Steuerzähler (Vorw.-Rückw.)					
Maße ohne Toleranzang. nach:					

Transistorstufen durchgeschaltet ist. Nach jedem 16-ten Impuls (Schritt) am Eingang des Zählers beginnt der Abfragezyklus von neuem. Die Impulsfolge als Funktion der Zeit, und die Vorgabe der Zählrichtung entscheiden über Größe und Richtung der Frequenzkorrektur $\pm \Delta f(t)$. Um bei 100 kHz in einer Sekunde 360° zu durchlaufen, gehören bei Schrittweite von $2,25^\circ/\text{Imp}$. 160 Impulse/sec.

$$\text{d.h. } 160 \frac{\text{Imp}}{\text{sec}} \hat{=} 10^{-5}$$

Der Korrekturfaktor soll bei maximal $4 \cdot 10^{-8}$ liegen, d.h. die Zählereingangsfrequenz muß kleiner sein um

$$\frac{4 \cdot 10^{-8}}{10^{-5}} = \frac{1}{250}$$

also bei maximal $\frac{160}{250} \frac{\text{Imp}}{\text{sec}} = 0,64 \text{ Hz} \hat{=} 4 \cdot 10^{-8}$ liegen.

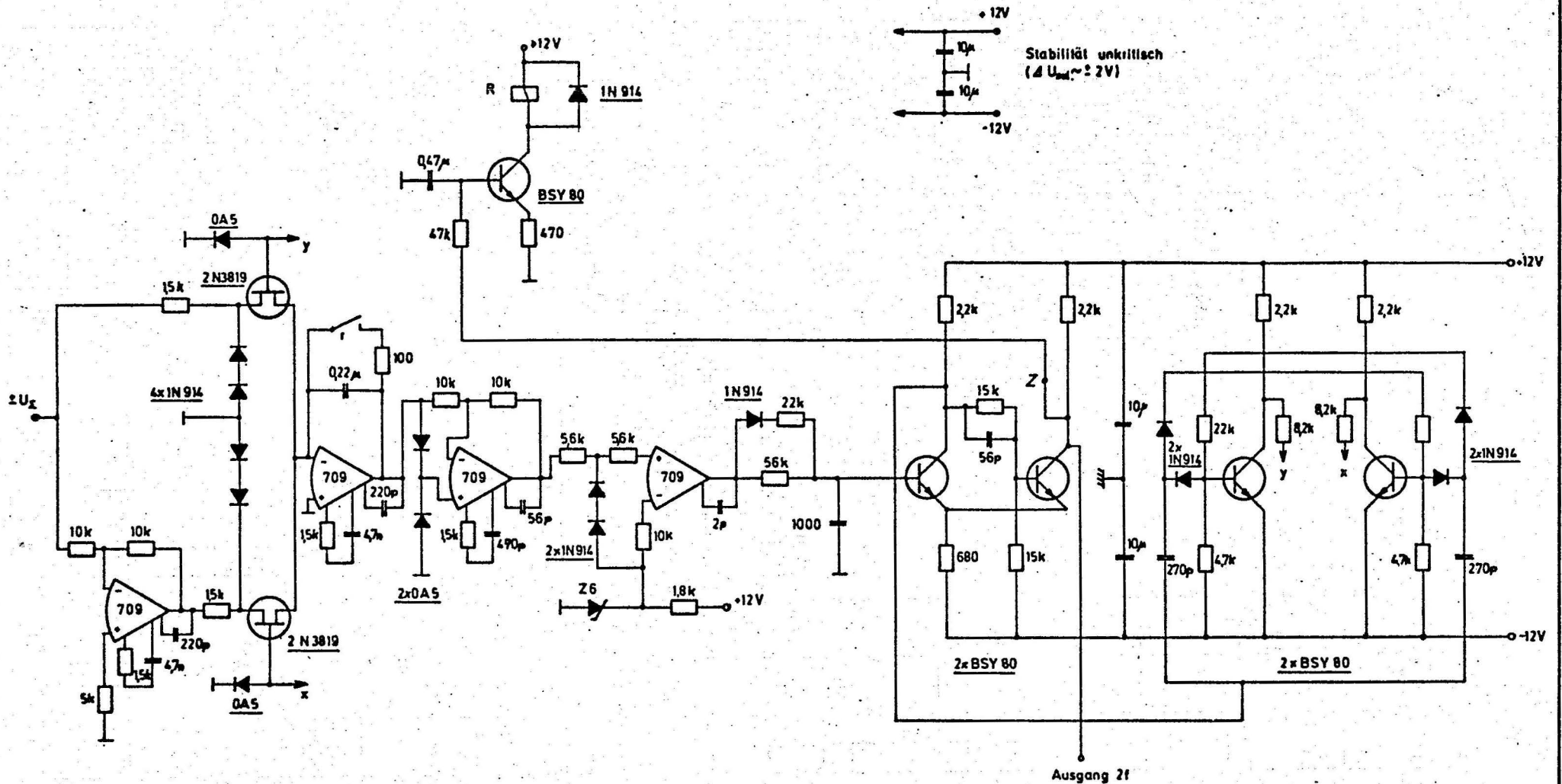
Zur Erreichung beliebiger Zwischenwerte muß sich diese Frequenz kontinuierlich verringern lassen. Um eine beherrschbare Frequenz zu erhalten, wurde einem linearen Spannungs-Frequenz-Converter (Schaltung 5, Diagramm) ein Teiler von

$$2^{10} \cdot 2^{11}, 2^{12}, 2^{13}) : 1 = 1024 (2048, 4096, 8192) : 1$$

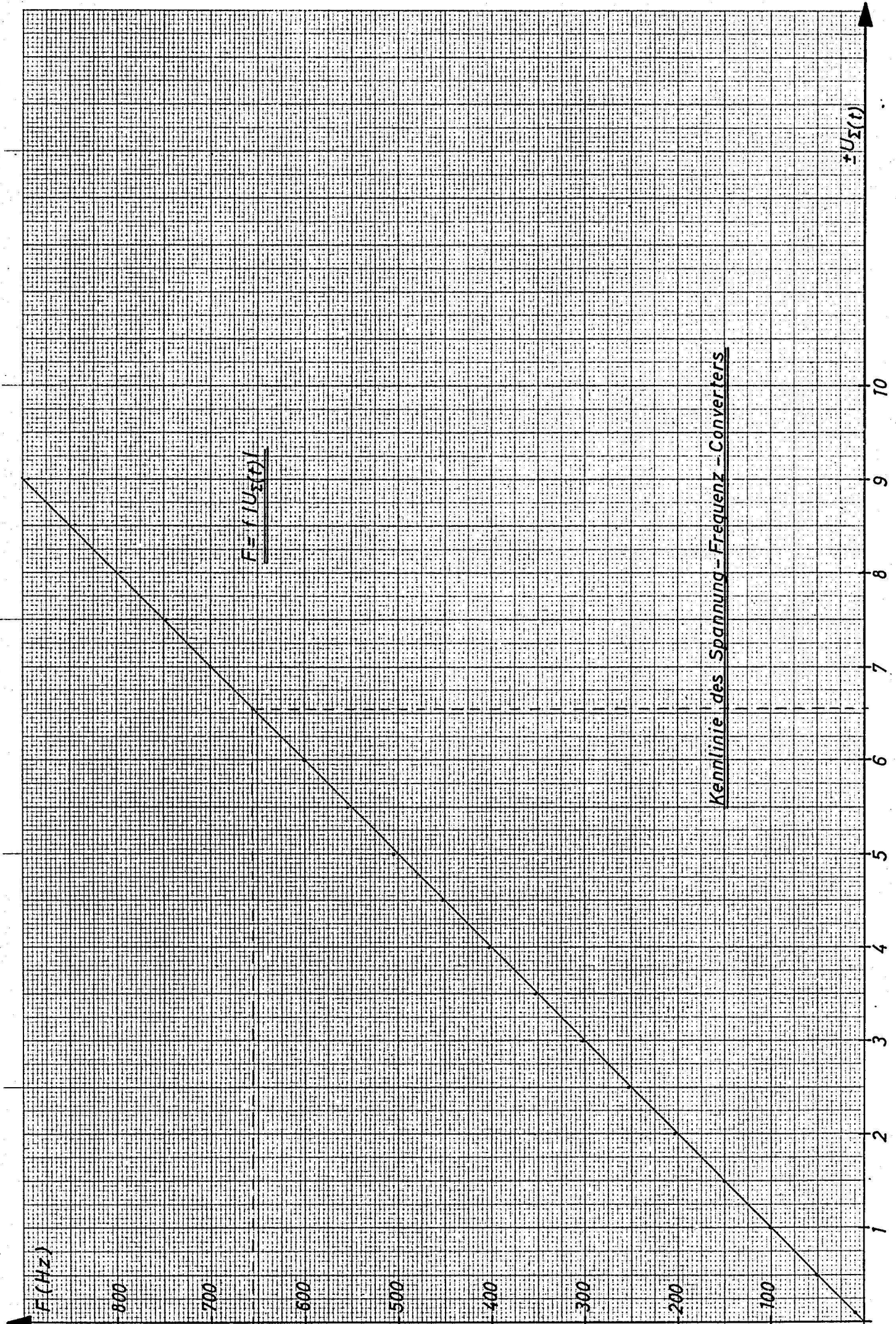
nachgeschaltet (Schaltung 8). Der Converter hat einen Conversionsfaktor 1, d.h.

