

Interner Bericht
DESY H6-72/1
Oktober 1972

DESY-Bibliothek
8. MRZ. 1973

Strahlungsmessung im Speicherring

- Zf-Elektronik und Auswertung -

von

D. Heins und S. Pätzold

I n h a l t s v e r z e i c h n i s

	Seite
1. Zusammenfassung	3
2. Positionsmonitore im Speicherring	3
2.1 Messbereich, Signaldynamik und Linearität	4
2.2 Referenzsignal	5
2.3 Die Acht-Kanal-Mischerelektronik	7
3. Übersicht über das ZF-System und die Steuerung	8
3.1 Pegeldiagramm der HF- und ZF-Signale	10
3.2 Ausgleich der Kabeldämpfungen	13
4. Das Multiplexsystem	13
4.1 ZF-Multiplex	13
4.11 Schaltströme der Pegelautomatik	13
4.12 Ströme des Referenz-Signalabschwächers	16
4.2 Verteilung der Mischersignale	
5. Zeitdiagramme zur Auswertung	16
6. Auswertung der Meßsignale	18
6.1 bei Injektion	18
6.2 bei gespeichertem Strahl	21
7. Kurzbeschreibung der ZF-Elektronik	22
7.1 Steuergeräte	22
7.11 Monitoranwahl	22
7.12 Pegelautomatik	23
7.13 Pegelautomatik Referenzsignal	25
7.2 Taktgeber für die Steuergeräte	27
7.21 Triggerdelay für schnellen ADC	28
7.3 Auswerteelektronik	29
7.31 Gleichrichterkassetten	29
7.32 Schnelles analoges Rechenwerk	31
7.33 ADC	31

	Seite	
7.34	Spannungs / Frequenzwandler	33
7.35	Oszilloskop	33
7.4	Hilfsgeräte	33
7.41	Aufbereitung der HF-Mischerfrequenzen	33
7.42	Frontmultiplexer	36
7.43	Hauptmultiplexer	36
7.44	Lagekoppler	37
8.	Funktionstestmöglichkeiten	37
8.1	Eichung der acht Kanäle	37
8.2	30 MHz - Achtkanal - Eichquelle	40
8.3	Sweepgenerator	41
8.4	HF-Test mit Referenzsignal	41
8.5	Meßstellenauswahlmöglichkeiten	41
9.	Gesamtanordnung der ZF-Elektronikgeräte	43

1. Zusammenfassung

Im neuen DESY-Doppelspeicherring werden die Strahllagen mit Loopmonitoren gemessen.

Die an die Mischerelektronik der 8-Loopmonitore anschließende ZF-Elektronik, das Multiplex- und Mischerversorgungssystem sowie die notwendigen Übertragungseigenschaften der Zf-Kanäle werden beschrieben.

Der zeitliche Ablauf der Messungen und Steuerungen bei den vorkommenden Betriebsarten des Ringes werden erläutert und die zugehörigen Auswertungsmöglichkeiten besprochen.

Anschließend werden die einzelnen Gerätekomponenten in Kurzform und ihre spätere Gesamtanordnung vorgestellt.

2. Positionsmonitore im Speicherring

Im DESY-Doppelspeicherring DORIS sollen horizontale und vertikale Lage des Elektronen- sowie des Positronenstrahls innerhalb der Vakuumkammern der Ringe mit Positionsmonitoren bestimmt und in geeigneter Form dem Operateur angezeigt werden. Die genaue Kenntnis der Strahllage in Bezug auf die Sollbahn ist wichtig im Hinblick auf die Einfädung des Strahles bei Injektion in den Ring. Ebenso sollen die festgestellten Strahlablagen zur Berechnung der Ströme in den Korrekturmagneten herangezogen werden, damit stabile Teilchenströme mit hoher Lebensdauer gewährleistet werden können.

Die beiden Betriebsarten der Ringe, nämlich Injektion und Speicherung, erfordern unterschiedliche Auswertungsmethoden der von den Schleifen (Loops) der Positionsmonitore aufgenommenen Strahlensignale, die im folgenden mit Loopsignalen bezeichnet werden.

In beiden Ringen werden jeweils 21 Stück 8-Loopmonitore und 12 Stück 4-Loopmonitore installiert sowie je ein 8-Loop-Monitor in den beiden Einschubwegen vor den Injektionsstellen in den Roten und Grünen Ring.

Die 8-Loop-Positionsmonitore (PM) werden zur Bestimmung der horizontalen und vertikalen Strahllage dienen, während mit den 4-Loop-Monitoren nur

die vertikale Strahlablenkung vor und hinter den beiden Wechselwirkungszonen der Ringe gemessen werden soll.

Die von den Bunchen des Teilchenstrahles in den Schleifen induzierten Loopsignale (500 MHz mit starkem Oberwellengehalt) werden von einer unmittelbar an die PM's angeschlossenen 8-kanaligen Mischerelektronik selektiv (1 GHz) aufgenommen, auf eine niedrige Zwischenfrequenz (30 MHz) heruntergemischt und über ein Multiplexsystem zur Auswertungselektronik im Speicherringkontrollraum (SKR) geführt, wo alle 8 Loopsignale nach bestimmten Rechenoperationen (s. Abschnitt 6) zur direkten Lageanzeige oder zu Korrekturzwecken verwendet werden.

2.1 Messbereich, Signaldynamik und Linearität

Bezüglich der Theorie der Strahlagemessung mit 8- und 4-Loopmonitoren sei auf zwei andere Berichte^{1),2)} verwiesen.

Die induzierten Loopsignale sind sowohl von der Entfernung des Strahls von den Loops als auch proportional von der Intensität des Strahls abhängig. Bei Strahlstromstärken zwischen 1 mA und 10 A beträgt die Stromdynamik der Loopsignale also 80 dB. Die Lagedynamik, d.h. das Verhältnis zwischen einem Loopsignal bei loopnahe (loopfern) Strahl und einem Signal bei Mittellage des Strahls beträgt + 14 (- 10) dB, also 24 dB.

Um Fehler bei der Ablageberechnung zu vermeiden, müssen die Zf- und die Auswerteelektronik lineare Übertragungs- und Verstärkungseigenschaften im ganzen Dynamikbereich haben. Da derartig lineare Mischer und Zf-Verstärker mit einer so hohen Leistungsdynamik technisch kaum zu realisieren sind, wird der ca. 100 dB weite Bereich durch eine von der Strahlintensität gesteuerte "Pegelautomatik" in 10 dB-Stufen soweit reduziert, daß eine Gesamtdynamik von $10 + 24 = 34$ dB übrig bleibt, auf die alle Zf-Verstärker und die Auswertungselektronik ausgerichtet sein müssen. (Dazu siehe auch Pegeldiagramm 3.1).

1)

R. Rossmanith : "Aberration on 4- and 8-Loopmonitors"
DESY Int. Report H5/2 June 1969

2)

R. Rossmanith : neuer Bericht in Vorbereitung

2.2 Referenzsignal

Der Fehler der Ablageberechnung aus den acht Loopsignalen hängt ab von der Gleichheit der Verstärkungsfaktoren der acht Kanäle (bestehend aus HF-Kabel, Dämpfer, Filter, Koppler, Mischer, 1. Zf-Kabel, Zf-Multiplexer, Vorverstärker, 2. Kabel, Zf-Hauptmultiplexer, Hauptverstärker, Gleichrichter und A/D-Wandler), wobei unkorrelierte Kanalfehler von 1% einen Ablagefehler von 0,2 mm ergeben.¹⁾

Wegen der Vielzahl der beteiligten Elemente pro Kanal muß in der Praxis mit einem wesentlich höheren Kanalfehler als 1% gerechnet werden, so daß die Ablagemeßgenauigkeit - vor allem im Hinblick auf eine automatische Lagekorrektur - völlig unzureichend wäre. Aus diesen Gründen wird im ständigen Wechsel mit der eigentlichen Messung eine Kanaleichung mit Hilfe eines "Referenzsignals" durchgeführt. Dieses Signal wird vor dem Mischer eingekoppelt und durchläuft bis zur Auswertung die gleichen Kanalelemente wie das Meßsignal.

Bei der rechnerischen Auswertung wird in jedem Kanal der Quotient von Meßsignal zu Referenzsignal verwendet, der von den Kanalverstärkungsfaktoren unabhängig ist, solange alle Meß- und Referenzsignale im linearen Teil der Verstärkungskennlinien der Kanäle liegen. Daher werden die Amplituden der Referenzsignale denen der Meßsignale automatisch nachgeregelt.

Damit das Referenzsignal vom Meßsignal zu unterscheiden ist, wird es während des Eichvorganges mit einer Frequenz von 990 MHz (Meßsignal 1000 MHz) eingespeist, und gleichzeitig wird die Hilfsoszillatorfrequenz von 970 auf 960 MHz umgeschaltet. Hierbei entsteht aus dem Referenzsignal eine Zwischenfrequenz von 30 MHz, die normal verarbeitet wird, während das Loopsignal eine Zwischenfrequenz von 40 MHz erzeugt, die durch die Selektivität des Zf-Kanals unterdrückt wird.

¹⁾ Techn.Notiz H6-2
F.Krafft: " Auswirkung von Übertragungsfehlern auf die Strahl-
lage-Meßgenauigkeit des 8-Schleifen-Monitors für den Speicher-
ring."

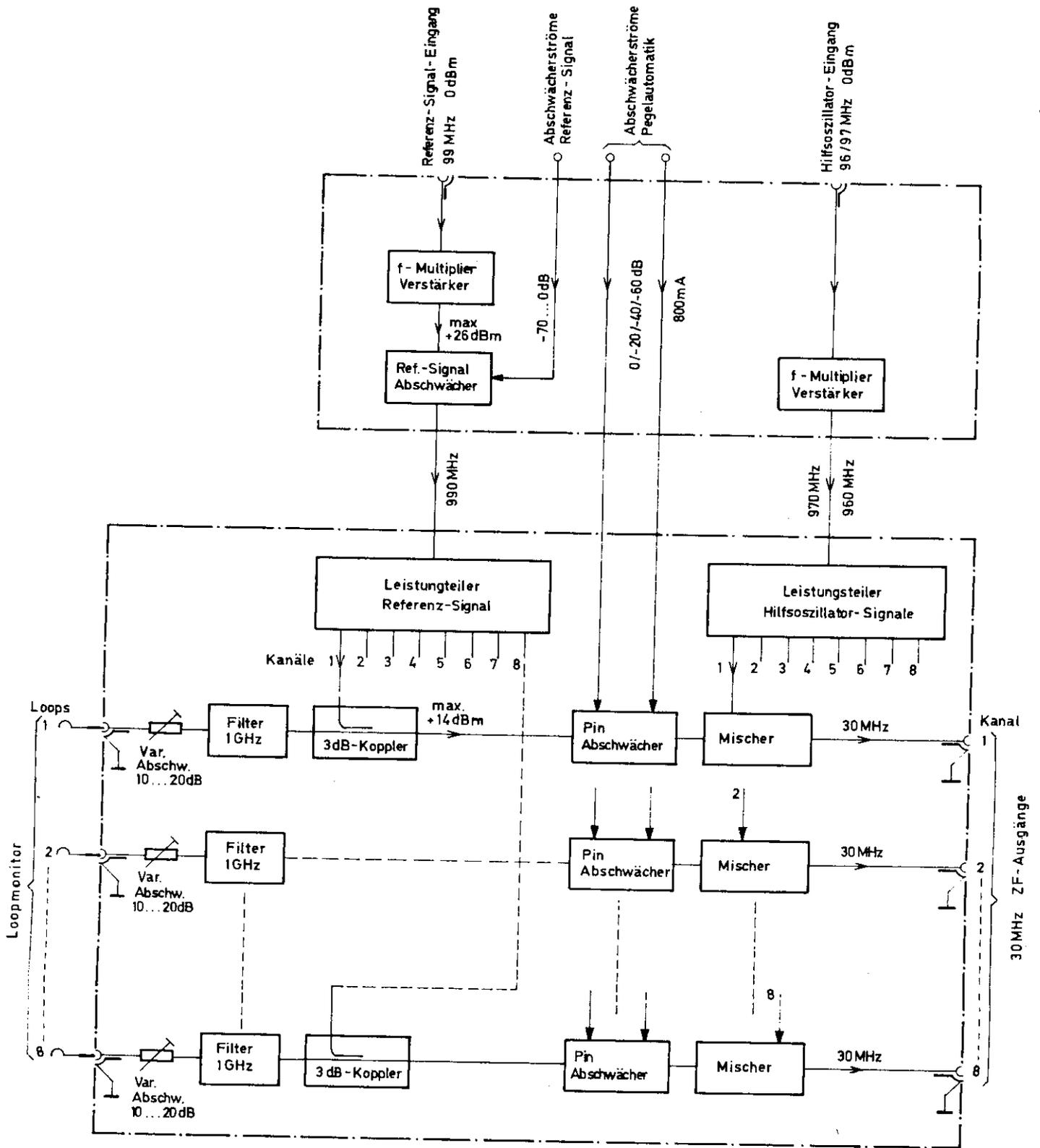


Abb. 2.3

Blockschaltbild der 8-Kanal-Mischerelektronik

2.3. Die 8-Kanal-Mischerelektronik

Die Mischerelektronik hat die Aufgabe, die vom Strahl in die 8 Loops der Positionsmonitore induzierten hochfrequenten Spannungen in 8 parallelen Kanälen auf eine Zwischenfrequenz herunterzumischen, die in der nachfolgenden Elektronik zur Lageberechnung weiterverarbeitet wird (siehe dazu Abb. 2.3.1). Aus dem breiten Frequenzspektrum der von den Bunchen des Strahls induzierten Signale wird die 1. Oberwelle der Senderfrequenz mit einem auf 1000 MHz abgestimmten Bandpaßfilter selektiert und einem Balancemischer zugeführt. Die Hilfsoszillatorfrequenz beträgt 970 MHz, um eine Zf von 30 MHz zu erzielen und wird als Unterfrequenz von 97 MHz über einen Frequenzverzehnfacher, einen 970 MHz-Verstärker und einen Leistungsteiler den 8 Mixern zugeführt.

Die mit der Intensität des gespeicherten Strahlstromes ansteigende Loop-Signalstärke würde im erwarteten Strombereich hohe Eingangsleistungen am Mischer ergeben. Daher werden die Loopsignale durch justierbare (-10 bis -30 dB) Dämpfungsglieder, die vor dem Einbau eingestellt werden müssen, abgeschwächt. Zunächst verringern in 4 Stufen fernschaltbare PIN-Dioden -Abschwächer die Stromdynamik aller 8 Signale um 0/-20/-40/-60 dB, so daß der erforderliche lineare Arbeitsbereich der Mischer nur noch jeweils 20 dB zuzüglich 24 dB Lagedynamik beträgt.

