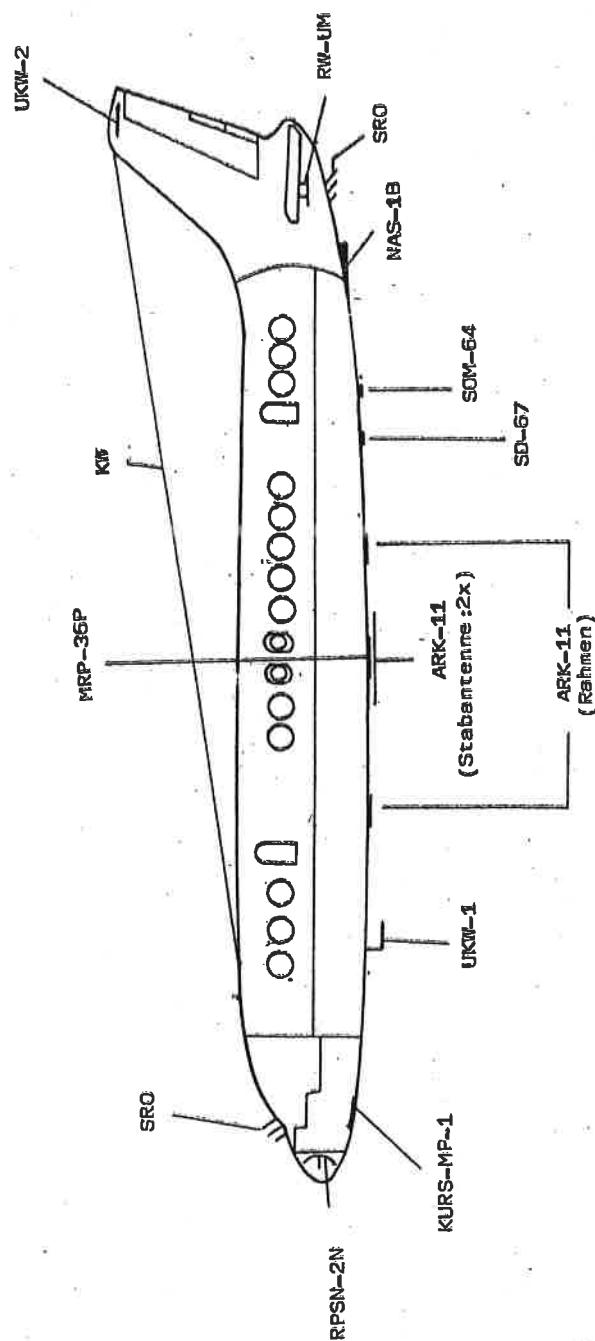




## Die elektromagnetische Welle

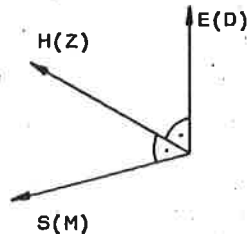
### 1. Bestandteile, Eigenschaften

#### 1.1. Bestandteile

Die elektromagnetische Welle besteht aus drei Feldvektoren:

- M: magnetischer Feldvektor
- E: elektrischer Feldvektor
- S: Vektor der Strahlungsdichte (in Richtung der Wellenausbreitung).

Diese drei Vektoren sind räumlich stets nach dem Rechtssystem zugeordnet, d. h., ihre Schwingungsebenen stehen stets senkrecht zueinander (→ Skizze).



Im Fernfeld beträgt der Phasenwinkel (zeitliche Zuordnung!) zwischen den Vektoren E und H Null Grad, so daß das Produkt Wirkkomponenten enthält, während im Nahfeld  $\varphi = 90^\circ$  annimmt und somit nur Blindkomponenten existieren.

#### 1.2. Eigenschaften

- Polarisation: Maßgeblich für die Angabe der Polarisation einer elektromagnetischen Welle ist die Schwingungsebene des E-Vektors. Bei Ortungssystemen wird vorrangig die horizontale Polarisation und beim UKW-Sprechfunk die vertikale Polarisation angewendet.
- Reflexion: An Trennflächen zwischen zwei Medien mit unterschiedlichen elektromagnetischen Eigenschaften ( $\mu_r$  und  $\epsilon_r$  sind unterschiedlich) wird die Welle reflektiert und gebrochen.
- Konstanz der Ausbreitung: Im Freiraum breitet sich die elektromagnetische Welle mit der Geschwindigkeit

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \approx 3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$$

aus.

- Geradlinigkeit: Der Zustand gleicher Phasenlage breitet sich geradlinig aus.
- Absorption: Durch die Leitfähigkeit der Erde ( $\chi_{\text{Erde}} \approx 5 \cdot 10^{-3} \text{ S cm}^{-1}$ ,  $\chi_{\text{Cu}} = 5,6 \cdot 10^{+5} \text{ S cm}^{-1}$ ) und den in der Atmosphäre enthaltenen Sauerstoff und Wasserstoff treten Energieverluste durch Absorption auf.
- Beugung: An Hindernissen im Ausbreitungsweg der Welle, deren Ausmaße größer  $\lambda$  sind, wird die Welle gebeugt. Dieser Beugungseffekt tritt um so mehr auf, je langwelliger die Strahlung ist.