$$U_K = \pm 6,55 \text{ V} \hat{=} 655 \text{ Hz} : 1024 = 0,64 \text{ Hz} \hat{=} \pm 4 \cdot 10^{-8}$$

Durch einen Netzausfall bedingt, könnte der Converter stehen bleiben. Diesem Umstand wurde durch den Einbau einer Startautomatik begegnet. Diese geht von der Voraussetzung aus, daß der Ausgang Z des Monovibrators bei stillstehendem Wandler auf positivem Potential liegt. Dadurch wird der angekoppelte Transistor

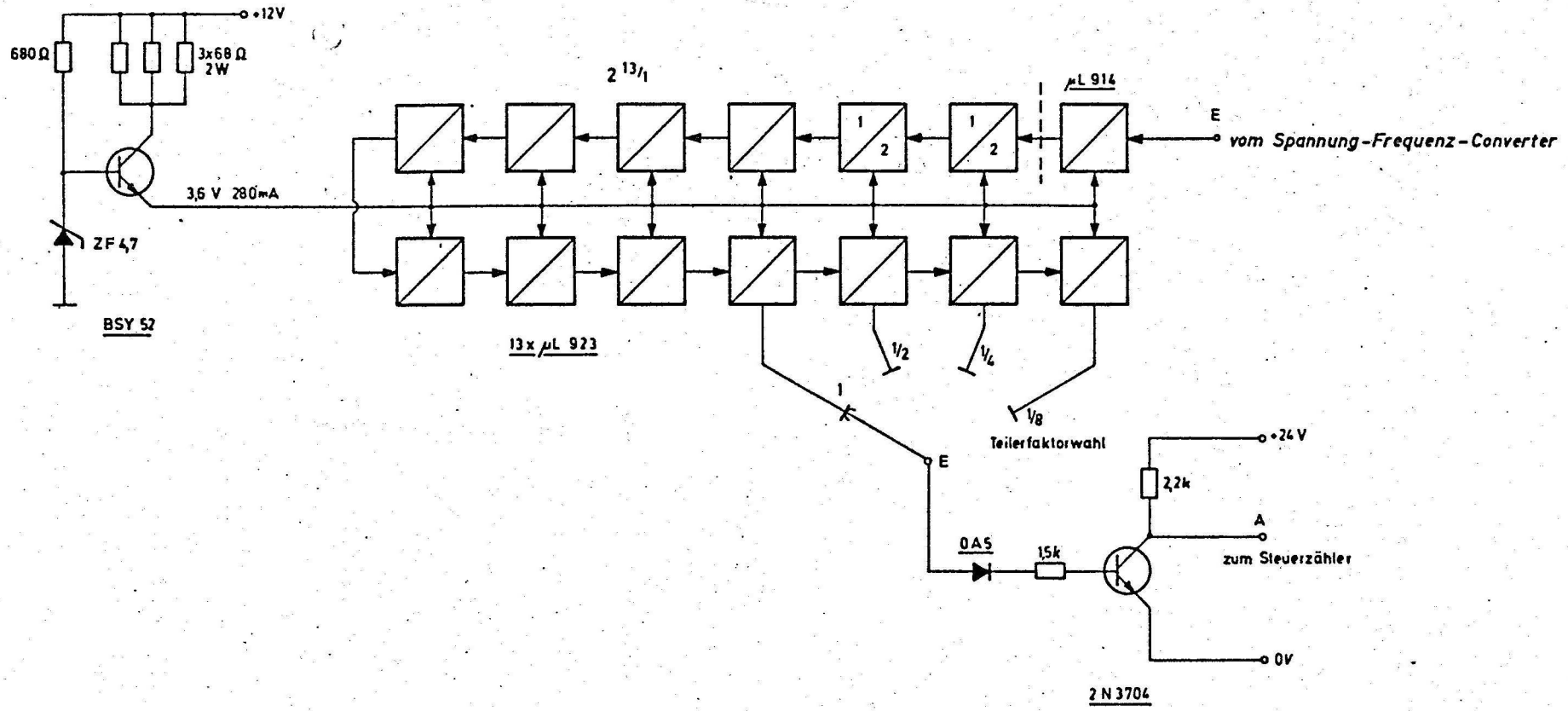


Tag	Name	Schaltg. 5	Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik	
Gez.	3.8.71			K
Gepr.				
Norm.				
Maßstab	Spannung - Frequenz - Converter			
Maße ohne Toleranzangabe nach:	$f = F(U_x, I(t))$			



$F = f \cdot U_S(t)$

Kennlinie des Spannung - Frequenz - Converters



Ger.	Tag	Name	Schaltg. 8
Gepr.	3.6.76	Ki	
Norm.			
Maßstab			
Frequenzteiler			Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
Maße ohne Toleranz- ang. wähl:			

durchgeschaltet und das Reedrelais R erregt. Der Kontakt r wird kurzzeitig geschlossen, der Integrationskondensator entladen und der Generator durch kippen des Komparators gestartet. Die Startfunktion ist so verzögert, daß sie bei laufendem Generator keinen Einfluß hat.

Wie aus dem Diagramm hinter Schaltung 5 ersichtlich, beträgt die Abweichung der Frequenz maximal 1 % vom Sollwert.

Die Teilerfaktoren $2^{10} - 2^{13}$ lassen sich über einen Tastensatz, der mit den Faktoren $1 \hat{=} 2^{10}$, $\frac{1}{2} \hat{=} 2^{11}$, $\frac{1}{4} \hat{=} 2^{12}$ und $\frac{1}{8} \hat{=} 2^{13}$ beschriftet ist, wählen, woraus sich zunächst für $|U_K| = 6,55 \text{ V}$ als Korrektur

$$\frac{4 \cdot 10^{-8}}{8} = 5 \cdot 10^{-9}$$

ergibt.

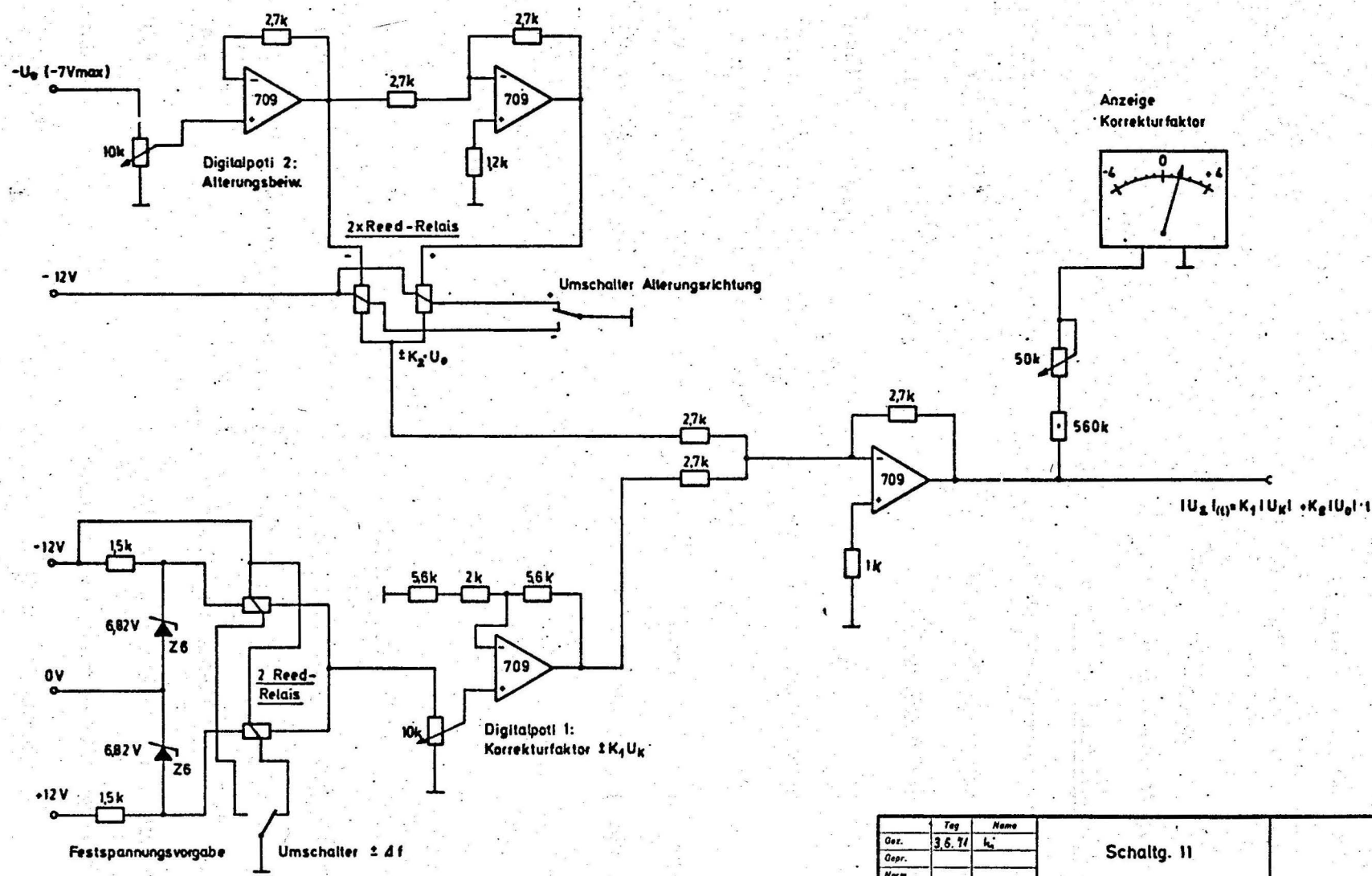
Auf einem Instrument mit dem Nullpunkt in der Mitte und ± 20 Skalenteilen läßt sich 1 Skt. genau ablesen. Die Einstellung der Spannung U_K geschieht im Hinblick auf eine einfache Bedienung über ein Wendepoti 1 mit Digitaler Anzeige (K_1). Wird hiermit z.B. ± 1 Skt. auf dem Instrument eingestellt so entspricht dies einem $\pm \Delta f$ von

$$\frac{4 \cdot 10^{-8}}{8 \cdot \pm 20} = \pm 2,5 \cdot 10^{-10}$$

b.) Quarzalterungs-Kompensation :