Während der Referenzsignal-Meßzeit wird das auf der Unterfrequenz erzeugte 99 MHz-Signal in einen 990 MHz-Frequenzvervielfacher und Leistungsverstärker eingespeist; der Ref.-Signalleistungsteiler verzweigt die Signale gleichmäßig auf die 3 dB-Koppler aller Kanäle. Ein durch Ströme ferneinstellbarer Abschwächer (-70 dB bis 0 dB) kann die Ref.Signalleistung dem Mittelwert der Loopsignale (ermittelt aus ihrer Summe) kontinuierlich über einen weiten, bei ca. 3,6 A begrenzten Strahlintensitätsbereich angleichen.

Die Regelung dieses Abschwächers übernimmt die "Ref.-Signalpegelautomatik", die später beschrieben wird.

3. Übersicht über das ZF-System und die Steuerung

Mit dem in der Gesamtübersicht (s. Abb. 10) zentral gelegenen "Monitor-anwahl"-Gerät wird ein Positionsmonitor (Rot oder Grün, oder beide gleichzeitig) über Front- und Hauptmultiplexer ausgewählt und an die Auswertungselektronik angeschlossen.

Die Loopsignale eines Positionsmonitors gelangen auf 8 parallelen Leitungen auf die Mischerelektronik, werden dort von 1000 MHz mit Hilfe des Überlagerungssignals von 970 MHz auf die Zf von 30 MHz herabgesetzt. Die Überlagerungsfrequenz wird bei 97 MHz in dem Mischersignalgenerator erzeugt und aus dem SKR über ein System von Leistungsteilern (Powerdividern, PD) auf die Mischerelektroniken beider Ringe verteilt. Über ein zweites (gleiches) System von Powerdividern wird bei 99 MHz das Referenzsignal und über die erste PD-Kette das zugehörige Überlagerungssignal von 96 MHz zugeführt, verzehnfacht und verstärkt.

Die 8 Zf-Signale gelangen über Coaxkabel von den Mischerausgängen auf die Koaxschalter des Frontmultiplexers, werden danach durch die Zf-Vorverstärker verstärkt und über Triaxkabel aus dem Ringtunnel auf den Hauptmultiplexer geführt, wo sie dann in den Zf-Hauptverstärkern ein weiteres mal verstärkt werden.

Die hohe Stromdynamik wird durch eine automatisch regelnde "Pegelautomatik" herabgesetzt. Sie bedient mit zwei Konstantstromquellen (je 800 mA) die fernschaltbaren PIN-Diodenabschwächer in der Mischerelektronik (Abschwächungsstufen 0/-20/-40/-60 dB) und schaltet in den Zwischenbereichen (alle 10 dB) alle Zf-Vorverstärker in den 4 FMPX's abwechselnd zwischen +30 und +20 dB Verstärkung um. Die Information über die Stromintensität erhält die Pegelautomatik aus dem Summensignal, das nahezu lagenunabhängig ist. In Anbetracht der hohen Abschwächerströme wird nur derjenige PIN-Diodenabschwächer einer Mischerelektronik eingeschaltet, deren zugehöriger Monitor angewählt wurde. Daher laufen alle Abschwächerströme durch die Frontmultiplexer über Relaiskontakte, die gleichzeitig mit den Koaxschaltern für die Zf-Signale geschlossen werden.

Die Regelung der Referenzsignale, die bei gegebenem Strahlstrom einen Strahl in "Nullage" simulieren, erfolgt in Abhängigkeit von der Strahlintensität ebenfalls über die Summeninformation aus den gemessenen

Loopsignalen durch die "Pegelautomatik-Referenzsignal". Der über einen Bereich von 70 dB kontinuierlich einstellbare Referenzsignal-Abschwächer wird aus diesem Gerät durch Ströme im Bereich von 100 μ A bis 100 mA gesteuert, die ebenfalls über den zugehörigen Frontmultiplexer, an den der angewählte Monitor angeschlossen ist, fließen. Die Relaiskontakte werden gleichzeitig mit den Zf- und Stromrelais der Pegelautomatik geschaltet.

Am Ausgang der Zf-Hauptverstärker können die 8 Zf-Signale wahlweise über einen Umschalter auf die "schnelle" oder die "langsame" Auswertung geschaltet werden. Die "schnelle" Auswertung (bei Injektion in den Ring) besteht aus zwei Kanälen, die langsame aus einem Kanal:

1. Über die Videogleichrichter gelangen die Signale ins "Schnelle analoge Rechenwerk" und von dort über das "Signalauswahlgerät" zur Lageanzeige auf das Oszilloskop.
2. Über Sample and Hold, 8-Kanal-Multiplexer und einen schnellen A/D-Wandler werden die Signale digitalisiert, gespeichert und dem Rechner zur Strahl Lageberechnung und zur Darstellung auf dem Display weitergereicht.
3. Die "Langsame Auswertung" besteht aus 8 linearen Meßgleichrichtern, ebensovielen Spannungs/Frequenzwandlern, den Zählern und Speichern. Auch hier führt der Rechner die Berechnung und Darstellung der Strahl-lagen aus. Diese Auswertung ist genauer als die beiden erstgenannten. Ein mit dem 50 Hz-Netz synchronisierter Taktgeber zwingt alle Steuergeräte in ein der Betriebsart der Ringe angemessenes Zeitschema, das in Abschnitt 5 näher erläutert wird.

Zu Testzwecken können auf alle 8 Auswertungskanäle beider Ringe über 8-fach - Powerdivider Zf-Signale eingespeist werden und außerdem kann mit dem Referenzsignal ein Test des gesamten Signalweges von der Mischer- bis zur Auswertungs elektronik vorgenommen werden.

Die Umschaltung der Ringe auf beide Auswertungsarten nimmt der Operateur von Hand vor, ebenso beide Funktionstests; bei gespeichertem Strahl kann die Kontrolle über die Anwahl der Monitore an den Rechner übergeben werden.

Alle Steuergeräte und Zf-Multiplexer mit Ausnahme des Mischersignalgenerators sind für jeden Ring einmal vorhanden. Damit können beide Ringe unabhängig voneinander bei unterschiedlichen Stromstärken und verschiedenen Betriebsmoden der Ringe angewählt und an die gemeinsam benutzte Auswertungs-elektronik angeschlossen werden.

Die Verteilung des Referenzsignals und beider Überlagerungsfrequenzen geschieht für beide Ringe gemeinsam und gleichzeitig, um den Aufwand gering zu halten.

3.1 Pegeldiagramm der HF- und ZF-Signale

Die Stromdynamik der hochfrequenten Loopsignale (P 1 in Abb. 3.1-1 und 3.1-2) beträgt 80 dB bei einer Strahlstromstärke im Bereich zwischen 1 mA und 10 A.

Der variable Abschwächer (angenommene Einstellung 13 dB), das 1 GHz Bandpaßfilter und der Koppler für das Referenzsignal setzen den Signalpegel um -17 dB auf die Gerade P 2 herab. In Abhängigkeit von der Strahlstromstärke setzt der PIN-Diodenabschwächer den Pegel um jeweils -1, -21, -41, -61 dB herab (P 3).

Die Verluste beim Mischvorgang von 1000 MHz auf die Zf und die maximalen Kabelverluste der Verbindung Mischer-Frontmultiplexer betragen ca. -10 dB (P 4). Loopsignale dieser Größe werden von den Zf-Vorverstärkern je nach Strahlstromstärke ("Pegelautomatik") um +30 oder +20 dB verstärkt, der Ausgangspegel liegt bei P 5.

Die maximalen Verluste des Triaxkabels (max. 180 m) zwischen dem Ausgang der Zf-Vorverstärker im Frontmultiplexer und dem Hauptmultiplexer betragen -14 dB (P 6), die dort befindlichen Zf-Hauptverstärker erhöhen die Loopsignale um +50 dB, so daß die mittlere Ausgangsleistung der Zf-Endverstärker, die an die Auswerteelektronik abgegeben wird, bei P 7 liegt. Die überlagerte Lagedynamik von +13 bis -10 dB erfordert eine maximale (lineare) Ausgangsleistung von +20 dBm.

Aus diesem Diagramm ist auch die größtmögliche, mit dem Referenzsignal "nachbildbare" Stromstärke mit ca. 3,6 A abzulesen.

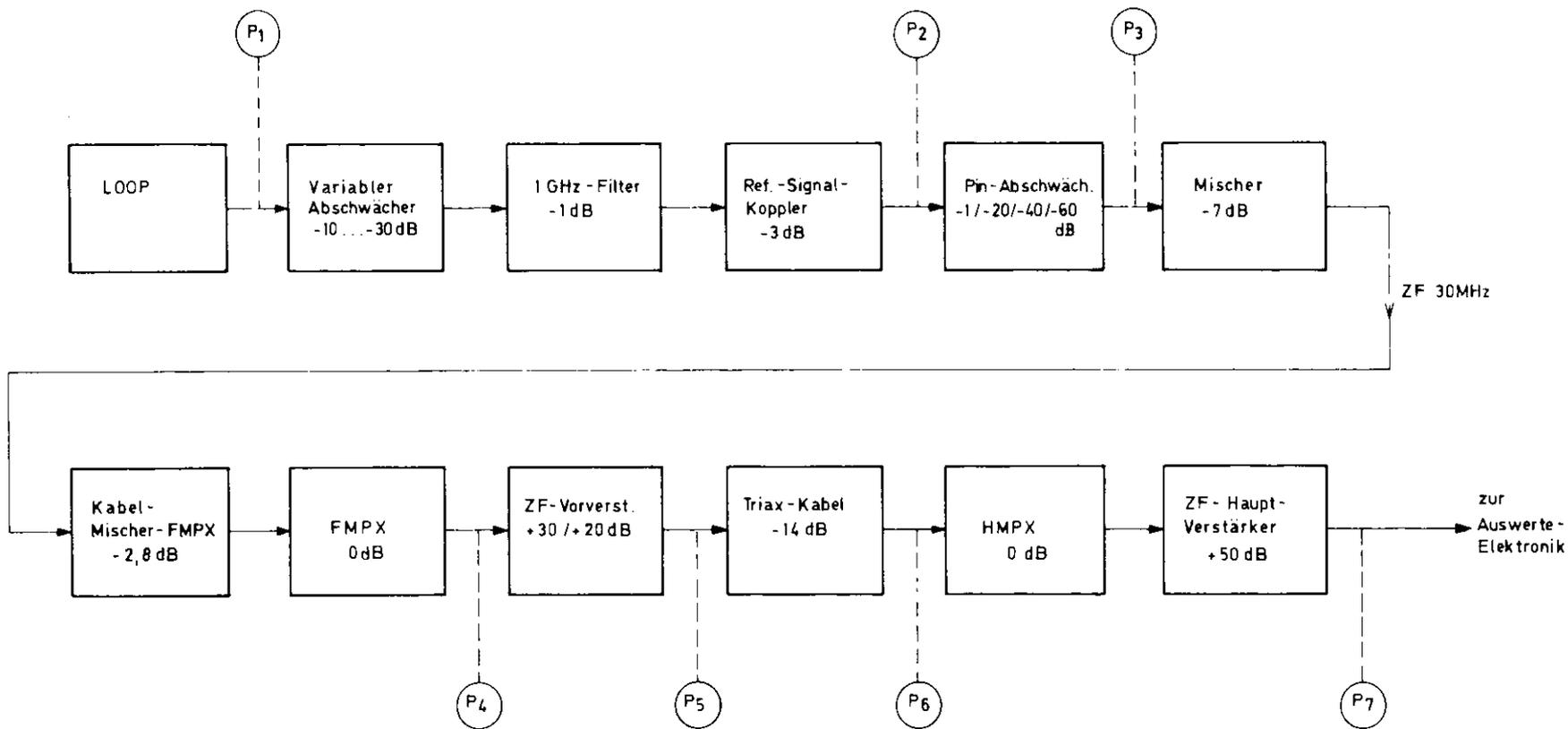


Abb. 3.1.1

HF- und ZF- Signalwege zum Pegeldiagramm

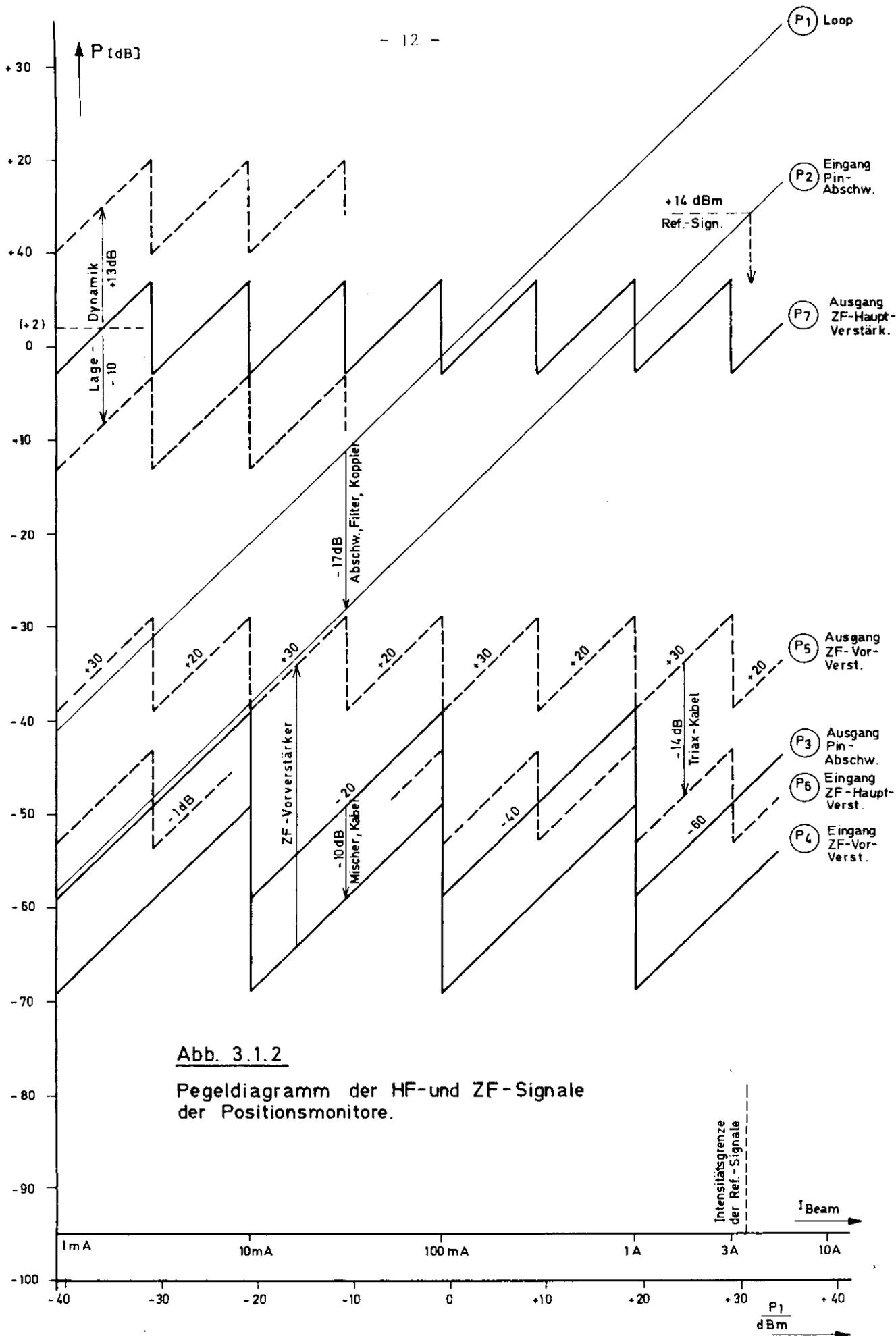


Abb. 3.1.2

Pegeldiagramm der HF- und ZF-Signale der Positionsmonitore.