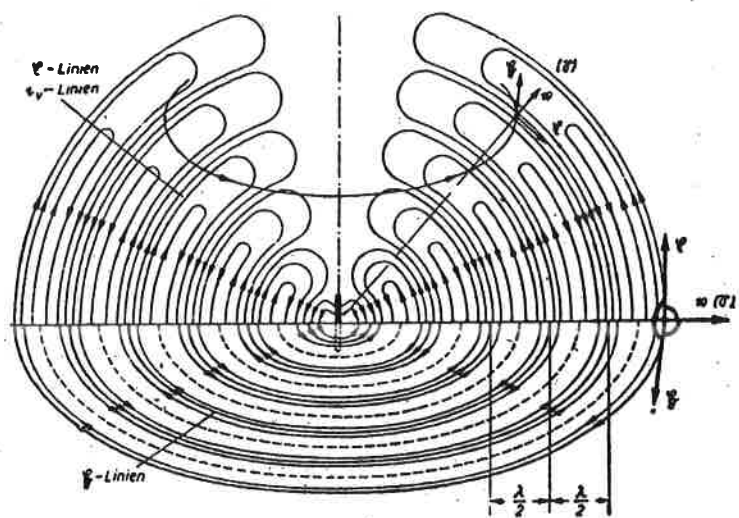
### 2. Wellenausbreitung

#### 2.1. Bodenwellen

Strahlen, die sich entlang der Erdoberfläche ausbreiten und deren Verhalten im wesentlichen von den elektrischen Eigenschaften der obersten Erdschichten bestimmt wird.

Ergebnis: Strahlen werden um die Erdoberfläche herumgebeugt, ihre Ausbreitung ist nahezu unabhängig von der Jahres- und Tageszeit.

Frequenzbereich: 30 - 300 KHz (Langwelle).

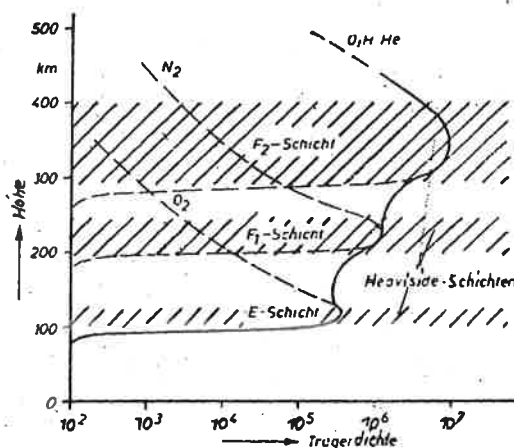


Elektromagnetisches Feld eines Dipols

## 2.2. Raumwellen

Strahlen, die in die Atmosphäre abwandern und deren Verhalten von der elektrischen Struktur der Atmosphäre bestimmt wird.

Durch Sonneneinstrahlung entstehen in der Atmosphäre Schichten mit einer hohen Anzahl freier Ladungsträger. Diese Ladungsträger sind positive Gasionen und negative Elektronen, die durch Ionisierung neutraler Gasmoleküle entstehen. Diese D-, E-, F<sub>1</sub>- und F<sub>2</sub>-Schichten (sogenannte Heaviside-Schichten) verändern ihre Stärke, Höhenlage und elektrische Intensität in Abhängigkeit von der Sonneneinstrahlung. An diesen Schichten werden die Funkwellen reflektiert und gebrochen, wobei die Strahlen um so steiler abgestrahlt werden können, je tiefer ihre Frequenz ist. Je höher die Frequenz, desto größer die Eindringtiefe bei gleichem Abstrahlwinkel. Mit relativ kleinen Sendeleistungen lassen sich große Entfernungen überbrücken.



Darstellung der Trägerdichte und wichtigsten Ionisationsschichten in den verschiedenen Höhen der Atmosphäre

Es existiert eine tote Zone (Abstand zwischen letztem Bodenwellenteil und erstem Raumwellenanteil), in der kein Empfang möglich ist.

Frequenzbereich: 3 - 30 MHz (Kurzwellen).