Um die Quarzalterung kompensieren zu können, muß die dem Converter angebotene Spannung U_Σ eine Funktion der Zeit werden. Sie setzt sich aus diesem Grunde aus zwei Anteilen (Schaltung 11) zusammen:

- 1.) Aus der in ihrem Vorzeichen wählbaren, stabilisierten und im Betrieb konstanten Festspannung $\pm U_K$, die über ein Digital-Wendepoti 1 ($\pm U_K \cdot K_1$) eingestellt wird.
- 2.) Aus der in ihrem Vorzeichen wählbaren, zeitlich sich ändernden Alterungsspannung.



	Teg	Name		
Gez.	3.6.71	K ₂	Schaltg. 11	
Gepr.				
Norm.				
Maßstab			Steuerspannungsgenerator $IU_{\Sigma}(t)$	
Maß ohne Toleranzang. nach:				

$\pm U_0(t)$, die ebenfalls über ein Wendelpoti 2 ($\pm U_0 \cdot t \cdot K_2$) einstellbar ist.

Die Gleichung für die steuernde Spannung $|U_\Sigma|$ lautet daher:

$$|U_\Sigma|(t) = K_1 |U_K| + K_2 |U_0| \cdot t$$

Wie in Schaltung 11 ersichtlich, zeigt das eben erwähnte Instrument mit ± 20 Skt. bei gedrückter Taste "Faktor 1" stets die Größe der momentanen Korrektur an. Sie ist nur dann dem am Digital-Wendelpoti 1 eingestellten Wert proportional, wenn in obiger Gleichung $|U_0| = 0$ ist. Die digitale Anzeige der Stellung des Wendelpotis 1 (K_1) erhält seinen Sinn durch die Möglichkeit einer einfachen Ablagekorrektur (siehe Einstellhinweise).

Bei der Kompensation der Quarzalterung wurde davon ausgegangen, daß ein Quarz im Mittel in einer festen Richtung und stetig altert.

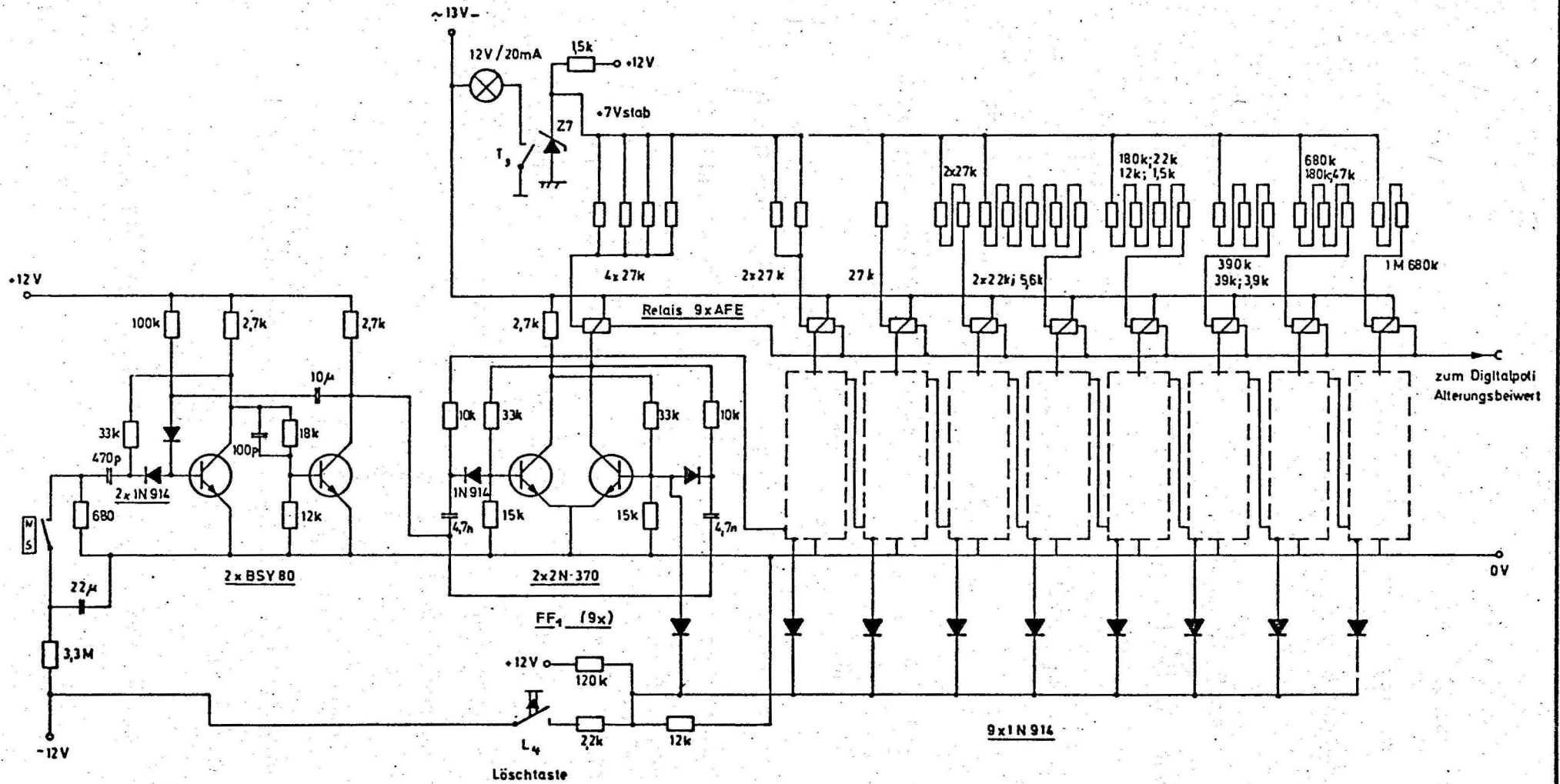
Die Alterungs-Kompensationsspannung wird durch einen Treppenstufengenerator (Schaltung 9) dargestellt, der 7 V in 512 Schritten erreicht, wobei jede zweite Stunde die Spg. U_0 um eine Stufe, d. h. um

$$\frac{7 \text{ V}}{512} = 13,6 \text{ mV/Stufe}$$

erhöht.

$$1 \text{ Stufe} \hat{=} 13,6 \text{ mV}/2\text{h} \hat{=} 136 \text{ m Hz}/2\text{h}$$

Der 2h-Impuls wird durch ein Synchron-Uhrwerk mit Getriebe erzeugt, dessen Hauptwelle für eine volle Umdrehung gerade zwei Stunden benötigt. An dieser Welle ist ein Arm angebracht, an dessen freiem Ende ein Permanent-Magnet befestigt wurde. Durch den Magneten wird ein Reed-Kontakt geschlossen, der einen Monovibrator anstößt. Dieser sorgt für einen definierten Impuls am Treppengenerator-Eingang und verhindert Mehrfachimpulse durch Kontaktprellen, sowie Zusatzimpulse durch Netzstörungen etc. Ein Instrument mit linearer Skalenteilung (Tagesanzeige) zeigt an, wie weit die Alterungsspannung $U_0(t)$ angewachsen ist (siehe Blockschalbild). Nach 42,7 Tagen sind



	Typ	Name		
Gez.	1.6.74	K	Schaltg. 9	
Gepr.				
Norm.				
Maßstab			Treppenstufengenerator	
Maße ohne Toleranzang. nach:				
			Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik	

7 V erreicht und der Treppenstufengenerator muß gelöscht werden. Ein roter Strich auf der Skale des Instrumentes bei 40 Tagen erinnert an die Notwendigkeit, den Generator zu löschen. Durch Schließen des Kontaktes L 4, wird der Zähler des Treppenstufengenerators auf Null gesetzt.