3.2 Ausgleich der Kabeldämpfungen

Die unterschiedlichen Kabellängen zwischen den Mischerelektroniken und den Frontmultiplexern (die Dämpfungsdifferenzbeträge hier 2.4 dB) wie auch diejenigen zwischen Front- und Hauptmultiplexer (Dämpfungsunterschied an dieser Stelle max. 10 dB) würden ein sicheres Arbeiten der Pegelautomatik zwischen dem oberen und unteren Summsignal-Schwellwert verhindern und bei Wechsel von einem Monitor zum nächsten trotz konstanten Strahlstromes von einer zur anderen Abschwächungsstufe auf- oder abwärts schalten.

Deshalb müssen alle kürzeren Kabellängen durch zusätzliche, in die Leitung geschaltete Abschwächer an die maximale Dämpfung angeglichen werden. Dadurch wird auch der minimal erforderliche lineare Verstärkungsbereich der Zf-Vor- und Hauptverstärker kleiner.

4. Das Multiplexsystem

4.1 ZF-Multiplex

Alle Positionsmonitore eines Quadranten jedes Ringes werden an einen in mittlerer Lage (s.Abb.4) des Ringquadranten gelegenen Frontmultiplexer über 8-fach Koaxialkabel an 8 schnell schaltbare 16fach-Koaxumschalter angeschlossen. Damit können 16 Stück 8-Loopmonitore je Ring und Quadrant angeschlossen werden; es bestehen also genügend Reserveanschlußmöglichkeiten für evtl. erforderliche weitere PM's.

Die 8 Ausgänge aller 4 FMPX's eines Ringes sind über Triaxkabel mit dem im Speicherringkontrollraum SKR befindlichen zugehörigen Hauptmultiplexer HMPX verbunden, der mit 8 Stck. 8-fach - Koaxrelais ausgestattet ist und in 4 Schaltstellungen die Verbindung mit jedem FMPX und jedem ausgewählten Monitor herstellt("Monitorauswahl").

4.11 Schaltströme der Pegelautomatik

Die erforderlichen Ströme zum Umschalten der PIN-Diodenabschwächer (je 800 mA) werden von der "Pegelautomatik" ausgehend ebenfalls über den FMPX des angewählten Monitors zur Mischerelektronik geführt. Im stromlosen Zustand haben alle anderen Abschwächer ihre höchste Dämpfungsstufe von -60 dB. Die Zwischenstufen der Abschwächung werden durch Umschalten aller Zf-Vorverstärker in den FMPX-Gehäusen eines Ringes bewirkt.

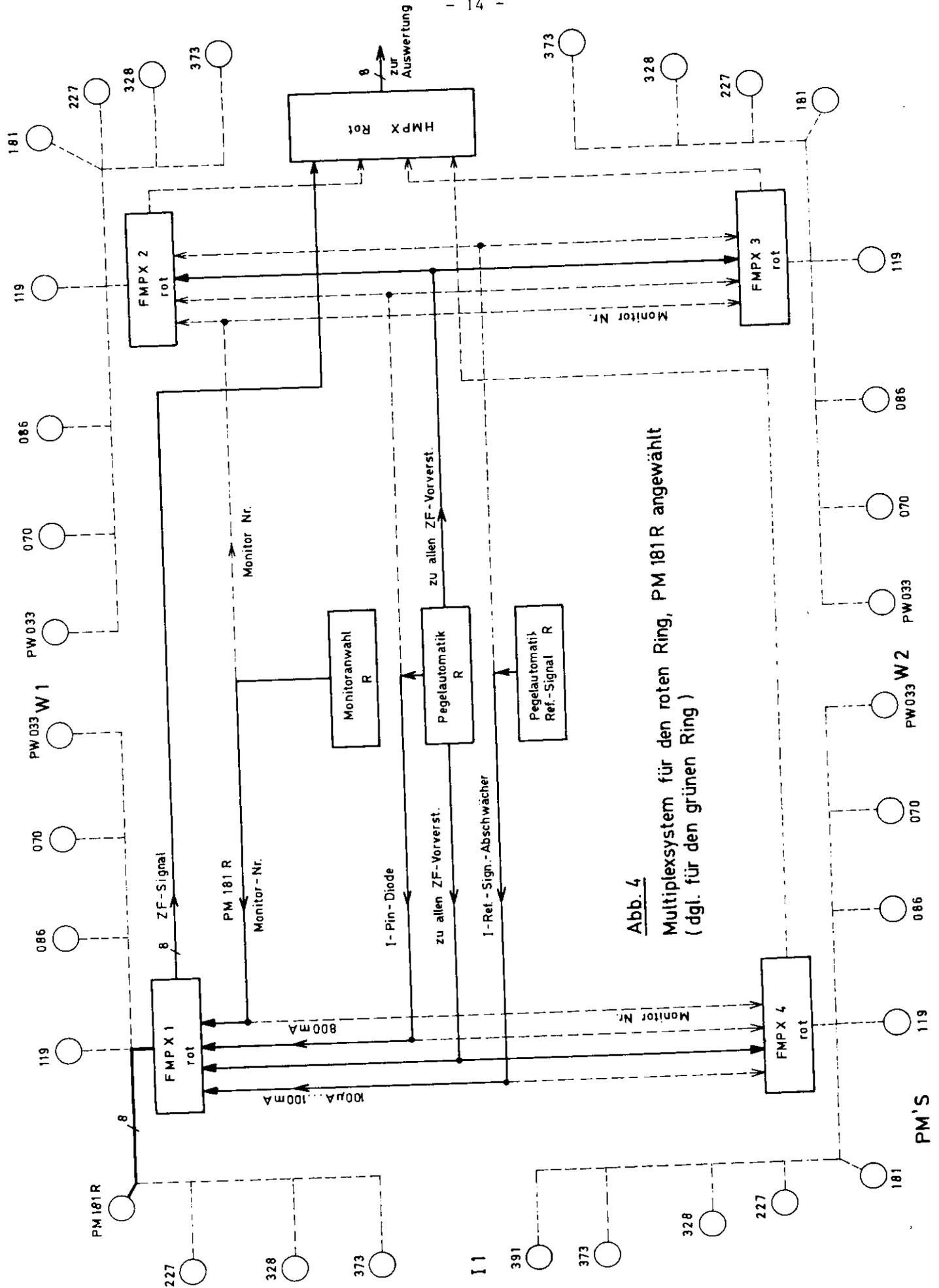


Abb. 4
Multiplexsystem für den roten Ring, PM 181 R angewählt
(dgl. für den grünen Ring)

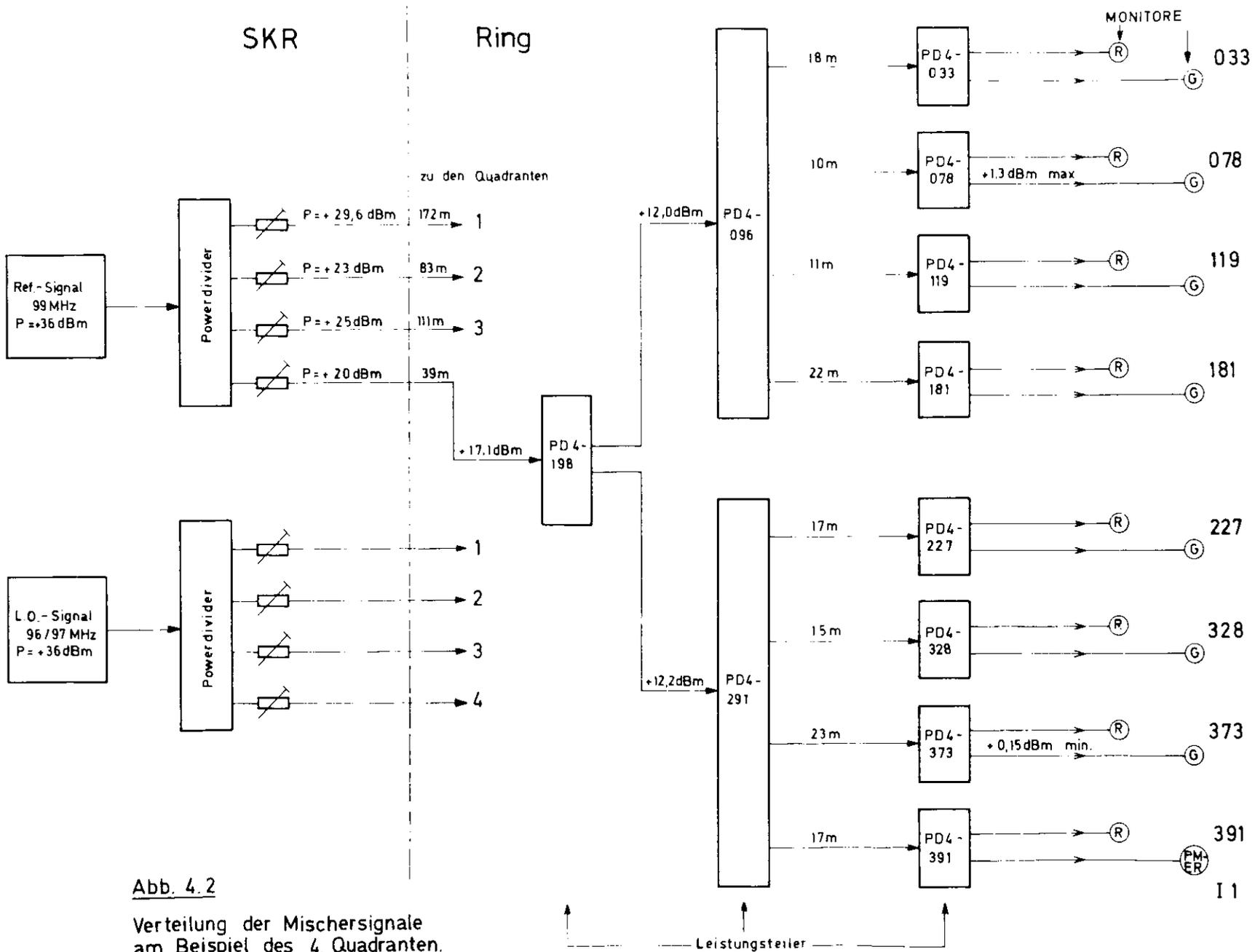


Abb. 4.2

Verteilung der Mischersignale am Beispiel des 4. Quadranten.

4.12 Ströme des Referenz-Signal-Abschwächers

Die Steuerströme für den Abschwächer des Referenzsignals werden ebenso wie der PIN-Dioden-Schaltstrom der Pegelautomatik nur derjenigen Mischerelektronik zugeführt, deren Monitor an die Auswertung angeschlossen ist. Alle anderen bleiben stromlos und verbleiben im Zustand der höchsten Abschwächung von -70 dB.

Die Zahl der Schaltkontakte für die Abschwächerströme und die der Zf-Relaisschalter ist ausgelegt für den Anschluß von 12 8-Loop-Mischerelektroniken an jeden Frontmultiplexer.

5. Zeitdiagramme

Die zeitliche Folge der Monitorabfrage richtet sich nach der Betriebsart der Speicherringe: a.) Injektion, b.) Gespeicherter Strahl und ist streng gekoppelt mit den Auswertungsmöglichkeiten der Meßwerte.

Die schnellstmögliche Folge beträgt 20 msec, so daß in 0,66 sec alle 33 Monitore eines Ringes abgefragt sein können und ein vollständiges Bild aller Strahlpositionen gewonnen werden kann. Auf die verfügbaren 20 msec sind die Meßzeiten für die Loop- und die Referenzsignale abgestimmt; beide haben eine Dauer von je 6 msec, erstere von T_0 bis T_1 , letztere von T_2 bis T_3 . Die Zeit, während der keine Messung gemacht wird, nämlich T_3 bis zum nächsten von einem externen Taktgeber synchronisierten Zeitpunkt $T_0 + 20\text{msec}$, wird für die Umschaltung der Zf-Multiplexerrelais, der Relais für die Abschwächerströme von der Pegelautomatik inclusive der Zf-Vorverstärkerrelais sowie für die Ströme der Referenzsignal-Pegelautomatik genutzt. Die Steuerung des Mischersignalgenerators ist ebenfalls fest an dieses Zeitschema gebunden und läuft unabhängig von der Ringbetriebsart durchgehend weiter von T_0 bis T_1 mit 97 MHz für die Loopsignalmessung und von T_1 bis T_3 als Referenzsignal 99 MHz mit zugehörigem Überlagerungssignal von 96 MHz. Der Zeitraum T_1 bis T_2 (2 msec) dient zur Ausgleichung des Referenzsignalpegels an den mittleren Signalpegel der Loops ("Pegelautomatik Ref.-Signal"), während T_2 bis T_3 ist die Messung der Referenzsignale bei konstanter Abschwächung möglich.