In diesem Zusammenhang muß gezeigt werden, wie der Summand $K_2 \cdot |U_0| \cdot t$ in obiger Gleichung auf die Gesamtkorrektur $|\Delta f|_{(t)}$ Einfluß nimmt. Die Änderung der Spannung U_0 (t)/Tag ist

$$\frac{\Delta U_0}{d} = \frac{7 \cdot 10^3 \text{ mV} \cdot 24}{512 \cdot 2} = 163 \text{ m V/d}$$

Für U_K gilt

$$6,55 \text{ V} \hat{=} 4 \cdot 10^{-8}$$

Es ergibt sich für $K_2 = 1$ die Alterung zu

$$\frac{4 \cdot 10^{-8} \cdot 163 \text{ mV}}{6,55 \cdot 10^{-3} \text{ mV Tag}} = 10^{-9}/d$$

Die Konstante K_2 wird durch ein Digitalpoti (1000 Digits) dargestellt, läuft also von $K = 1$ bis $K = 10^{-3}$. Somit läßt sich ein beliebiger Alterungsbeiwert zwischen $1 \cdot 10^{-9}$ und $1 \cdot 10^{-9}/10^{+3} = 1 \cdot 10^{-12}$ direkt am Poti einstellen. Dieser Beiwert ($K_2 \cdot |U_0| \cdot t$, Schaltung 10) wird zusammen mit der Festspannung $K_1 \cdot |U_K|$ auf einen Summierverstärker gegeben (Schaltung 11) und steuert den Spannungs-Frequenz-Converter, wobei ein Vorzeichendiskriminator (Schaltung 6) die Zählrichtung $\hat{=} \pm f(t)$ des Vorwärtszählers festlegt. Ist der Treppenstufengenerator zu löschen, muß in der Gleichung

$$|U_{\Sigma}|_{(t)} = K_1 \cdot |U_K| + K_2 \cdot |U_0| \cdot t$$

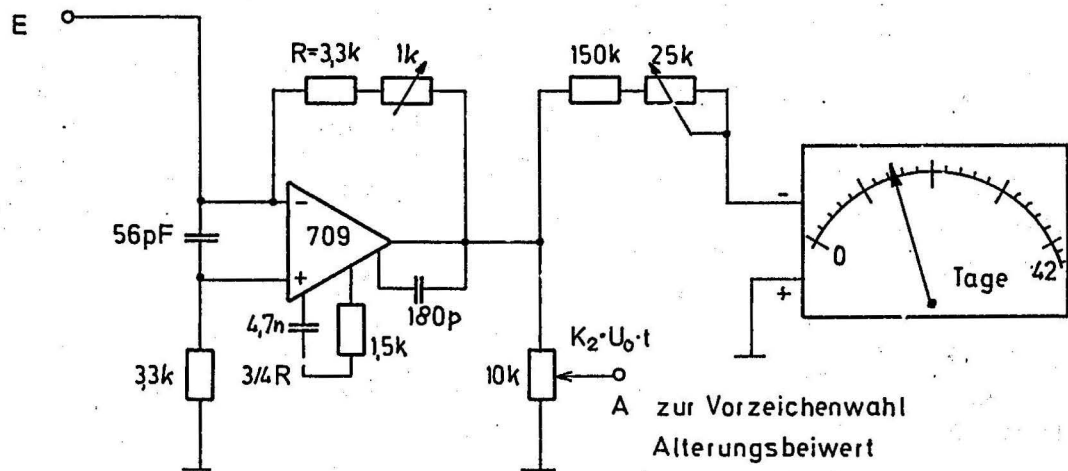
$|U_{\Sigma}|_{(t)}$ konstant bleiben, obwohl $|U_0| = 0$ gesetzt wird, d.h. es muß zum Löszeitpunkt

$$|U_{\Sigma}|_{(t)} = K_1 \cdot |U_K|$$

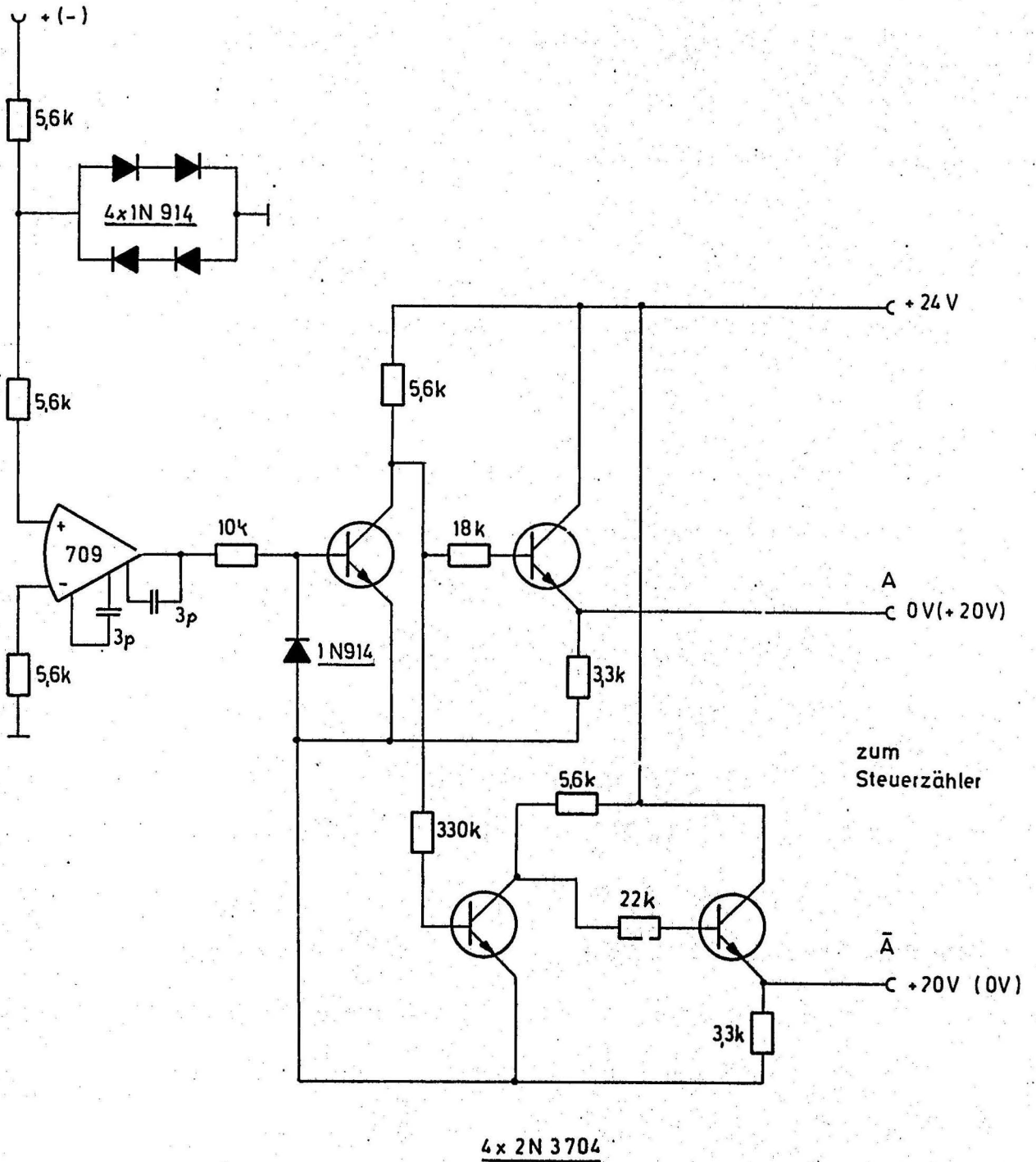
werden. Dies läßt sich leicht durch proportionales Verändern von K_1 am Digitalpoti 1 erreichen.

vom Treppenstufengen.

Einstellung am Alterungsgenerator
von außen möglich



	Tag	Name	Schaltg. 10
Gez.	3. 6. 71	W.	
Gepr.			
Norm.			
Maßstab			Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
Maße ohne Toleranzang. nach:	Ausgangsstufe Alterungs- spannung mit Tagesanzeiger		



4 x 2N 3704

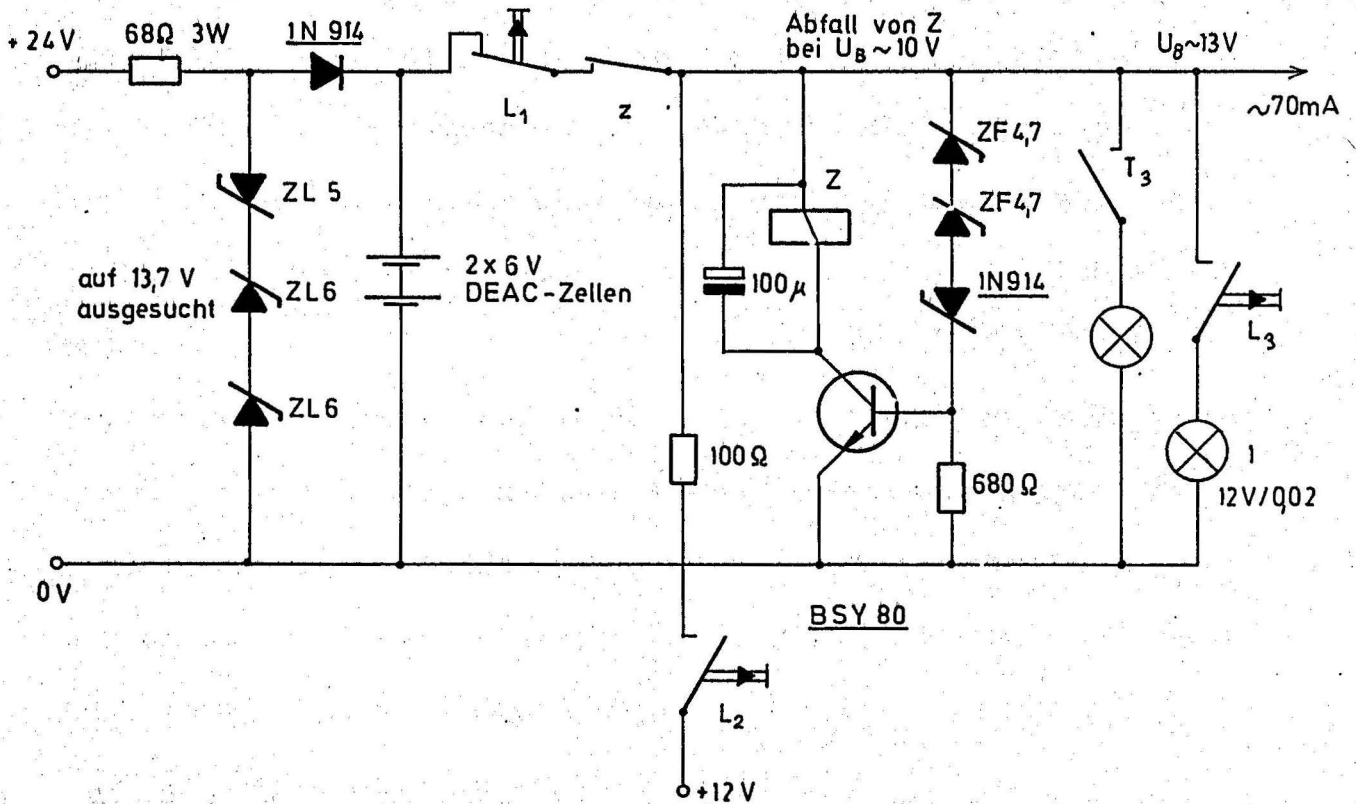
	Tag	Name	Schaltg. 6			
Gez.	3.6.71	ku				
Gepr.						
Norm.						
Maßstab	Vorzeichendiskriminator			Heinrich-Hertz-Institut Berlin Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik		
Maße ohne Toleranzang. nach:						