Schnelle Auswertung

Monitorauswahl

Einzelmonitor

"Langsame Auswertung"
"Alle Monitore" oder "Auswahl"

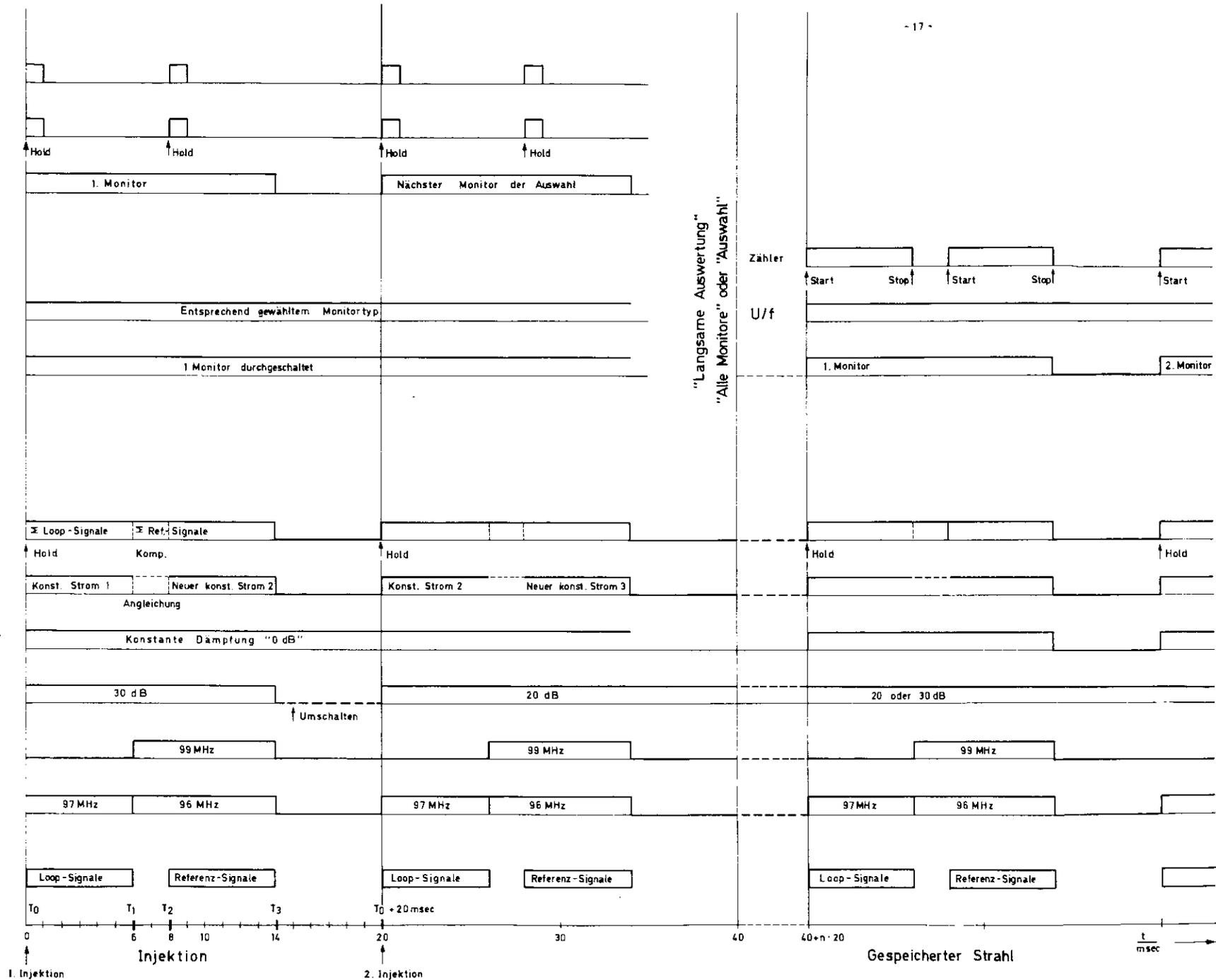


Abb. 5

Zeitdiagramm zu den Auswertungsmöglichkeiten.

Alle Relais werden ohne Last, d.h. ohne Zf-Signal bzw. ohne Abschwächerströme umgeschaltet. Letztere werden durch die Steuerung der beiden Pegelautomatiken zuvor abgeschaltet (s. Abschnitte 7.12 und 7.13).

Während der Loopsignal-Meßzeit bleibt das Referenzsignal ausgeschaltet, es würde sich sonst ein Mischsignal von $990-970 = 20$ MHz bilden; in der Meßzeit der Referenzsignale ist die Überlagerung des 960 MHz Hilfssignals mit den Loopsignalen nicht zu vermeiden, es entsteht eine Zf von 40 MHz, die durch die Selektivität der Zf-Kanäle ausreichend unterdrückt wird.

6. Auswertung der Meßsignale

6.1 Bei Injektion

Bei Injektionsbetrieb in einem Ring wird dieser an die "Schnelle Auswertung" angeschlossen. Sie bietet zwei Möglichkeiten der Auswertung:

a.) Mit dem "Schnellen Analogen Rechenwerk"

b.) Mit der "Schnellen A/D-Wandlung". (S.dazu auch Abb.5)

a.) Bei dieser Betriebsart steht die "Monitoranwahl" auf "Einzelmonitor", es ist ein Monitor für beliebig lange Zeit angeschlossen. Die Pulsstruktur der Loopsignale (steile Anstiegsflanken, 1 μ sec Impulsdauer) erfordert eine größere Bandbreite der acht Zf-Übertragungs- und der Auswertungskanäle, sie ist mit ± 5 MHz durch die Zf-Vorverstärker und die Hauptverstärker festgelegt. Ein breitbandiger Videogleichrichter in der "Schnellen" Auswertungselektronik demoduliert die Zf-Signale, die im "Schnellen Rechenwerk" SRW nach einer arithmetischen Gleichung in X- und Y-Werte der Strahlposition verarbeitet und auf dem Bildschirm eines Oszillografen als Impulse dargestellt werden. Das SRW bildet aus den 8 Loopsignalen L zunächst die noch dem Strahlstrom proportionalen Größen $X \cdot I$ und $Y \cdot I$, durch Division¹⁾ mit der Summe der Loopsignale erhält man die horizontale Lage

1) s.auch Fußnote S.4.

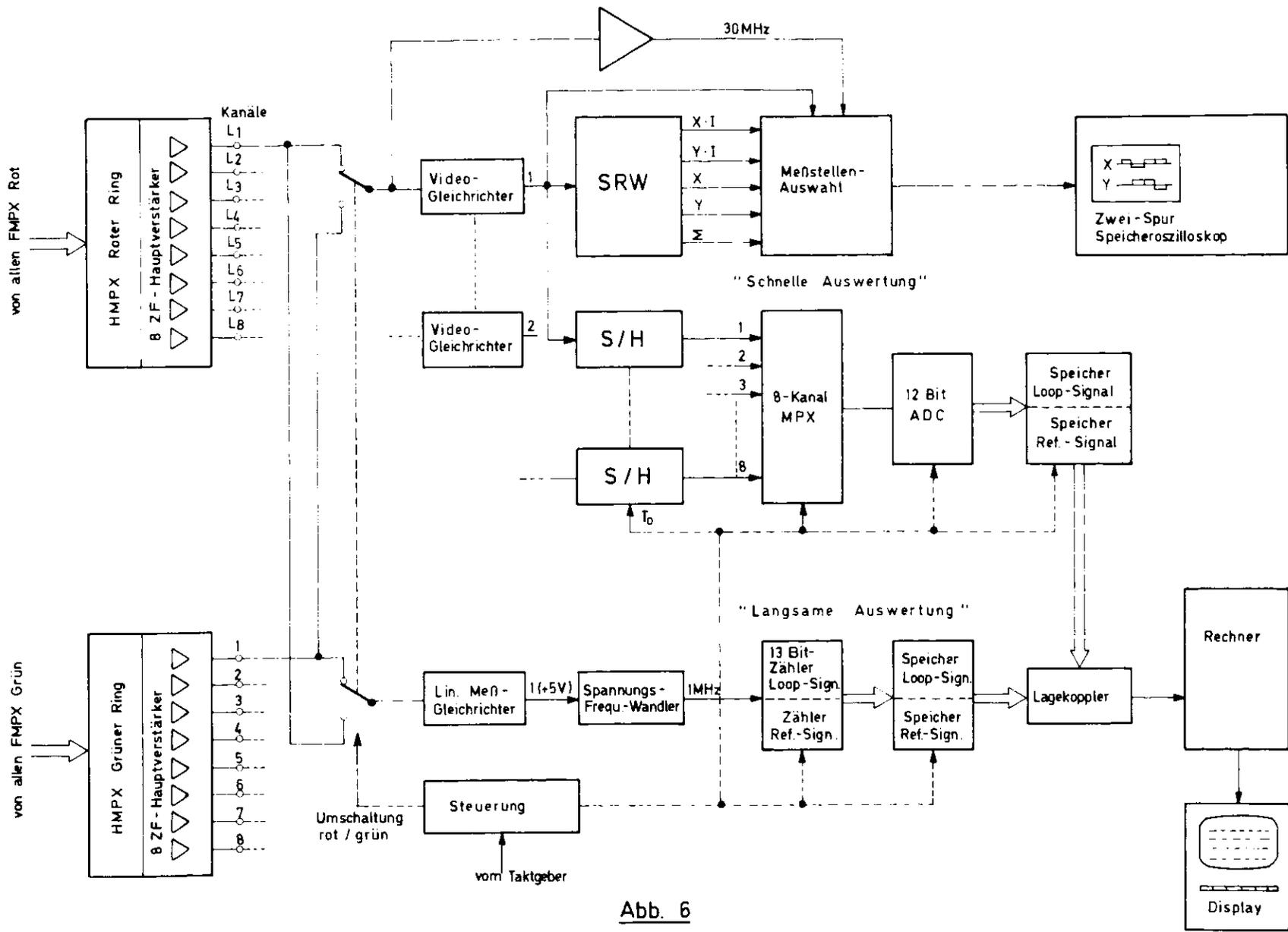


Abb. 6

Auswertungselektronik
Funktionsübersicht. "Schnelle-langsame" Auswertung

$$x = K_1 \frac{(0.406L_1 + 0.924L_2 + 0.980L_3 + 0.383L_4 - 0.406L_5 - 0.924L_6 - 0.980L_7 - 0.383L_8)}{L_2 + L_4 + L_6 + L_8 + 0,75 (L_1 + L_3 + L_5 + L_7)}$$

und die vertikale Lage zu

$$y = K_1 \frac{(0.980L_1 + 0.383L_2 - 0.406L_3 - 0.924L_4 - 0.980L_5 - 0.383L_6 + 0.406L_7 + 0.924L_8)}{L_2 + L_4 + L_6 + L_8 + 0,75 (L_1 + L_3 + L_5 + L_7)}$$

Die von den 4 Loopmonitoren kommenden Signale auf den Kanälen L_1 bis L_4 werden nur zur Berechnung der vertikalen Lage herangezogen nach der Gleichung

$$y = K_2 \cdot \frac{L_1 - L_2 + L_3 - L_4}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4}$$

K ist ein Skalierungsfaktor, um die Lage in mm zu erhalten.

Die Auswertung mit dem SRW wird bevorzugt dann angewendet werden, wenn aufgrund kurzzeitiger Strahllebensdauer ($< 1 \mu\text{sec}$) die Lage ermittelt und der Ort seines Verschwindens lokalisiert werden soll.

- b.) In dieser Betriebsart kann mit der Monitoranwahl aus einer Reihe vorgewählter PM's, angefangen bei dem Monitor, der der Injektionsstelle nächstgelegenen ist, mit der Injektionsfrequenz fortlaufend von Monitor zu Monitor weitergeschaltet werden. Acht schnelle Simultan - Sample and Holds speichern die Loopsignale zu einer bestimmten einstellbaren Zeit nach der Injektion und liefern sie über einen elektronischen Multiplexer auf einen schnellen A/D-Wandler mit 12 Bit Auflösung. Die Digitalwerte werden zwischengespeichert und für den Rechner bereitgestellt. Ebenso werden die acht Referenzsignale R erfaßt und gespeichert. Der Rechner ermittelt die Strahlagen nach folgenden Gleichungen:

$$X = K_1 \frac{\left(0.406 \frac{L_1}{R_1} + 0.924 \frac{L_2}{R_2} + 0.980 \frac{L_3}{R_3} + 0.383 \frac{L_4}{R_4} - 0.406 \frac{L_5}{R_5} - 0.924 \frac{L_6}{R_6} - 0.980 \frac{L_7}{R_7} - 0.383 \frac{L_8}{R_8} \right)}{\frac{L_2}{R_2} + \frac{L_4}{R_4} + \frac{L_6}{R_6} + \frac{L_8}{R_8} + 0,75 \left(\frac{L_1}{R_1} + \frac{L_3}{R_3} + \frac{L_5}{R_5} + \frac{L_7}{R_7} \right)}$$

$$Y=K_1 \frac{\left(0.980 \frac{L_1}{R_1} + 0.383 \frac{L_2}{R_2} - 0.406 \frac{L_3}{R_3} - 0.924 \frac{L_4}{R_4} - 0.980 \frac{L_5}{R_5} - 0.383 \frac{L_6}{R_6} + 0.406 \frac{L_7}{R_7} + 0.924 \frac{L_8}{R_8} \right)}{\frac{L_2}{R_2} + \frac{L_4}{R_4} + \frac{L_6}{R_6} + \frac{L_8}{R_8} + 0.75 \left(\frac{L_1}{R_1} + \frac{L_3}{R_3} + \frac{L_5}{R_5} + \frac{L_7}{R_7} \right)}$$

und die Signale der 4-Loopmonitore zu

$$Y = K_2 \frac{\left(\frac{L_1}{R_1} - \frac{L_2}{R_2} + \frac{L_3}{R_3} - \frac{L_4}{R_4} \right)}{\left(\frac{L_1}{R_1} + \frac{L_2}{R_2} + \frac{L_3}{R_3} + \frac{L_4}{R_4} \right)}$$

Alle Strahlagen werden in Form von Kammdarstellungen auf dem Rechner-Display dargestellt oder können ausgedruckt werden.

Diese Betriebsart und Auswertung ist dann angebracht, wenn bei Injektion ein schneller Überblick über die Strahlagen "um den Ring herum" gewonnen werden soll.

6.2 Bei gespeichertem Strahl

Bei Speicherung des Strahls kann der Operateur die "Langsame Auswertung" an den Ring anschließen. Sie besteht aus den 8 linearen Meßgleichrichtern, den Spannungs/Frequenzwandlern (maximale Ausgangsfrequenz 1 MHz), Zählern und Speichern. Hier betragen die Meßzeiten für beide Signale jeweils 6 msec von T_0 bis T_1 , integrierend über $6 \cdot 10^3$ Umläufe, bzw. von T_2 bis T_3 . Bei 1 MHz Ausgangsfrequenz ergibt sich also eine Auflösung von $6 \cdot 10^{-3} \cdot 10^6 = 6000$, entsprechend etwa 13 Bit. Alle 16 Meßwerte à 13 Bit werden in Speichern für den Rechner bereitgehalten, der sie nach denselben Gleichungen wie in 6.1b in die Strahlagen umrechnet und auf dem Rechnerdisplay darstellt.

Der Abfragemodus ist hier "Alle Monitore" oder "Monitor Auswahl", sie werden der Reihe nach im 20 msec-Takt an die Auswertung gelegt.

Da nur jeweils eine "Schnelle" und eine "Langsame" Auswertung für beide Ringe, die "Monitoranwahl" aber für jeden Ring exklusiv vorhanden ist, sieht die Umschaltung der Auswerteelektronik bei zeitlich aufeinanderfolgender Injektion in beide Ringe beispielsweise folgendermaßen aus:

Injektion	Roter Ring:	Schnelle Auswertung S.A.
	Grüner Ring:	Ohne Signal an Langsamer Auswertung L.A.
Gesp.Strahl	Roter Ring:	L.A.
	Grüner Ring:	ohne Signal an S.A.
Injektion	Grüner Ring:	S.A.
Gesp.Strahl	Roter Ring:	L.A. "Alle Monitore"
Gesp.Strahl	Grüner Ring:	{ L.A.Wechsel nach 1 Abfrageumlauf
Gesp.Strahl	Roter Ring:	

7. Kurzbeschreibung der ZF-Elektronik

7.1 Steuergeräte

7.1.1. "Monitoranwahl"

Das Steuergerät zur Anwahl jedes gewünschten Positionsmonitors im Roten und Grünen Ring erlaubt dem Operateur einen der Betriebsart des Speicherringes angemessenen Modus in der Monitorauswahl zu benutzen. Dieses Gerät, "Monitoranwahl" genannt, gestattet 6 verschiedene Bedienungsarten:

1. "Einzelmonitor"

Bei Injektionsbetrieb wird durch Tastendruck jeweils ein Monitor für beliebig lange Zeit an die Auswerteelektronik angelegt.