Um die richtige Einstellung leicht finden zu können, ist die doppelte Converter-Frequenz ($4 \cdot 10^{-8} \hat{=} 1310 \text{ Hz}$) an eine Ausgangsbuchse geführt. Hier läßt sich ein Zähler anschließen, und der Löschvorgang wird stark vereinfacht durch Befolgung folgender drei Punkte :

- 1) Ablesen der Zählerfrequenz;
- 2) Löschung von U_0 durch Tastendruck (Tagesanzeigt geht auf Null);
- 3) Einstellen der vor dem Löschen abgelesenen Frequenz mit Hilfe des Digitalpotis 1 ;

Um zu verhindern, daß bei einem eventuellen Netzausfall der Speicherinhalt des Treppenstufengenerators verlorenght, wird der Speicher gepuffert betrieben . Die Kapazitätsreserve überbrückt ca. 15 Std. Eine Abschaltautomatik (Schaltung 13) sorgt dafür, daß die verwendeten DEAC-Zellen nicht in unzuträglichem Maße entladen werden können.

Die Abschaltung erfolgt bei einem Abfall der Batteriespannung auf ca : 10 V durch Abfall des Relais Z und Öffnen des Kontaktes z . Ist das Relais Z abgefallen, so muß nach dem Wiedereinsetzen der Netzspannung durch Drücken der Löschtaste (Kontakte L_2, L_3 schließen) die Automatik wieder eingeschaltet werden. Dabei leuchtet in der Löschtaste die Anschalt-Kontrollampe auf. Bei Inbetriebnahme des Gerätes (siehe Einstellbeispiel) ist die Abstellautomatik auf gleiche Weise anzuschalten. Die Löschtaste liegt auf einer Schaltebene des Tastensatzes für Teilerfaktorwahl. Die Tasten sind darüberhinaus zur Versorgungsspannungskontrolle ausgenutzt, d. h. durch kurzes Durchtippen der Faktortasten $1, 1/2, 1/4, 1/8$ werden nacheinander die Spannungen $U_{B1} = + 24 \text{ V}$, $U_{B2} = + 12 \text{ V}$, $U_{B3} = + 12 \text{ V}_{\text{Batt}}$ (grobe Ladezustandskontrolle der DEAC-Zellen) und $V_{B4} = - 12 \text{ V}$ durch Aufleuchten der betreffenden Tastenlampe überprüft. Für die Spannungsversorgung wurden kommerzielle Steckkarten der Firma GOSSEN verwendet. Die Spannungen $U_{B1} - U_{B4}$ sind außerdem



L_1, L_2, L_3 = Bei gedrückter Löschtaste betätigt

T_3 = Bei Teilerfaktor 0,25 betätigt

	Tag	Name	Schaltg. 13	
Gez.	3.6.71	li		
Gepr.				
Norm.				
Maßstab			Spannungsversorgung Treppenstufengenerator	Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
Maße ohne Toleranz- ang. nach:				

nach außen auf Buchsen geführt und können leicht kontrolliert werden. Die kompen-
sierte 1 MHz_N-Schwingung steht am Summenpunkt der 16 Transistor-Schaltstufen
der Verzögerungsleitung und wird von hier auf einen 1 MHz-Selektivverstärker
(Schaltung 4) gegeben. Nach der Teilung 10:1 gelangt das Kompensationsergebnis
100 kHz $\pm \Delta f_{(t)}$ auf den 100 kHz-Selektivverstärker (Schaltung 12) und die Ausgangs-
stufen.

Insgesamt vier kurzschlußfeste, entkoppelte Ausgänge (UHF-Buchsen : 2 symme-
trisch, 2 unsymmetrisch) gestatten den Anschluß von vier verschiedenen Geräten.

Der Versatz $\pm \Delta f_{(t)}$ bei 100 kHz wird mit einem Phasenmesser (Schaltung 14) gemessen
und steht an einer Ausgangsbuchse für Kontrollzwecke zur Verfügung. Die Lineari-
tät der Phase ist im Graph hinter Schaltung 14 gezeigt.

3. Einstellhinweise und Korrekturen.

Für den Einsatz des Gerätes und seine Ersteinstellung seien folgende Hinweise ge-
geben:

Angenommen, man registriert den Phasenverlauf zwischen zwei normalfrequenzsta-
bilen Frequenzen auf 32 kHz. Zu errechnen ist zunächst, welcher Abweichung pro
Tag ein Sägezahn (Sgz/d) entspricht (1d = 24 · 3600 sec)

$$\frac{1}{f \cdot d} = \frac{10^{-4} \cdot 10^{-1} \cdot 10^{-3}}{3,2 \cdot 2,4 \cdot 3,6} = 3,62 \cdot 10^{-10}$$

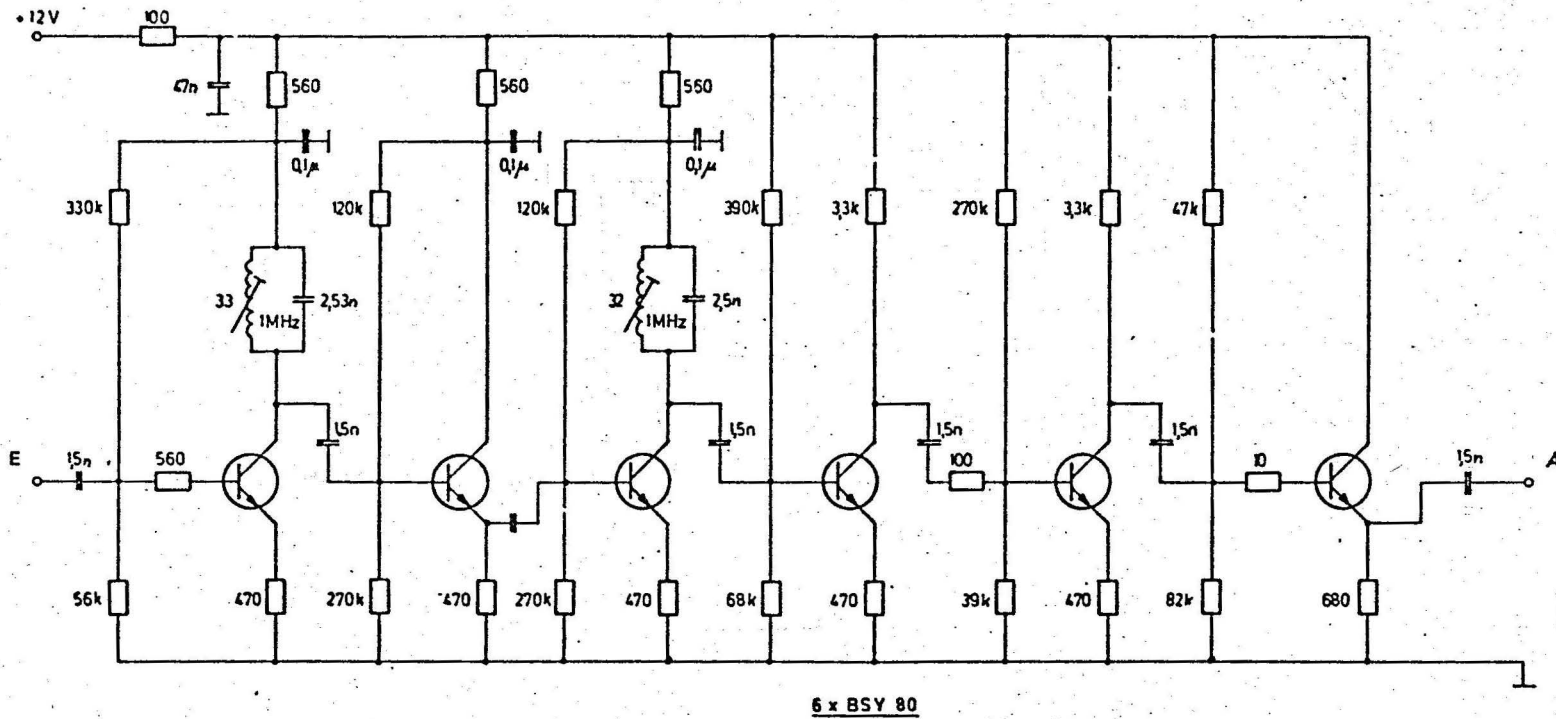
d.h.