2. "Monitorauswahl"

Durch Tastendruck vorgewählte PM's werden im Umlaufsinn des Strahles der Reihe nach mit dem von außen vorgegebenen Takt an die Auswertung geschaltet. Nach jedem Umlauf durch die gewünschte Reihe PM's beginnt die Monitorabfrage von vorn.

3. "Alle Monitore"

Alle PM's eines Ringes werden der Reihe nach, im extern gesteuerten 20msec-Rhythmus abgefragt und an die Auswertelektronik durchgeschaltet.

4. "Zf-Test"

Im Hauptmultiplexer HMPX werden alle 8 Relais in die Stellung "5" gebracht, dort können die acht 30 MHz-Signale der Eichquelle in die Auswertekanäle eingespeist werden. (S.a.8.2)

5. "PM-EG"

"PM-ER"

Mit diesen beiden Tasten können jeweils die in den Einschubwegen zum Roten bzw. Grünen Ring unmittelbar vor der Injektionsstelle gelegenen 8-Loopmonitore angewählt werden. Da sie beide nur für den Injektionsbetrieb gebraucht werden, unterliegen sie nicht dem 20 msec-Takt der Steuerung, sondern haben den gleichen Betriebsmodus wie "Einzelmonitore".

6. "Rechner"

Hier wird die Auswahl der Monitore an die Rechnerkontrolle übergeben; es werden die Monitore abgefragt, die vom Operateur per Rechnerprogramm gewünscht werden.

Dieses Gerät enthält zwei identische, voneinander unabhängige Elektroniken, damit der Monitoranwahlmodus der gegebenenfalls unterschiedlichen Betriebsart beider Ringe angepaßt werden kann.

Mit jedem angewählten Monitor wird auch die ihm zugeordnete Monitornummer durch dieses Gerät für den Rechner bereitgestellt, damit beim Ausdrucken oder der Displaydarstellung der Lagen eine feste Zuordnung von Meßwerten und Meßstellen gewährleistet ist.

Für die Berechnung der Strahllagen wird dem Rechner auch der jeweilige Monitortyp (8- oder 4-Loop) mitgeteilt.

7.12. Pegelautomatik

Die Pegelautomatik setzt die hohe Stromdynamik der Loopsignale durch Stufenabschwächer und Verstärkungsumschaltung der Zf-Vorverstärker von 80 dB in 8 Stufen à 10 dB herab.

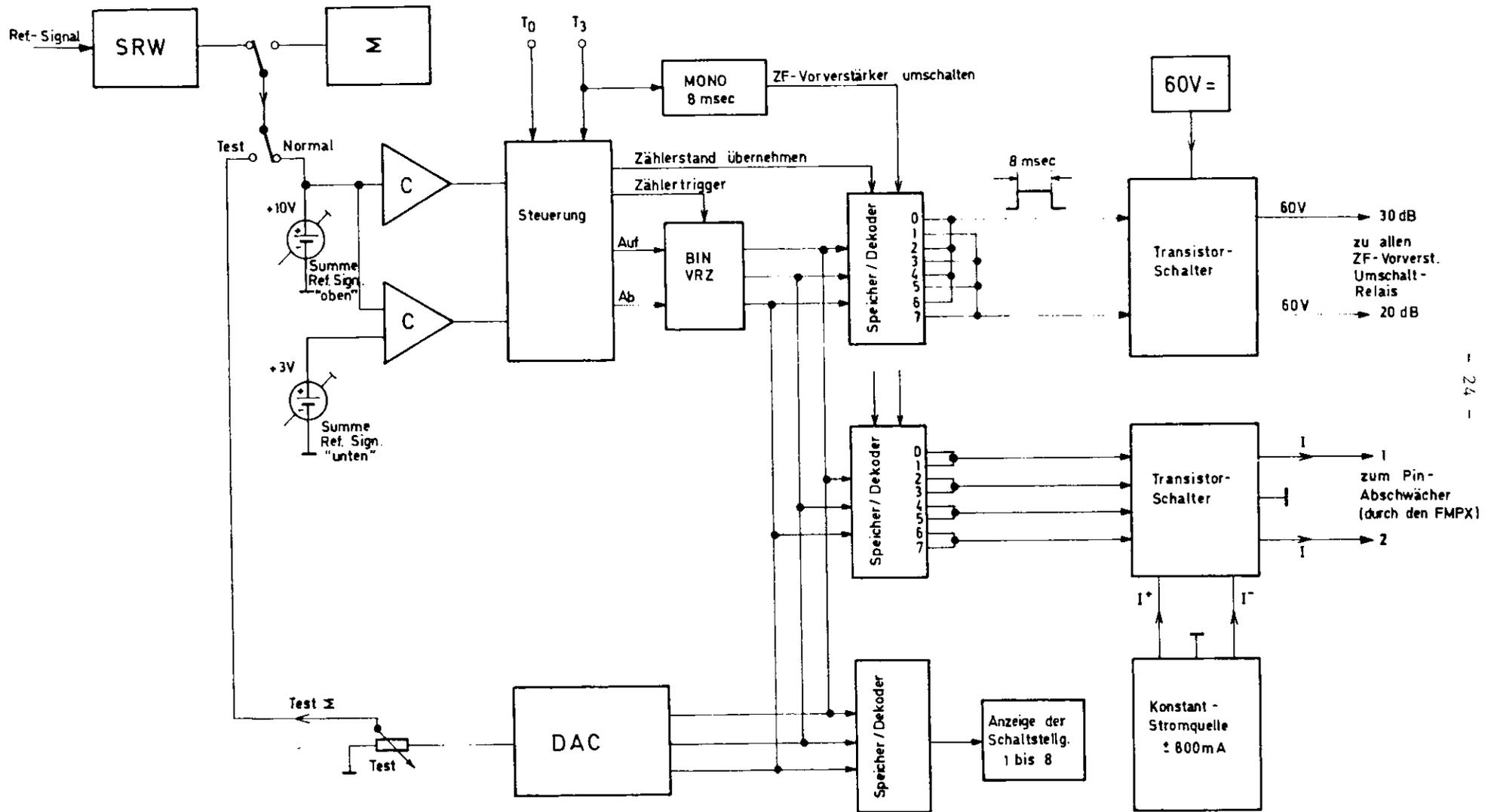


Abb. 7.12

Prinzipschaltbild der Pegelautomatik für die geschalteten Pin-Abschwächer und ZF-Vorverstärker.

Der Umschaltenschwellwert für maximales und minimales Summensignal der Loops wird an den beiden Komparatoren eingestellt (s. Abb. 7.12). Die Steuerung enthält einen dekadischen Vor-Rückwärtszähler und zwei Dekoder, die jeweils einen Transistorschalter ansteuern, der die PIN-Diodenabschwächer-Ströme ein- bzw. über einen Monovibrator (8 msec) die Zf-Vorverstärkerrelais umschaltet.

Erreicht ein Summensignal einen Schwellwert, z.B. den oberen, spricht der Komparator an und der Zählerstand erhöht sich um 1. Durch den externen Triggerimpuls T_3 nach beiden Meßperioden wird dieser Zählerstand in den Dekoder übernommen, während die Rückflanke dieses Impulses über ein Verzögerungsglied die Abschwächerströme einschaltet und gegebenenfalls alle Zf-Vorverstärker umschaltet.

Durch geringe Streuung der Summensignalwerte an den Randgebieten der Abschwächungsbereiche (durch unterschiedliche Kabellängen, unterschiedliche Verstärkung der Zf-Vorverstärker in verschiedenen FMPX's, Streuung der Abschwächung in den Mischerelektroniken) kann die Pegelautomatik auch bei konstantem Strahlstrom und unterschiedlicher Lage des Strahls innerhalb zweier Monitore beim Wechsel von einem zum anderen jeweils eine Stufe auf- oder abwärtsschalten, wobei die folgende Messung der Loop- und Referenzsignale in einer Abschwächungsstufe erfolgt, die mit Meßwerten des vorhergehenden Monitors eingestellt wurde.

Daher wird beim Weiterschalten der Pegelautomatik in eine andere Stufe der Triggerimpuls zum Weiterschalten auf den nächsten gewählten Monitor unterdrückt und die Messung am gleichen Monitor wiederholt.

7.13. Pegelautomatik Referenzsignal

Die Summe der Loopsignale aus der Meßperiode T_0 bis T_1 wird durch ein langsames Sample and Hold gespeichert, von T_1 an steht das Summensignal der Referenzsignale am Eingang des Komparators C zur Verfügung.

Die Steuerung wird bei T_1 extern getriggert und ein Gate für die Clockimpulse (4 MHz) geöffnet. Je nachdem, ob das Summensignal der Referenzgrößer oder kleiner als das der Loopsignale ist, kippt der Komparator und läßt den Vor-Rückwärtszähler auf- bzw. abwärtszählen (mit 4 MHz). Dadurch steigt (fällt) der durch D/A-Wandler und Stromquelle gelieferte

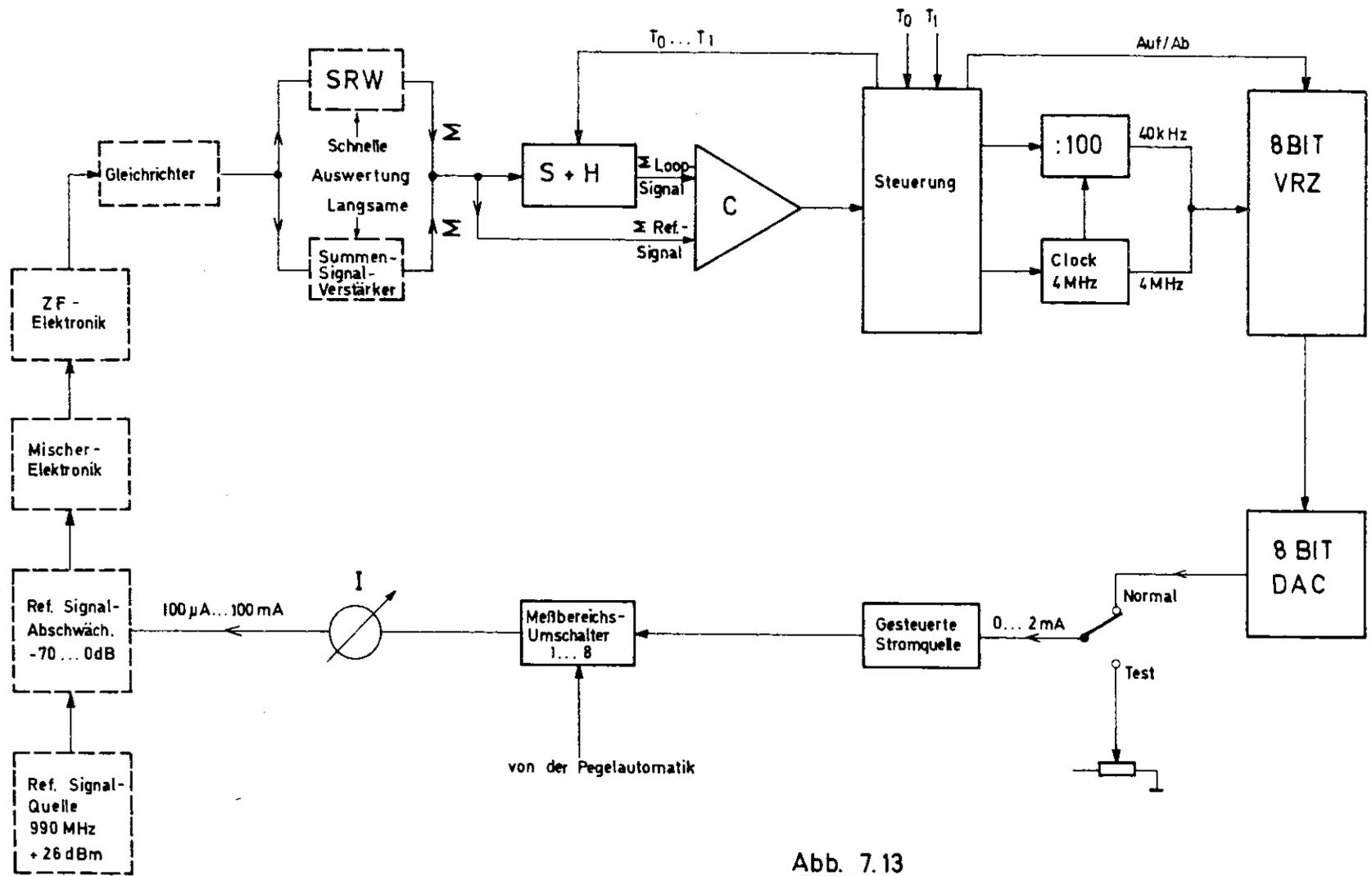


Abb. 7.13

Pegelautomatik zur Abschwächung des Referenzsignals

Strom für den Abschwächer so lange, bis das Referenzsignal gleich dem Loopsignal wird und der Komparator wieder kippt. Infolge der Signal- und Stromlaufzeiten und der Komparatorträgheit ist der Zähler evtl. zu weit gelaufen, so daß er nach dem Kippen des Komparators nun, mit der durch 100 geteilten Clockfrequenz (40 kHz) langsam zurücklaufen kann, bis der Komparator abermals Gleichheit feststellt und in seine Ausgangslage zurückspringt. Der Regelungsvorgang ist abgeschlossen, bei T_2 ist keine Änderung des Ausgangsstromes mehr möglich, es bleibt für die Referenzmeßzeit konstant. Von der Pegelautomatik (Stromdynamik) wird in jeden der 8 Abschwächungsbereiche ein anderer Meßwiderstand in den Ausgangsstrom der Quelle geschaltet, um eine Stromanzeige für die 8 Bereiche (\hat{a} 10 dB) von 0,4, 1,2, 4, 12, 40, 120, 400, 400 mA zu bekommen. In jedem Strombereich ist ein Sicherheitsfaktor von 2, damit auch bei unterschiedlicher Kennlinie der Abschwächer die Dämpfung immer auf den richtigen Wert einstellbar ist.

7.2 Taktgeber für die Steuergeräte

Der Taktgeber bewirkt die zeitliche Steuerung aller Regelungs-, Hilfs- und Auswertungsgeräte des Zf-Systems und zwingt sie in das vorgegebene 20 msec-Zeitschema, das entweder synchron mit dem Injektionstrigger oder netzsynchron abläuft.