$$1 \text{ Sgz/d}_{32 \text{ kHz}} \hat{=} 3,62 \cdot 10^{-10}$$

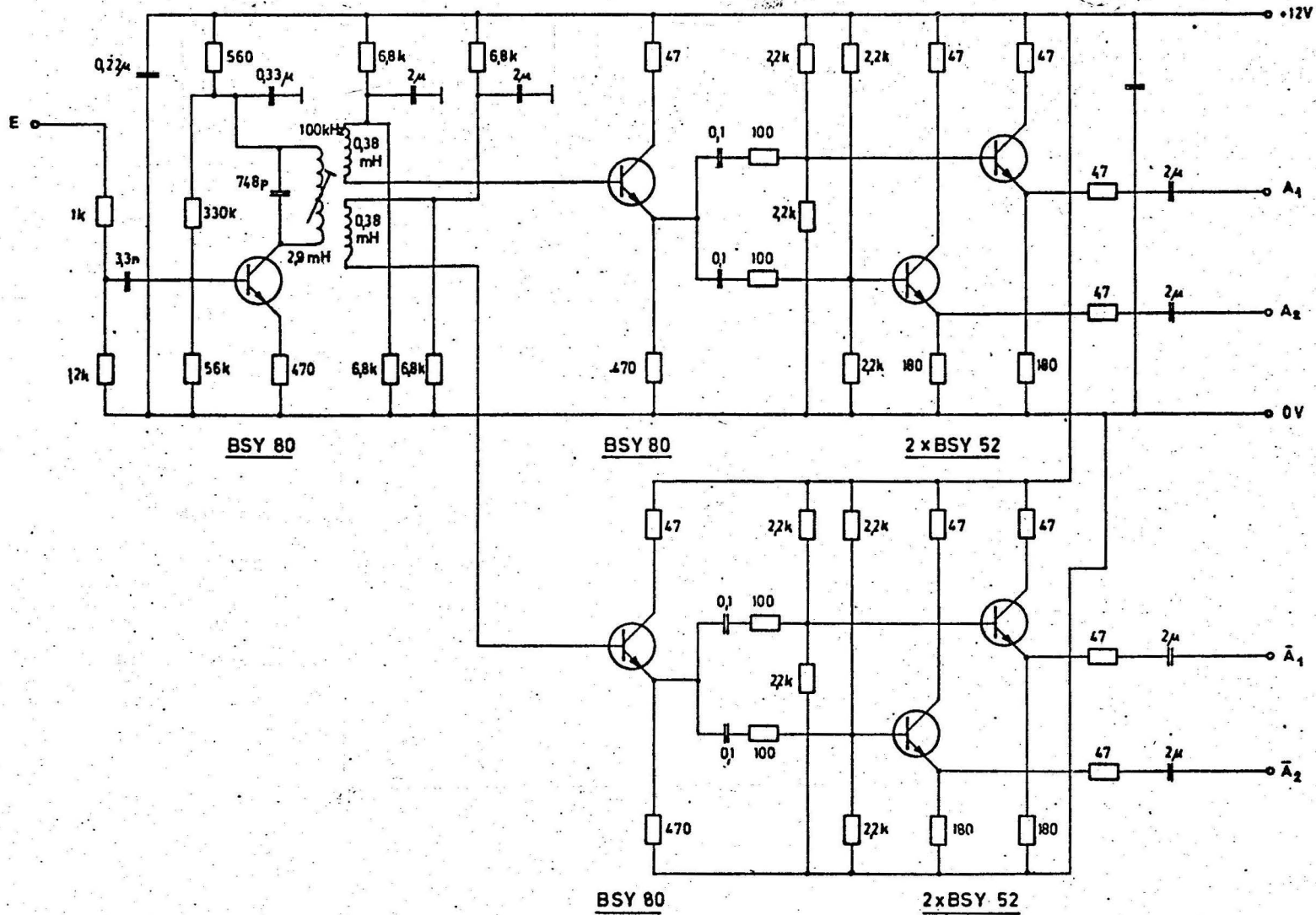
Aus der Registrierung ohne Kompensator wurden für 24 Std. 79,65 Sägezähne ausge-
zählt. Daraus ergibt sich ein Anfangswert von

$$3,62 \cdot 10^{-10} \cdot 0,796 \cdot 10^2 \text{ Sgz/d} \hat{=} 2,88 \cdot 10^{-8}$$

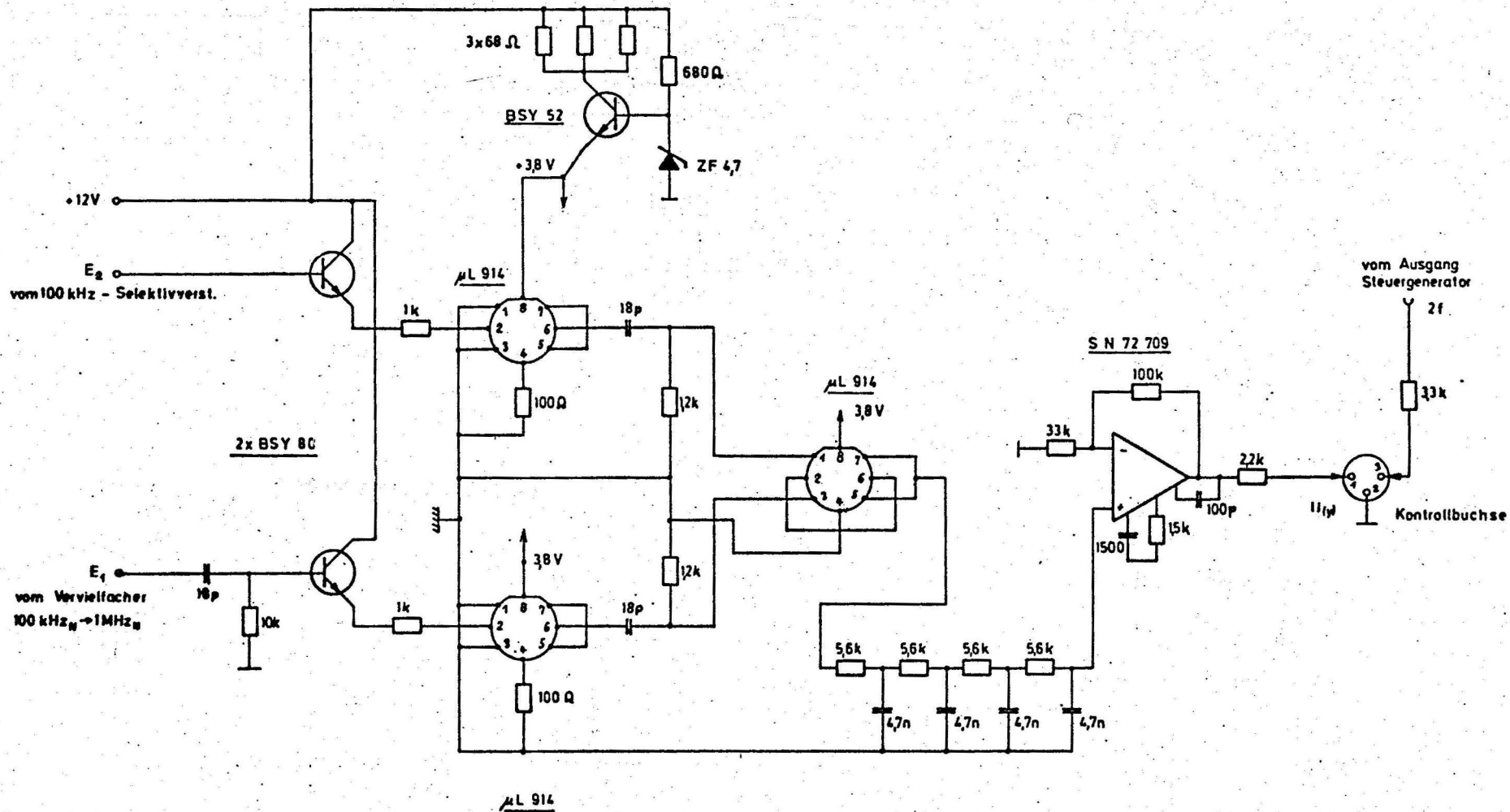
Der Kompensator wird nun in die 100 kHz-Normalfrequenzleitung geschaltet. Der
errechnete Wert von $2,88 \cdot 10^{-8}$ wird am Gerät wie folgt eingestellt: Der Teilerfaktor 1



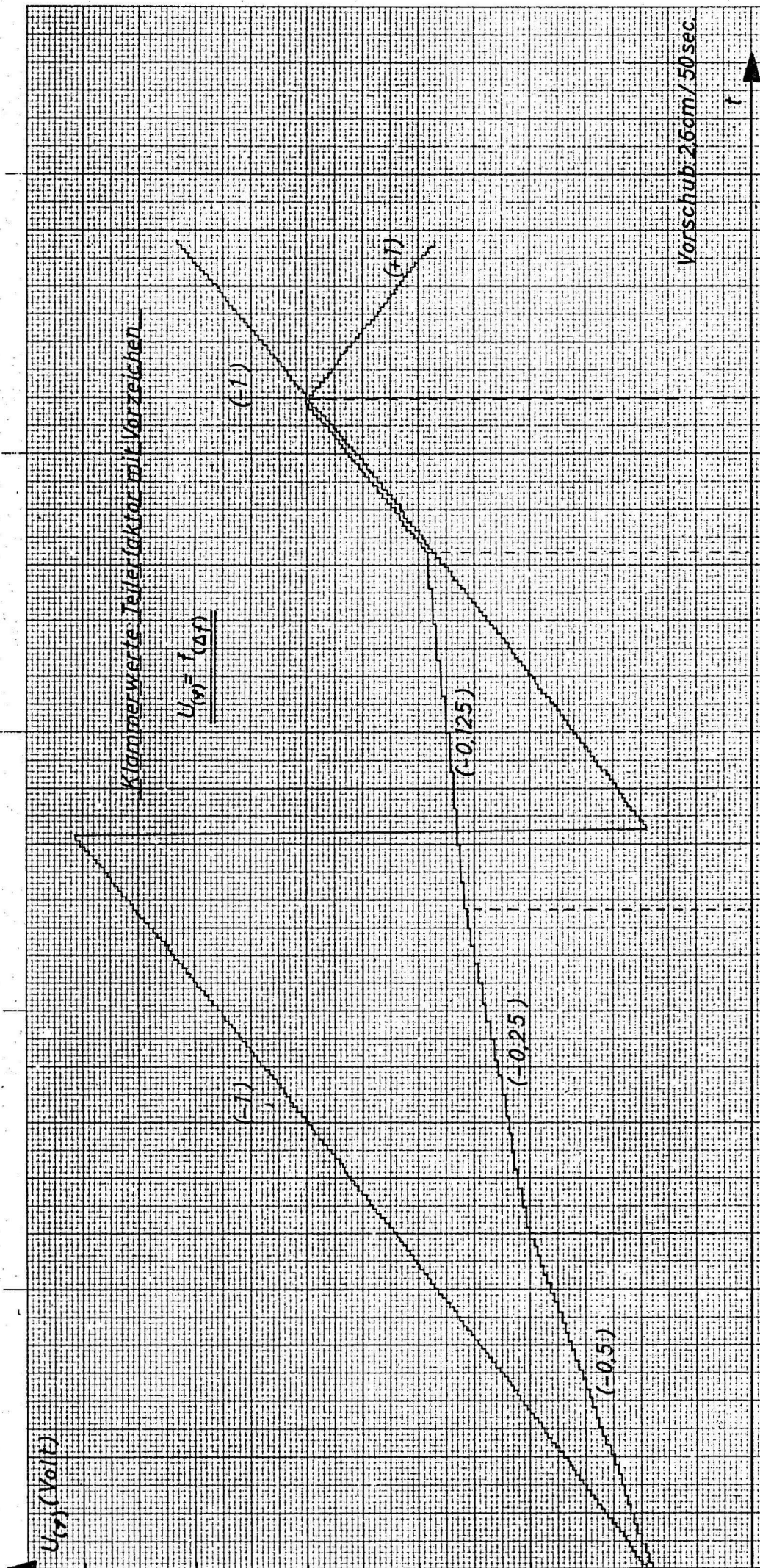
	Tag	Name	Schaltg. 4	Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
Gez.	5.6.71	W		
Gepr.				
Norm.				
Modifiz.	1 MHz-Selektivverstärker			
Maße ohne Toleranzang. nach:				



Gez.	Tsg	Name	Schaltg. 12	Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik
	9. 6. 74	Mz		
Gepr.				
Norm.				
Maßstab	100 kHz - Selektiv - Verst. mit Ausgangsstufen			
Maße ohne Toleranz- ang. nach:				



	Tag	Name	Schaltg. 14
Gez.	3.6.74	K.	
Gepr.			
Nprm.			
Maßstab			Phasemesser
Maße ohne Toleranzang. ausd.			
			Heinrich-Hertz-Institut Berlin-Charlottenburg Abteilung Hochfrequenztechnik



Dieser Graph zeigt die Ausgangsspannung des Phasenmessers in Abhängigkeit von der eingestellten Frequenzdifferenz $\pm \Delta f$ bei 100 KHz

ist durch Drücken der zugeordneten Taste zu wählen. Das Gerät wird nun eingeschaltet und mit Hilfe des Digitalpotis die Konstante K_1 in der Funktionsgleichung so gewählt, daß das Anzeigeinstrument auf 2,88 Skt rechts oder links von Null steht. Will man der Frage nach dem Vorzeichen der Ablage ausweichen, sieht man sich auf der Registrierung das Kompensationsergebnis an. Wenn die Ablage größer wird, ist das Vorzeichen der Festspannung U_k umzuschalten.

Der Einstellkontrolle kann ein Zähler dienen, der, an die Kontrollbuchse angeschlossen, bei einer Abweichung von $2,88 \cdot 10^{-8}$ eine Frequenz von

$$4 \cdot 10^{-8} \hat{=} 1310 \text{ Hz}$$

$$\frac{2,88 \cdot 10^{-8}}{4 \cdot 10^{-8}} 1310 = 944 \text{ Hz}$$

zeigen muß. Es sei für spätere Zwecke gesagt, daß das Digitalpoti bei dieser Einstellung auf 658 Digits steht

$$2,88 \cdot 10^{-8} \hat{=} 944 \text{ Hz} \hat{=} 658 \text{ Digits}$$

Daraus ergibt sich normiert (gilt für Teilerfaktor 1)

$$1 \hat{=} \frac{658}{2,88 \cdot 10^{-8}} = 232 \cdot 10^8 \text{ Digits}$$

oder

$$1 \cdot 10^{-10} = 2,32 \text{ Digits}$$

Mit diesem Ergebnis lassen sich spätere Ablagekorrekturen sehr einfach durchführen. Zum Starten des Treppenstufengenerators zur Kompensation der Quarzalterung ist, wie bereits beschrieben, die Löschtaste zu drücken. Ist der Alterungsbeiwert nicht bekannt, wird die Löschtaste (start)taste zunächst nicht betätigt, d. h. ohne Alterungskompensation registriert. Alle 24 Stunden wird die Abweichung der beiden Frequenzen voneinander abgelesen und in ein Diagramm (siehe nächste Seite) eingetragen.

Die Abweichungen sollen, abgesehen von natürlichen Schwankungen, nahe Null und parallel zur Zeitachse liegen. Ergibt sich nach einigen Tagen ein im Mittel kontinuierliches Ansteigen oder Abfallen der gefundenen Punkte, so ist der Grund dafür in einer Änderung der Frequenzdifferenz zu sehen. Die Ursache liegt in der Quarzalte- rung der Normalfrequenz sender- oder empfängerseitig. Bei Frequenznormalen vergleichbarer Güte ist die registrierte Änderung der Ablage als Summe beider Al- terungsbeiwerte zu sehen. Anhand eines, wie beschrieben, hergestellten Diagramms (Registrierung vom 1. 8. - 6. 12. 68) sei gezeigt, wie der zu wählende Alterungsbei- wert gefunden wird und die eventuellen Ablage- und Beiwertkorrekturen anzubringen sind.

Grundsätzlich sei darauf hingewiesen, daß in der Gleichung

$$| U_{\Sigma} | (t) = K_1 | U_k | + K_2 | U_0 | \cdot t$$

die konstante K_1 jederzeit, die konstante K_2 jedoch nur nach Löschung des Treppen- stufengenerators verändert werden darf. Ist in dem Summanden $K_2 | U_0 | t$ der Fak- tor $| U_0 | \neq 0$ und K_2 wird geändert, so ergibt sich ein Korrekturfehler $| \Delta f |$, der dem Ausdruck

$$| K_{2 \text{ alt}} - K_{2 \text{ neu}} | \cdot | U_0 | \cdot t$$

proportional ist.

Das gezeigte Beispiel zeigt verhältnismäßig große Unregelmäßigkeiten und einen großen Alterungsbeiwert. Wie sich später herausstellte, hatte der verwendete Quarz- Oszillator HEWLETT PACKARD, Typ 103 A einen Fehler im Quarz-Thermostaten. Dies war die Ursache für die schlechten Kompensationsergebnisse; dadurch ist das Beispiel jedoch für eine Erläuterung besonders gut geeignet.

Am 1. 8. 68 waren bei einem Teilerfaktor von 0,5 am Festspannungspoti 263 Digits eingestellt.