Der Taktgeber bemißt die Zeitspannen T_0 bis T_1 für die Messung der Loopsignale, den Zeitraum T_1 bis T_2 für die Referenzsignalregelung, den Zeitraum T_2 bis T_3 für die Meßzeit der Referenzsignale und die verbleibenden 6 msec von T_3 bis zum nächsten 20 msec später auf T_0 folgenden Zeitpunkt. Diese Triggerzeitpunkte werden aus Gründen der einfacheren zeitlichen Abstimmung durch eigene elektronische Delays gebildet. Die Taktzeiten T_0 bis T_3 werden für die Steuerung folgender Gerätekomponenten gebraucht:

1. Mischersignale:	T_0	Oszillator	97 MHz ein
	T_1	"	97 MHz aus
	T_1	"	99 und 96 MHz ein
	T_3	"	99 und 96 MHz aus

2. Monitoranwahl: (Auswahl/Alle Monitore)	T_3	Zf-MPX-Relais umschalten
3. Pegelautomatik:	T_3	Zählerstand übernehmen
	T_3	I Ein/Ausschalten
	T_3	Relais Umschalten (von Monitoranwahl)
	T_3	Zf-Vorv.umschalten, 5msec mono
4. Pegelautomatik: Ref.Signal	T_0	+ Delay Hold Summensignal
	T_3	I Ein/Ausschalten
5. SRW	T_3	Umschalten 8/4 Loop (von Monitoranwahl)
6. S + H	T_0	Hold Loopsignale
	T_2	Hold Ref.Signale
7. MPX - ADC	T_0	
8. Zähler/Speicher		
9. HF-Test	ADC	T_1 Oszillator 99 u. 96 MHz "ein"
	S+H	T_2 Hold
	L.A.	T_2 Zähler Start
		T_3 Zähler Stop

7.21 Triggerdelay für Schnellen ADC

Bei der "Schnellen Auswertung" mit Sample and Hold und ADC treten beim Abtasten der Loopsignalimpulse je nach dem Ort des angewählten Monitors im Ring unterschiedliche Laufzeiten der Signale auf, die sich in Relation zum Injektionszeitpunkt T_0 aus den unterschiedlichen Kabellängen und der Umlaufzeit des Strahls zusammensetzen. Daher wird für jeden einzelnen der 68 Positionsmonitore ein auf die "Mitte" des Impulses (beim ersten Durchlauf durch den Monitor) bemessenes elektronisches Delay vorgesehen.

Es können dann bei Injektion, auch bei automatisch fortschreitender Monitoranwahl alle Signalimpulse sicher abgetastet werden. Die Monitoranwahl liefert die zum ausgewählten Monitor gehörige Adresse, für sie wird das richtige Delay eingeschaltet. Ein variabel um $\pm 0,6 \mu\text{sec}$ einstellbares Delay erlaubt außerdem, die Impulse an einer beliebigen Stelle zu erfassen.

Bei ungleichmäßiger Ringfüllung durch Injektionslücken oder aus anderen Gründen kann die Triggerverschiebung notwendig sein. Eine weitere, im Bereich von 0 bis 999 μ sec einstellbare Verzögerung für die Sample and Hold-Triggerung erlaubt, die Loopsignalimpulse zwischen dem 1. und dem 999. Umlauf abzutasten. Die Synchronisation geschieht mit dem im SKR vorhandenen Umlaufzähler.

7.3 Auswerteelektronik

7.31 Gleichrichterkassetten

Die acht Gleichrichterkassetten enthalten jeweils den Videogleichrichter und den Meßgleichrichter für die schnelle bzw. langsame Auswertung. Die Umschaltung erfolgt durch 2 bistabile HF-Relais, die von Hand oder durch externen Taktgeber (beim Wechsel der langsamen Auswertung von Rot auf Grün o. umgekehrt) bedient werden können. Ein dem Gleichrichter nachgeschalteter Gleichspannungsverstärker bringt die gleichgerichteten Ausgangsspannungen der Zf-Endverstärker auf max. + 5 V. Von dort gelangen sie, ausgangsseitig gegen Kurzschluß geschützt, zu einer Reihe von "Abnehmern" in der Auswerteelektronik. Ebenfalls in der Kassette befindet sich der Sample and Hold-Verstärker für die Schnelle AD-Wandlung.

An den Kassettenausgängen werden folgende Geräte angeschlossen:

1. Scope für 30 MHz Zf-Signale
2. Scope für Videosignale
3. Scope für S/H.
4. Schnelles Rechenwerk
5. ADC
6. U/f-Wandler
7. DC-Voltmeter

Steuereingänge sind für Sample and Hold sowie die Umschaltung beider Auswertungen vorhanden.

Beide Gleichrichtereingänge sind reflexionsarm an eine Impedanz von 50 Ω angepaßt.

Abb. 7.31 zeigt den Aufbau einer Kassette im Blockschaltbild.

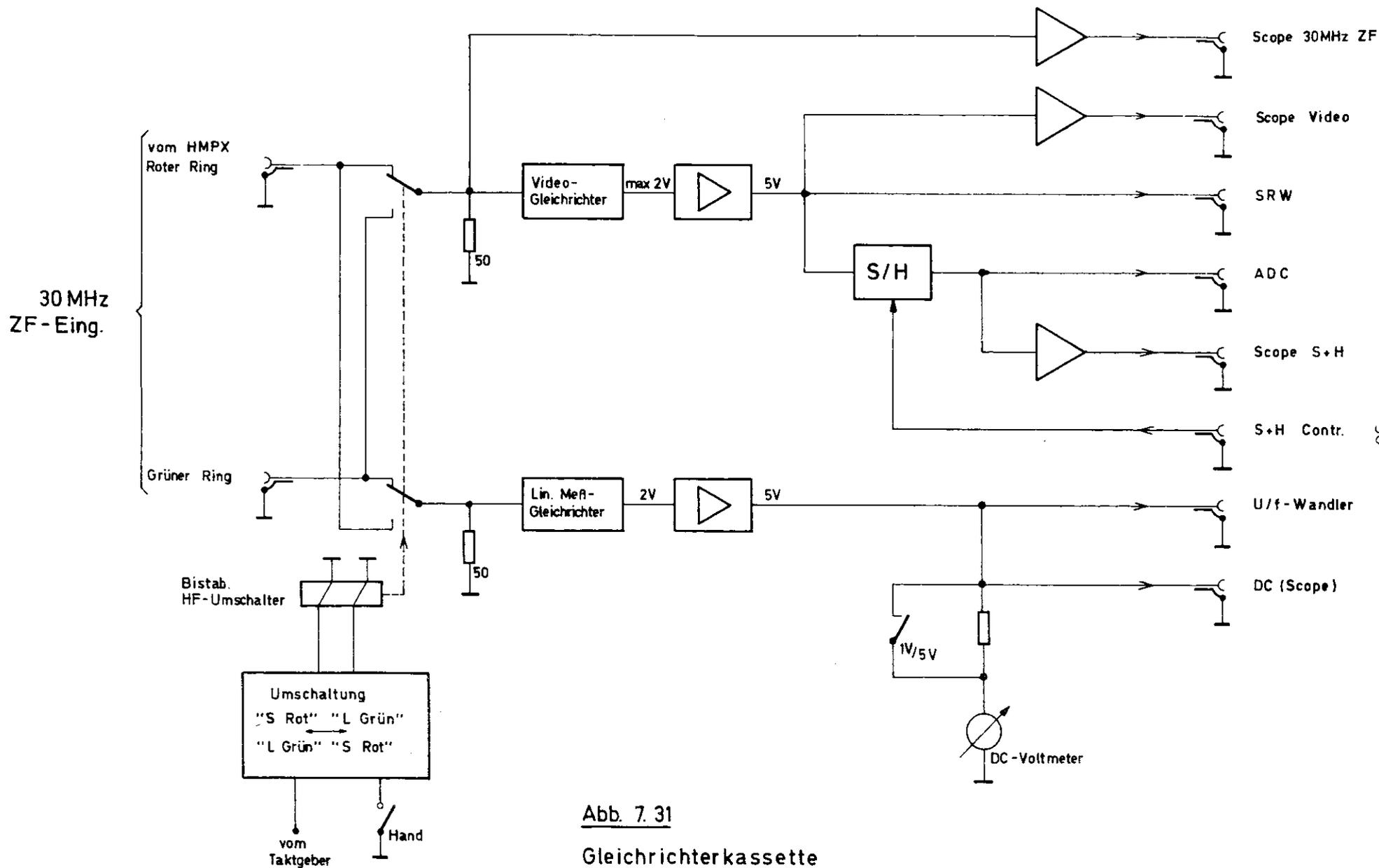


Abb. 7.31

Gleichrichterkassette

7.32 Schnelles analoges Rechenwerk

Das SRW besteht aus mehreren breitbandigen Operatorverstärkern mit sehr gutem Einschwingverhalten zur Bildung der noch strahlstromabhängigen horizontalen und vertikalen Strahlagen X·I und Y·I, einem Summensignalverstärker, zwei Dividierern und einer 8 Loop/4 Loop-Umschaltung

Für jeden der Verstärkereingänge können die in den Lagegleichungen (s.6.1) vorgeschriebenen Faktoren eingestellt werden. Der X-Koordinatenteil des SRW enthält keine Umschaltung von 8- auf 4-Loopmonitore, da die 4-Loopmonitore nur zur Messung der vertikalen Strahlposition herangezogen werden, für den X- und Summenverstärkerteil besteht die Möglichkeit, die Umschaltung von Hand (für Funktionsprüfung) vorzunehmen. Während des Speicherringbetriebes wird die Umschaltung von der "Monitoranwahl" entsprechend dem Typ des gerade an der Auswerteelektronik befindlichen Monitors gesteuert.

Das am Anfang verfügbare Summensignal wird neben der Division von X·I und Y·I auch für die Pegelautomatiken desjenigen Ringes verwendet, der an der Schnellen Auswertung liegt.

7.33 MPX-ADC-Speicher Kassette

Der elektronische 8-Kanal-Multiplexer, der nachfolgende 12 Bit-Analog/Digitalwandler und die zur Zwischenspeicherung der Loop- und Referenzsignalmeßwerte verwendeten Speicher befinden sich zusammen mit der Elektronik zur Anwahl der Kanaladressen 1 bis 8 des MPX und Steuerung der Schieberegister in einer gemeinsamen Kassette.

Neben den je 8 Worten à 12 Bit der Loop- und der Referenzsignalmeßwerte wird in jeder 20 msec-Meßperiode die dem Positionsmonitor zugeordnete Monitornummer (aus dem Monitoranwahlgerät) ebenfalls gespeichert, so daß in jedem Fall die Herkunft aller Meßwerte mit Sicherheit festgestellt wird.

Meßbereich des ADC	:	0 ... + 5 V
Auflösung	:	12 Bit
Wandlungszeit für 8 Kanäle	:	100 µsec .

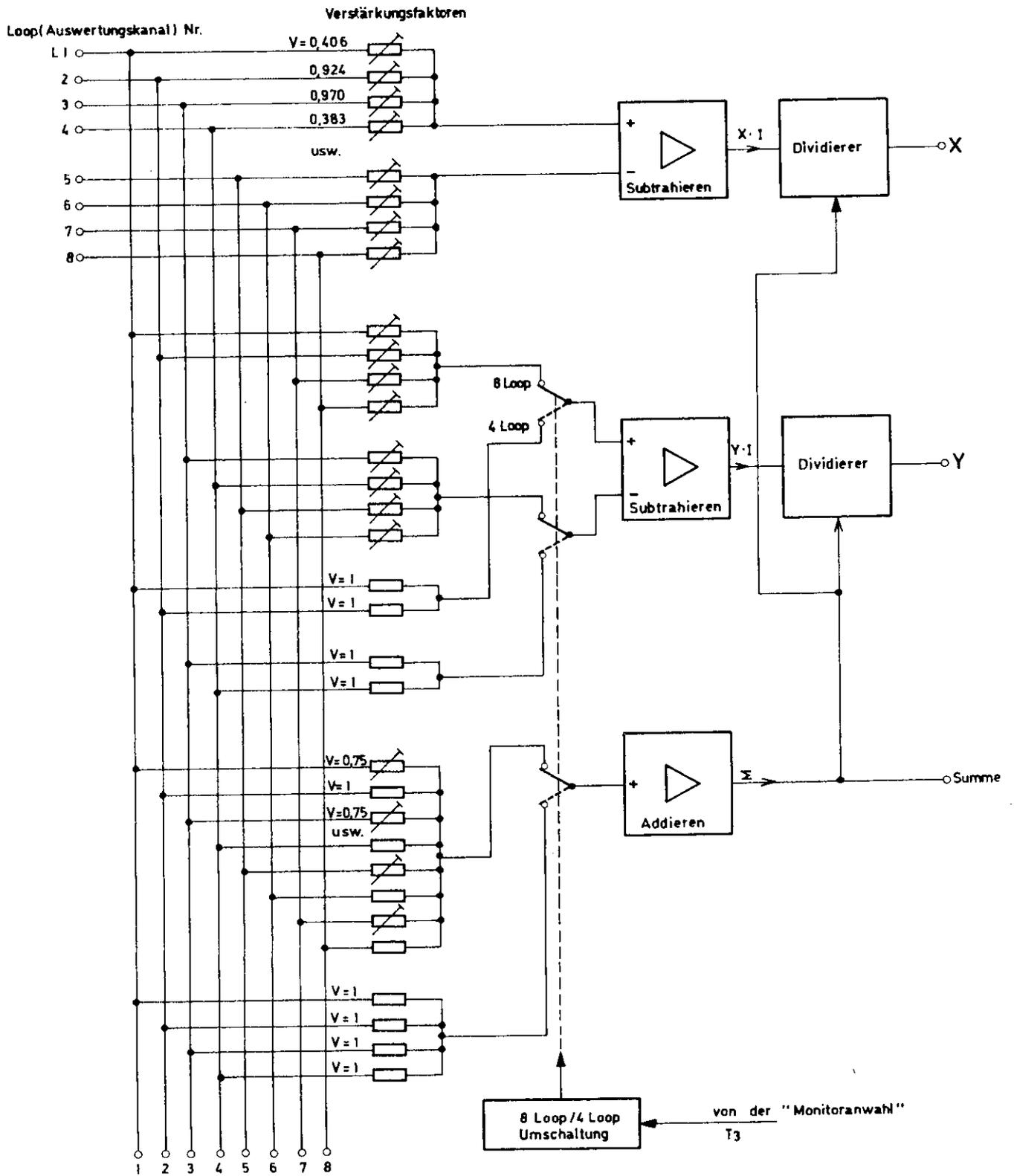


Abb. 7.32

Schnelles analoges Rechenwerk (SRW)

7.34 Spannungs/Frequenzwandler

Die 8 Spannungs/Frequenzwandler, Bestandteil der "Langsamen" Auswertung mit je 6 msec Meßzeit für die Loop- und die Referenzsignale, haben folgende technische Daten:

Eingangsspannungsbereich: 0 bis + 5 V
Ausgangsfrequenz: 0 bis 1 MHz
Hohe U/f-Linearität: besser \pm 0,01% F.S.
Schnelles Einschwingverhalten bei Spannungssprüngen.
Geringer Temperaturgang der Ausgangsfrequenz.

Die einzigen von außen zugänglichen Abgleichstellen sind Nullpunkt und Vollbereichseinstellung. Zu diesem Zweck können von außen Eichspannungen angelegt werden.

7.35 Oszilloskop

Eine dem menschlichen Auge angepaßte Darstellung der im SRW errechneten Strahlablagen bei Injektionsbetrieb des Speicherringes auf dem Oszilloskop stellt an dieses Gerät zur Zeit technisch kaum realisierbare Anforderungen. Wünschenswert wäre ein schnelles Oszilloskop, das auch bei niedrigen Injektionsraten und nichtvollendetem Umlauf des Strahls oder bei einmaligem Durchlauf durch einen Positionsmonitor ein genügend helles Bild des Impulses abgeben kann. Damit in diesem Fall die horizontale und die vertikale Ablage gleichzeitig betrachtet werden können, ist ein Zweistrahl-Oszilloskop erforderlich.

Von zwei Herstellern sind Speicheroszillographen angekündigt worden, die die zu stellenden Forderungen annähernd erfüllen werden.

7.4. Hilfsgeräte

7.4.1 Aufbereitung der HF-Mischerfrequenzen

Die für die HF-Mischerelektronik erforderlichen Frequenzen von 970 MHz als Überlagerungsfrequenz für die Loopsignale sowie das zur Referenzmessung erforderliche Signal mit 990 MHz und der zugehörigen Überlagerungsfrequenz von 960 MHz, welche als Mischprodukt jeweils die Zwischenfrequenz von 30 MHz ergeben, werden wegen geringerer Kabel-

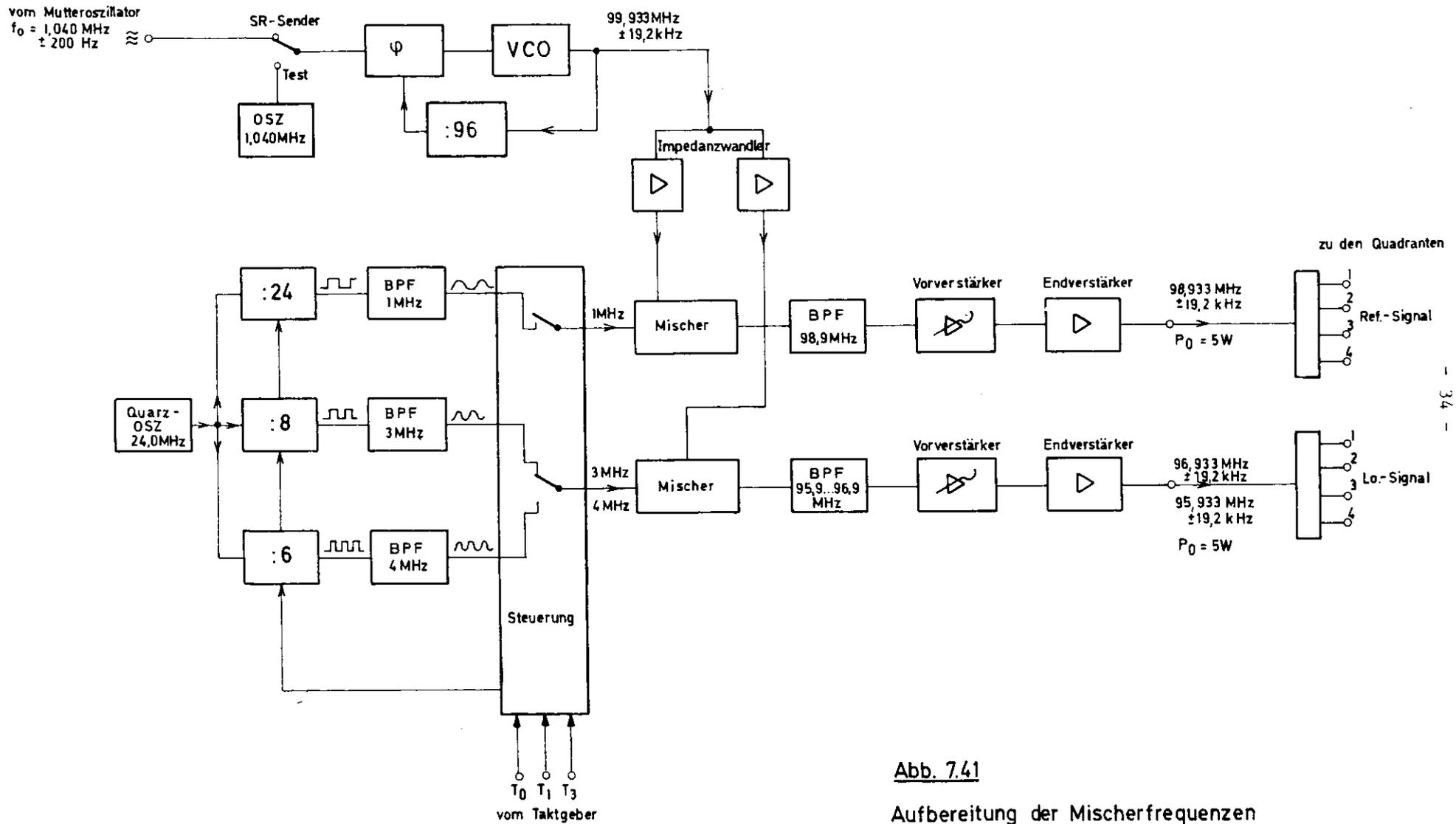


Abb. 7.41

Aufbereitung der Mischerfrequenzen

verluste bei der Hinführung zu den einzelnen Mischerelektroniken bei einem Zehntel der Frequenzen erzeugt und über die Anordnung von Leistungsteilern im Ringtunnel den Elektroniken zugeführt, dort auf obige Frequenzen verzehnfacht und verstärkt.

Da die Frequenz des Speicherringssenders um ± 192 kHz um seine Normalfrequenz von ca. 500 MHz durchstimmbar sein wird (das entspricht einer Variation des Mutteroszillators von ± 200 Hz um seine Normalfrequenz von 1.040 MHz), würde bei konstanten Überlagerungsfrequenzen eine mit ± 192 kHz von 30 MHz abweichende Zf entstehen. Um zu verhindern, daß die frequenzabhängige Verstärkungscharakteristik aller 64 möglichen verschiedenen Zf-Kanäle bei oben erwähnten Frequenzänderungen unterschiedliche Kanalverstärkungen bewirkt, werden alle Mischerfrequenzen aus der (variablen) Oszillatorfrequenz des Senders aufbereitet, wodurch man eine konstante Zf von 30 MHz erhält.

Die drei erforderlichen Frequenzen werden durch Mischung der 96-fachen Mutteroszillatorfrequenz, die durch eine Phase-Locked-Loop (s. Abb. 7.41) gewonnen wird, und 3 Frequenzen von 1,3 und 4 MHz erzeugt. Letztere werden durch digitale Frequenzteilung aus einem Quarzoszillator, der auf 24,0 MHz schwingt, gebildet. Drei Bandpaßfilter sieben jeweils die gewünschte Grundwelle heraus, während die beiden Bandpaßfilter an den Mischerausgängen das unerwünschte Seitenband unterdrücken, um eine hohe spektrale Reinheit der Mischerfrequenzen zu erreichen und zusätzliche Mischprodukte in der Loopmonitorelektronik zu verhindern. Die Steuerung schaltet die für die Loopmeßzeit T_0 bis T_1 , sowie die in der Referenzsignalmeßzeit T_1 bis T_3 notwendigen Frequenzen ein. Jeweils ein Vor- und ein Endverstärker bringen die zwei Signale auf die erforderliche Ausgangsleistung von 5 W, die dann über einen Leistungsteiler in das weitere Verteilungsnetz der Powerdivider in jeden Quadranten des Speicherringes geführt werden.

Zu Testzwecken (s. 8.4) kann das Referenzsignal mit zugehörigem Überlagerungssignal dauernd eingeschaltet werden. In diesem Fall übernimmt ein quartzgesteuerter Testoszillator die Rolle des Mutteroszillators, so daß die Tests der Zf-Elektronik auch unabhängig vom Sender ausgeführt werden können.

7.42 Frontmultiplexer

Die in der "Mitte" jedes Quadranten befindlichen Frontmultiplexer sind eine wichtige "Schaltstation" zwischen der HF-Mischerelektronik der Loopmonitore und der Auswerteelektronik. Der Inhalt dieser Geräte läßt sich in 5 Funktionsgruppen mit folgenden Bestandteilen aufgliedern:

1.) Zf-Multiplexer

- a. je 8 Coaxschalter für schnelles Umschalten im 50 Ω -System ,
16-polig
- b. 12 Transistorschalter für 12 Relaisschaltstellungen, womit 12
8-Loopmonitore angeschlossen werden können.

2.) Multiplex für Pegelautomatik

- a. 8 geschaltete Zf-Vorverstärker (+30/20 dB)
- b. 12 x 2 = 24 Relais für beide Abschwächerströme (12 V)

3.) Multiplex für Ref.Signal-Pegelautomatik

- a. 12 Relais (12 V) für geregelte Stromquelle

4.) Mischerelektronik

- 1 PS 28 V zur gemeinsamen Betriebsspannungsversorgung aller
Mischerelektroniken eines Quadranten und Ringes

5.) Stromversorgung

7.43 Hauptmultiplexer

Für jeden Ring ist ein Hauptmultiplexer vorhanden, der die je 8 Ausgänge der 4 FMPX's eines Ringes mit der Auswerteelektronik verbindet. Beide HMPX befinden sich im SKR und enthalten je

- a. 8 Koaxschalter (je 8 Stellungen)
- b. 1 PS 28 V/300 mA
- c. 8 Transistorschalter für 8 Relaisschaltstellungen
- d. 1 PS 12 V für c.
- e. 8 Zf-Hauptverstärker
- f. 1 PS für e.

7.44 Lagekoppler

Der Lagekoppler, das elektronische Interface zwischen der Auswertung und dem Rechner, erhält alle 20 msec alle Meßdaten der Loop- und Referenzsignale, also je 8 mal 1 Loopwort und 1 Referenzwort und als Information über Herkunft der Meßdaten die Monitor Nr. und den Monitor-typ (8/4 Loop). Das ergibt für jede 20 msec lange Periode 18 Worte mit Wortlängen von 12 Bit für die schnelle und 13 Bit für die langsame Auswertung.

Die Daten sind 0...20 msec nach interrupt für den Rechner verfügbar.

8. Funktionstestmöglichkeiten

8.1 Eichung der acht Kanäle

Vor der Installierung der Positionsmonitore und der zugehörigen Mischerelektroniken im Ring wird die elektrisch/geometrische Mittelpunktvermessung für alle PM's und Mischer vorgenommen.

Dazu werden die variablen Eingangsabschwächer in der Mischerelektronik und das Referenzsignal herangezogen:

Aus dem Referenzsignal R_0 resultieren an den 8 Zf-Ausgängen durch die Dämpfungen T_n ($n = 1, 2 \dots 8$) der 8 Pfade des Achtfach-Leistungsteilers T und die in den Kopplern, Stufen-Abschwächern und Mischerdioden entstehenden Verluste V_n die Referenzsignale

$$R_n = R_0 \cdot T_n \cdot V_n \quad (\text{s. Abb. 8.1 a.)}$$

Ein exakt in den geometrischen Mittelpunkt des Monitors eingebrachter, von Hochfrequenz (1 GHz) durchflossener Draht (der einen Strahl in Sollage simuliert) erzeugt an den Zf-Ausgängen die Loopsignale

$$S_n = L_0 \cdot A_n \cdot D_n \cdot V_n \quad \text{b.)}$$

worin das Produkt $L_0 \cdot A_n$ die induzierten, am gemeinsamen Koppler anstehenden Loopsignale bedeutet, in denen mit A_n unterschiedliche Loopempfindlichkeiten und Kabeldämpfungen zwischen Monitor und Mischerelektronik berücksichtigt und D_n die Dämpfung der einstellbaren Abschwächer sind. In V_n sind die gleichen Verluste von Koppler,

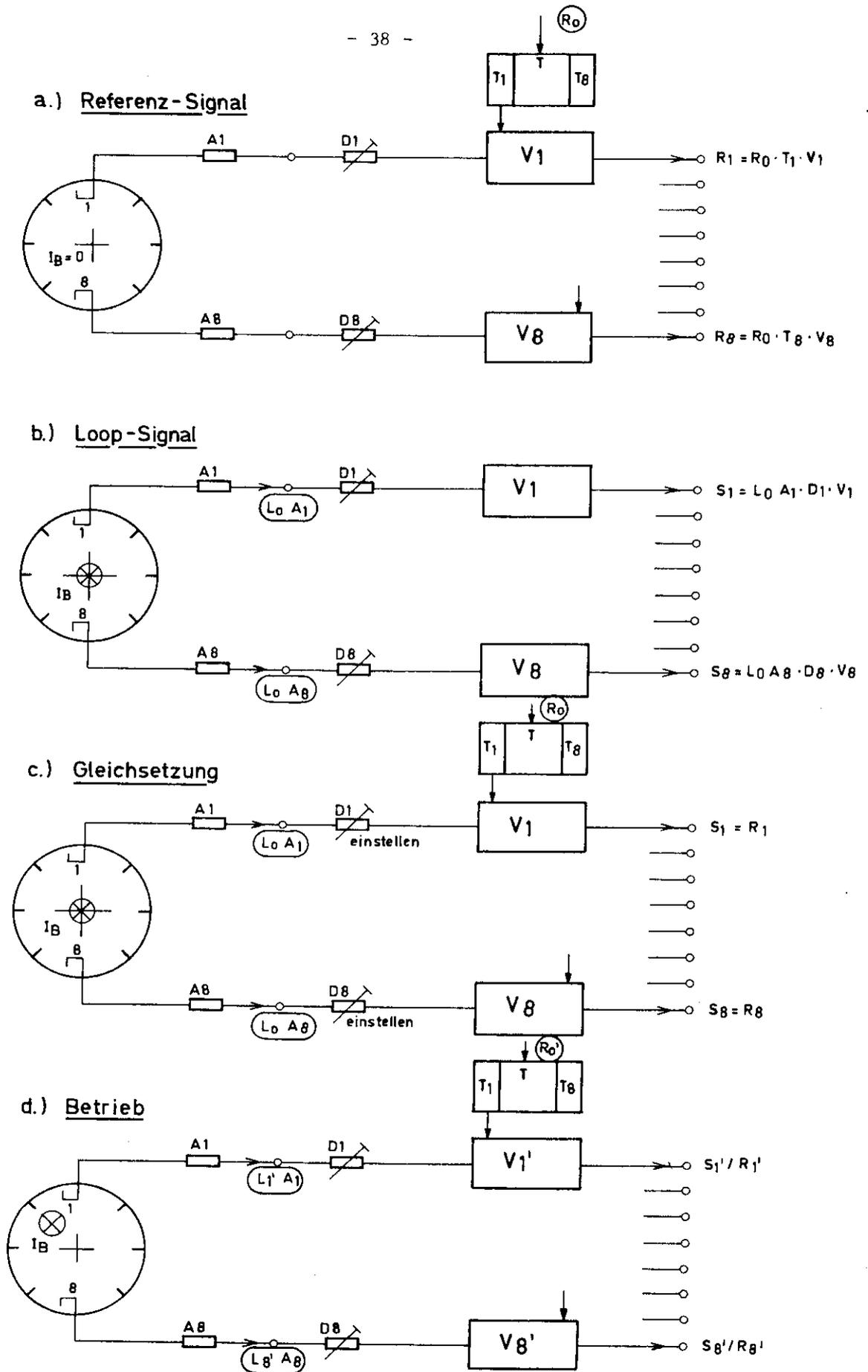


Abb. 8.1

Mittelpunkteichung der PM-Elektronik

Stufenabschwächer und Mischerdioden enthalten wie für das Referenzsignal R_0 .