Für den Teilerfaktor 0,5 gilt:

$$4 \cdot 10^{-8} \hat{=} 1320 \cdot 2 = 2620 \text{ Hz}$$

(Die Converterfrequenz muß für das gleiche Kompensationsergebnis doppelt

so groß wie bei Teilerfaktor 1 sein)

$$1 \hat{=} (232 \cdot 2) \cdot 10^{+8} = 4,64 \cdot 10^{10} \text{ Digits}$$

oder

$$1 \cdot 10^{-10} \hat{=} 4,64 \text{ Digits}$$

Die Ablage errechnet sich also für den 1. 8. (Alterungsgenerator am gleichen Tag gelöscht !) zu :

$$\frac{263}{4,64} = 56,7 \cdot 10^{-10} = 0,567 \cdot 10^{-8}$$

Der Anfangswert der Ablage von $2,88 \cdot 10^{-8}$ (24. 4. 68) hatte sich also durch einen großen Alterungsbeiwert bereits auf $0,567 \cdot 10^{-8}$ verkleinert. Am 1. 8. 68 waren 292 Digits am Poti 2 (K 2) eingestellt, was bei dem eingestellten Faktor 0,5 dem Beiwert

$$292 \cdot 10^{-12} / 2d = 146 \cdot 10^{-12} / d$$

entspricht.

Im Diagramm ist an den folgenden Tagen ein Schwanken des Alterungsbeiwertes zu erkennen. Am 15. 8. wurde eine Korrektur der Ablage wie folgt durchgeführt:

Das Diagramm zeigt eine Ablage von 1,25 Sgz/d

$$1 \text{ Sgz/d} \hat{=} 3,62 \cdot 10^{-10}$$

d.h.

$$1,25 \text{ Sgz/d} \hat{=} 4,55 \cdot 10^{-10}$$

Umgerechnet ergibt das eine Korrektur von

$$1 \cdot 10^{-10} \hat{=} 4,64 \text{ Digits}$$

$$4,55 \cdot 10^{-10} \hat{=} 21,14 \approx 21 \text{ Digits}$$

Es bleibt die Vorzeichenfrage zu klären. Dazu wird der Einfachheit halber auf der nächsten Seite eine Einstellhilfe gezeigt, mit der das richtige Vorzeichen leicht feststellbar ist.

Im vorliegenden Fall ist R 1 zutreffend. Demzufolge muß die Kompensationsfrequenz verkleinert werden, d. h. die errechneten 21 Digits sind von der vorhandenen Einstellung abzuziehen. Das Digitalpoti ist also auf $263 - 21 = 241$ Digits einzustellen. Das Ergebnis ist bis zum 24. 8. zufriedenstellend.

Durch den bereits erwähnten Fehler im Thermostaten bedingt, ergab sich eine plötzliche Änderung des Alterungsbeiwertes. Zwischen dem 27. 8. und dem 4. 9. entsteht erneut eine Ablage von 2 Sgz/d ; das entspricht einer Alterung von

$$\frac{2 \text{ Sgz}}{8 \text{ d}} = 0,25 \text{ Sgz/d}$$

$$1 \text{ Sgz/d} \hat{=} 0,905 \cdot 10^{-10} = 90,5 \cdot 10^{-12}$$

Der Faktor 0,5 bedingt eine Korrektur um

$$90,5 \cdot 2 = 181 \cdot 10^{12}$$

Gemäß Einstellhilfe ist für die Korrektur des Alterungsbeiwertes (K_2) das positive Vorzeichen zu wählen, d. h. das Alterungspoti ist nach vorschriftsmäßiger Löschung des Alterungsgenerators auf $292 + 181 = 473$ Digits einzustellen. Das entspricht einer Alterung von

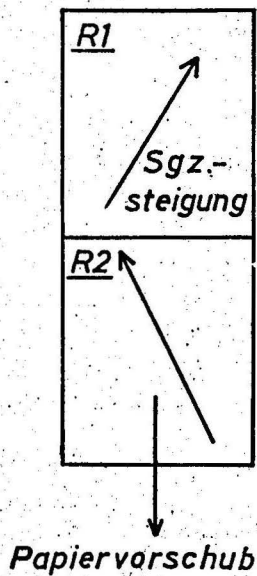
$$473/2 \cdot 10^{12} \approx 237 \cdot 10^{12}/\text{d}$$

Wie bereits bekannt, ist bei der Löschung des Alterungsgenerators die Konstante K_1 zu verändern. Seit der letzten Löschung am 1. 8. sind bis zum 4. 9. 34 Tage vergangen, die Alterungsspannung also auf $34 \cdot 146 \cdot 10^{-12} = 49,6 \cdot 10^{-10}$ angewachsen.

K_1 ist daher um $1 \cdot 10^{-10} \hat{=} 4,64$ Digits

$$49,6 \cdot 10^{-10} \hat{=} 229 \text{ Digits}$$

Einstellhilfe



R 1, R 2 gültig für Korrekturfaktoranzeige rechts von Null

R 1: (überkompensiert)

K_1 zu groß → Digitalpoti 1 zu kleineren Werten verstellen

oder

K_2 zu klein → Digitalpoti 2 zu größeren Werten verstellen

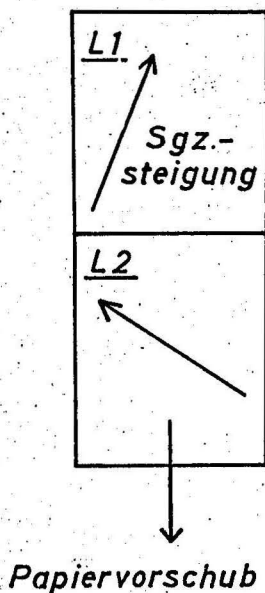
R 2: (unterkompensiert)

K_1 zu klein → Digitalpoti 1 zu größeren Werten verstellen

oder

K_2 zu groß → Digitalpoti 2 zu kleineren Werten verstellen

$$IU_{\Sigma}(t) = K_1 \cdot IU_k + K_2 \cdot IU_0 \cdot t$$



L 1, L 2 gültig für Korrekturfaktoranzeige rechts von Null

L 1: (überkompensiert)

K_1 zu klein → Digitalpoti 1 zu größeren Werten verstellen

oder

K_2 zu groß → Digitalpoti 2 zu kleineren Werten verstellen

L 2: (unterkompensiert)

K_1 zu groß → Digitalpoti 1 zu kleineren Werten verstellen

oder

K_2 zu klein → Digitalpoti 2 zu größeren Werten verstellen

gemäß dem negativen Vorzeichen der Alterung auf $241 - 229 = 12$ Digits einzustellen. Schließlich war am 4. 9. eine Ablage von $2 \text{ Sgz}/d \hat{=} 7,24 \cdot 10^{-10}$ zu korrigieren, was nach bekannter Umrechnung 34 Digits entspricht. Das Digitalpoti stand auf 12 Digits. Die Einstellung ist um 34 Digits zu verkleinern, d. h. auf $12 - 34 = -26$ Digits zu bringen. Das negative Vorzeichen bedeutet, daß sich die Frequenzablage in ihrem Vorzeichen geändert hat. Demzufolge ist am Gerät das Vorzeichen der Ablage u n d des Alterungsbeiwertes umzuschalten.

Somit sind alle vorkommenden Möglichkeiten eines Eingriffes in den Korrekturablauf gezeigt. Auf der nächsten Seite sind die beschriebenen Einstellungen noch einmal zusammengefaßt.

Es sei zum Schluß darauf hingewiesen, daß die Schwankungen im Ablagediagramm nicht etwa auf Fehler in der Kompensation zurückzuführen sind, sondern zum Teil durch Schwankungen im Normalfrequenz-Generator, zum anderen durch Wellenausbreitungsphänomene zu erklären sind. Nach dem Übergang auf einen anderen Generator, dessen Alterungsbeiwert gegenüber dem vorher benutzten weit besser lag ($6 \cdot 10^{-12}/d$) scheint den Schwankungen der Ablage ein bestimmtes System zugrunde zu liegen. Dies muß jedoch erst noch näher untersucht werden.

Abschließend sei dem Kollegen Herrn Ing. G. H e y d t gedankt für die Diskussionen und Anregungen, die zum Bau des Kompensators beigetragen haben.

Zusammenfassung der Einstellvorgänge vom 1.8. - 6.12.68

$$|U_{\Sigma}|(t) = K_1 \cdot |U_K| + K_2 \cdot |U_o| \cdot t$$

Tag		Ablagefaktor K_1 (Digits)	Alterungsbeiwert K_2		Teilerfaktor	Bemerkungen
			(Digits)	(Beiwert $10^{-12}/d$)		
24.4.68	$2,88 \cdot 10^{-8} \hat{=}$	658	- 240	- 240	1	Ersteinstellung
1.8.68	$56,7 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	263	- 292	- 146	1/2	vorläufiger Alterungsbeiw.
15.8.68	$4,55 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	- 21	"	"	"	Ablagekorrektur
	$52,15 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	241				Differenz
4.9.68	$49,60 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	- 229	"	"	"	Alterung v. 1.8.-4.9.68
	$2,55 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	12				Differenz
4.9.68	$7,24 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	- 34	"	"	"	Ablagekorrektur
	$- 4,79 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	- 26				Differenz
4.9.68	$+ 4,79 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	+ 26	+ 292	+ 146	1/2	Vorzeichenwechsel
4.9.68	$+ 4,79 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	+ 26	+ 473	+ 237	1/2	Beiwertkorrektur
23.9.68	$0,96 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	+ 5	"	"	"	Ablagekorrektur
	$5,75 \cdot 10^{-10} \hat{=}$	31	"	"	"	Summe