Durch Einstellen der einzelnen Dämpfer D_1 bis D_8 werden alle S_1 bis S_8 soweit verändert, bis

$$S_n = R_n$$

d.h.
$$L_0 \cdot A_n \cdot D_n \cdot Y_n = R_0 \cdot T_n \cdot Y_n$$

oder

$$\frac{R_0}{L_0} = \frac{A_n \cdot D_n}{T_n} \quad \text{c.)}$$

wird.

Im späteren Betrieb (gestrichene Größen) ergeben sich bei Strahlablage die Ausgangssignale von den Loops her mit

$$S_n' = L_n' \cdot A_n \cdot D_n \cdot V_n'$$

und die Referenzsignale

d.)

$$R_n' = R_0' \cdot T_n \cdot V_n'$$

(R_0' ist das von der Pegelautomatik eingestellte Referenzsignal) aus denen in der Auswertelektronik durch Division mit dem entsprechenden Referenzsignal die Quotienten

$$\begin{aligned} \frac{S_n'}{R_n'} &= \frac{L_n' \cdot A_n \cdot D_n \cdot V_n'}{R_0' \cdot T_n \cdot V_n'} \\ &= \frac{L_n'}{L_0} \cdot \frac{R_0}{R_0'} \end{aligned}$$

entstehen, da nach der vorgenommenen Eichung

$$\frac{A_n \cdot D_n}{T_n} = \frac{R_0}{L_0} \quad \text{ist.}$$

Bei Division der Summanden

$$\frac{S_n'}{R_n'}$$

im Zähler der Gleichungen für die x- und y-Ablagen (s. Kapitel 6, dort $L_n = S_n'$ zu setzen) durch die Summe aller $\frac{S_n'}{R_n'}$ kürzen sich $\frac{R_0}{R_0'}$

und L_0 heraus, es bleiben die mit Faktoren versehenen Loopsignale L_n' und das Summensignal nach Kapitel 6 übrig für

$$X = K_1 \cdot \frac{(0,406L_1' + 0,924L_2' + 0,980L_3' + 0,383L_4' - 0,406L_5' - 0,924L_6' - 0,980L_7' - 0,383L_8')}{L_2' + L_4' + L_6' + L_8' + 0,75 (L_1' + L_3' + L_5' + L_7')}$$

und

$$Y = K_1 \cdot \frac{(0,980L_1' + 0,383L_2' - 0,406L_3' - 0,924L_4' - 0,980L_5' - 0,383L_6' + 0,406L_7' + 0,924L_8')}{L_2' + L_4' + L_6' + L_8' + 0,75 (L_1' + L_3' + L_5' + L_7')}$$

und für die 4-Loopmonitore entsprechend

$$Y = K_2 \frac{(L_1' - L_2' + L_3' - L_4')}{(L_1' + L_2' + L_3' + L_4')}$$

Die Meßmethode mit dem eingespeisten Referenzsignal ist unabhängig von den einzelnen Verstärkungsfaktoren der Zf-Kanäle, sie setzt nur die langfristige zeitliche Konstanz der Dämpfungen A_n , D_n und T_n und die kurzzeitige Konstanz der Zf-Verstärker während der Loop- und Referenzsignalmessung voraus.

8.2 30 MHz-Achtkanal-Eichquelle

Um die Verstärkungseigenschaften und die Linearität der 8 Auswerteelektroniken beider Ringe, das sind die Zf-Hauptverstärker, beide Gleichrichter sowie die U/f-Wandler, S/H und ADC im vorkommenden Dynamikbereich zu überprüfen, kann über die beiden Hauptmultiplexer ein amplitudenstabiles, mit sehr großer Amplitudenbalance auf alle 8 Kanäle aufgeteiltes 30 MHz-Signal in den Betriebsarten CW und Pulsamplitudenmodulation eingespeist werden. Impulsgenerator und Balancemodulator erzeugen das amplitudenmodulierte 30 MHz-Signal mit einer der Strahlumlaufzeit von 1 μ sec entsprechenden Impulsdauer und einer der Injektionsrate angemessenen Wiederholfrequenz. Ein Stufenabschwächer bringt die Ausgangsleistung dieser Quelle auf Pegel, die auf den Eingangsbereich der Zf-Hauptverstärker angepaßt sind (-65 bis -30 dBm, s.a. Pegeldiagramm).

Im Dauerstrichbetrieb können beide 8 Kanalauswerteelektroniken auf "Gleichlauf" und die Linearität überprüft werden, mit Impulsbetrieb kann der Abgleich des Schnellen Rechenwerkes SRW durch die Nullmessung ($X = Y = 0$) sowie das Einschwingverhalten der Zf-Hauptverstärker, die Videogleichrichter und die Sample and Hold-Verstärker geprüft werden.

Die Eichsignalquelle kann auf die Auswertekanäle beider Ringe geschaltet werden.

8.3 Sweepgenerator

Zur Überprüfung der Bandbreite aller Zf-Hauptverstärker und Videogleichrichter wird mit einem 30 MHz-Sweepgenerator jeder Kanal durchgewobbelt und seine frequenzabhängige Verstärkungscharakteristik auf dem eingebauten Oszilloskop dargestellt werden.

8.4 Hf-Test mit Referenzsignal

Mit dem Referenzsignal können die Verstärkungseigenschaften aller Kanäle ausgetestet werden.

Im Mischersignalgenerator übernimmt der Test-Quarzoszillator die Funktion des Senderoszillators. Das Referenzsignal kann dann durch den von Hand kontinuierlich einstellbaren Ref.Signalabschwächer über den 70 dB großen Amplitudenbereich variiert werden.

Auf ihre Funktion können damit geprüft werden:

1. Alle 44 x 8 und 24 x 4 Zf-Kanäle
2. die PIN-Diodenabschwächer
3. die Pegelautomatik (Abschwächungsstufen 1 bis 8)
4. die Ströme der Ref.-Signalpegelautomatik

Das Referenzsignal kann für diese Testzwecke entweder als Dauersignal an eine Mischerelektronik gelegt oder mit der Monitoranwahl umlaufend betrieben werden. Die Messung der Referenzsignale kann durch die schnelle (ADC) oder die langsame Auswertung erfolgen.

8.5 Meßstellenauswahlmöglichkeiten

Ein Meßstellenauswahlgerät im Elektronikschrank gibt die Möglichkeit, eine Reihe von Signalen auf dem eingebauten Oszilloskop zur Funktionsüberprüfung der Geräte sichtbar zu machen.

Es können folgende Meßstellen ausgewählt werden:

- a. 30 MHz-Zf-Signale aller 8 Loops vor dem Video-Gleichrichter
- b. Video-Signale aller 8 Loops - hinter dem Video-Gleichrichter
- c. SRW-Ausgänge X·I, Y·I, X, Y und Summe
- d. S + H aller 8 Kanäle
- e. DC-Ausgang Meßgleichrichter
- f. 30 MHz-Eichgenerator, CW und PAM
- g. Impulsgenerator für Pkt. f.
- h. 30 MHz-Sweeper, zur Überprüfung der Bandbreite der Zf-Hauptverstärker + Video-Gleichrichter
- i. U/f-Wandler-Ausgänge
- k. HF-Mischer-Unterfrequenzen.

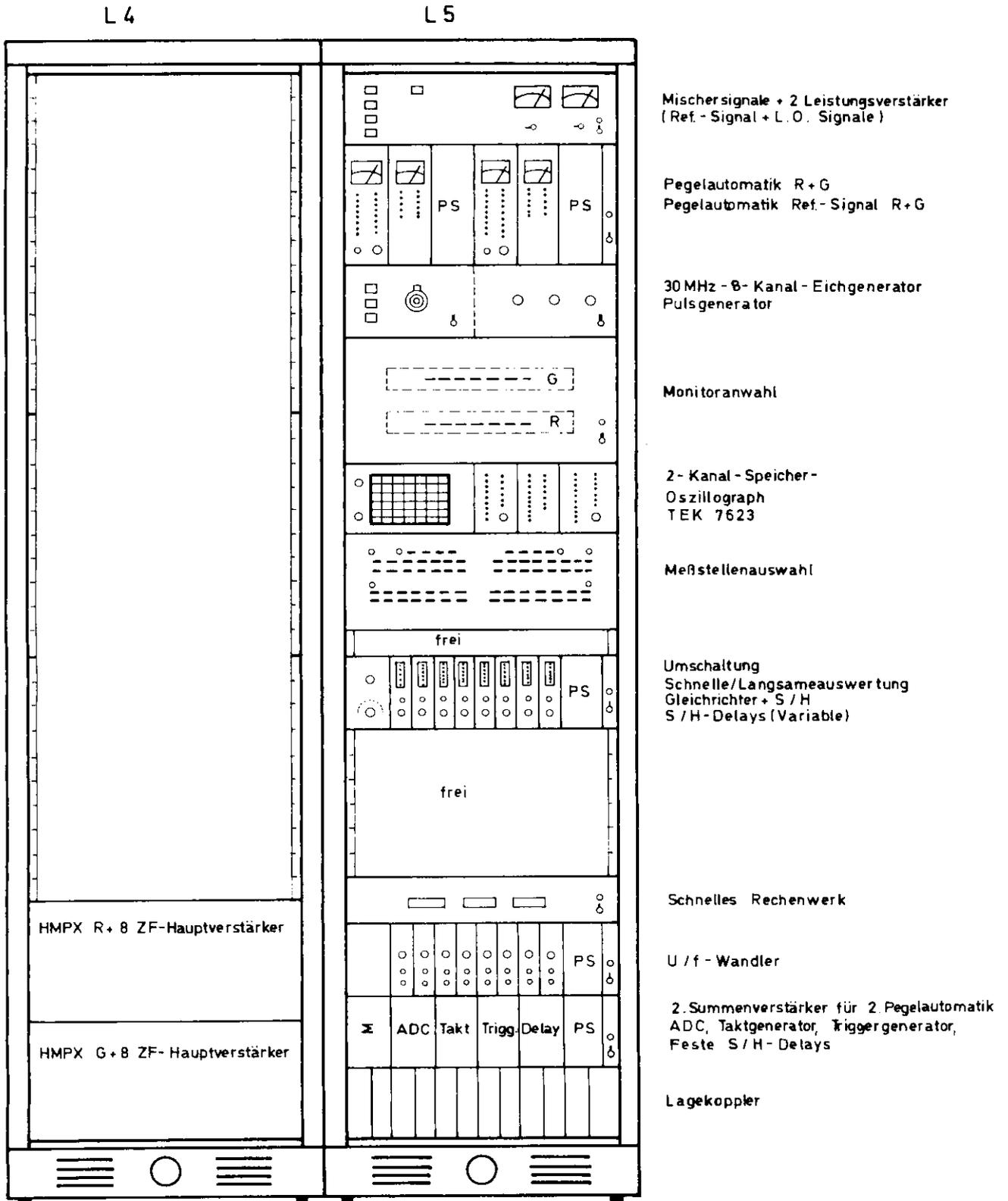


Abb. 9

Vorgeschlagene Anordnung der Geräte

10. Gesamtübersicht des ZF-Systems

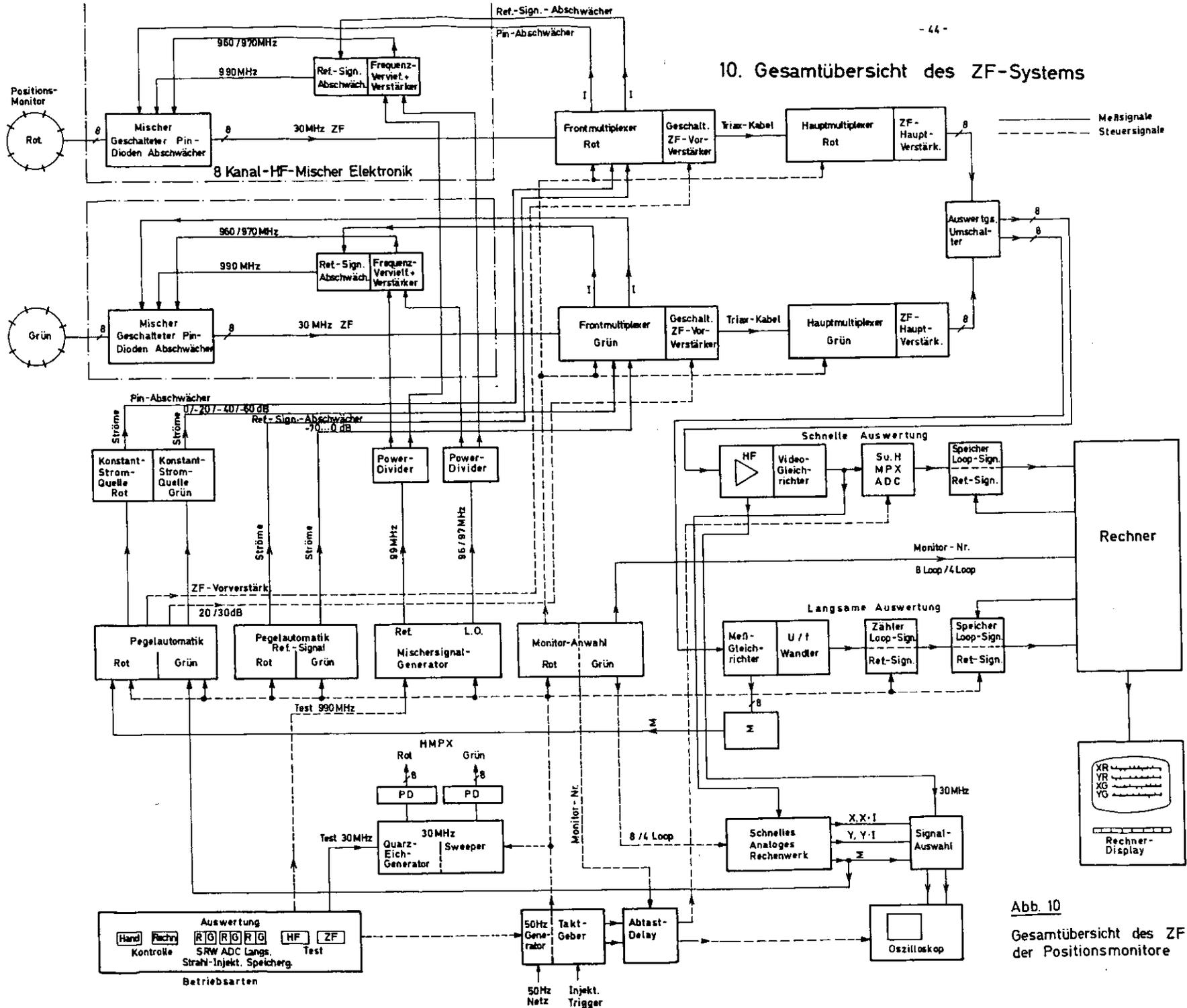


Abb. 10
Gesamtübersicht des ZF-Systems der Positionsmonitore