## 2.3. Funkverbindung mit direktem Strahl

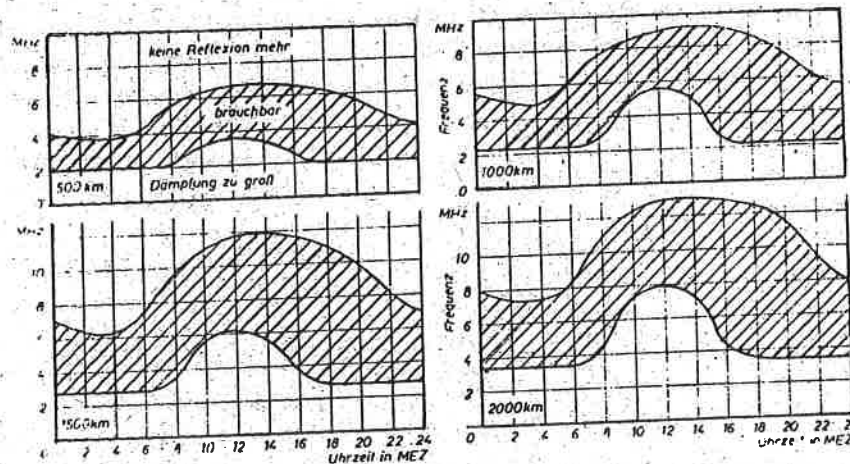
Die Energie der Wellen ist wegen der enormen Kurzwelligkeit so groß, daß sie unter jedem Abstrahlwinkel die Atmosphäre durchdringen. Diese Wellen haben also angenähert Lichtcharakter; man spricht von einer sogenannten "quasioptischen Ausbreitung". Die Abstrahlung erfolgt parallel zur Erdoberfläche, so daß eine Abschattung durch Bergzüge erfolgen kann (keinerlei Beugung mehr vorhanden). Die Reichweite ist stark von der Höhe  $h$  des Luftfahrzeuges abhängig und kann anhand folgender Gleichung näherungsweise ermittelt werden:

$$r \approx 4,12 \sqrt{h/m} \quad [\text{km}]$$

(z.B.:  $h \approx 10.000\text{m}$   $\rightarrow$   $r \approx 412\text{ km}$ )

Frequenzbereich: 30 - 300 MHz (UKW-Bereich).

Vorteil: geringe Beeinflussung durch atmosphärische Störungen.



Schematische Darstellung der im Laufe eines Tages zur Überbrückung verschiedener Entfernungen günstigsten Frequenzbereiche

## 2.4. Schwund (Fading)

Erscheinung: Schwankung der Feldstärke (und damit der Lautstärke) am Empfangsort.

Ursache: Interferenz zweier Raumwellen (Fernschwund) oder einer Raumwelle und einer Bodenwelle (Nahschwund).

Dämmungseffekt:

Tritt vorrangig im Mittelwellenbereich (300 - 3000 KHz) auf.

In diesem Frequenzbereich ist ein ausgeprägter Bodenwellenanteil vorhanden. Durch die nur tagsüber vorhandene D-Schicht ( $h \approx 80$  km) wird der Raumwellenanteil absorbiert. In der Dämmerung wird diese Schicht abgebaut, und die Raumwelle tritt verstärkt auf. Durch Überlagerung beider Wellenanteile kann es zu starken Schwankungen der Feldstärke am Empfangsort kommen.

NDB-Peilungen mittels Funkkompaß können damit - zeitlich begrenzt - sehr ungenau werden.

## 3. Modulation

### 3.1. Notwendigkeit, Prinzip

Um das Fernfeld einer Antenne wirksam erregen zu können, muß die Beziehung zwischen der Antennenlänge  $l$  und der Wellenlänge  $\lambda$  der abgestrahlten Welle von mindestens  $l = \frac{\lambda}{4}$  eingehalten werden. Gemäß der Beziehung  $\lambda = \frac{c}{f}$  ergibt sich für ein NF-Signal mit  $f_{NF} = 1$  KHz die Wellenlänge  $\lambda$  zu 300 km und  $l$  somit zu 75 km! Bei  $f_{HF} = 100$  MHz wird  $\lambda = 3$  m und  $l = 75$  cm. Dem hochfrequenten Träger  $f_{HF}$  wird daher das niederfrequente Signal  $f_{NF}$  aufmoduliert. Gemäß der allgemeinen Gleichung für eine sinusförmige Schwingung  $u = \hat{u} \sin(\omega t)$  kann die Amplitude ( $\hat{u}$ ) oder aber auch die Frequenz ( $\omega = 2\pi f$ ) im Takt der NF beeinflusst werden.

$\hat{U} = f(f_{NF})$ : Amplitudenmodulation (AM)

$\omega = f(f_{NF})$ : Frequenzmodulation (FM)!

### 3.2. Amplitudenmodulation

Erzeugungsprinzip:

(s. Abb. "Erzeugung von Überlagerungs- und Modulationsschwingungen")

Spektrum: Im Ergebnis der AM entsteht ein oberes Seitenband mit den Begrenzungen  $f_{HF} + f_{NF \text{ Min.}}$  und  $f_{HF} + f_{NF \text{ Max.}}$  und ein unteres Seitenband mit den Begrenzungen:  $f_{HF} - f_{NF \text{ Min.}}$  und  $f_{HF} - f_{NF \text{ Max.}}$ . Diese Seitenbänder liegen symmetrisch zum HF-Träger, beinhalten jeweils den gesamten Nachrichteninhalt (Unterdrückung eines Seitenbandes möglich  $\rightarrow$  SSB-Technik!) und nehmen insgesamt maximal (bei einem Modulationsgrad  $m = 100\%$ ) die Hälfte der senderseitigen HF-Energie auf ( $1/4$  der Energie also für ein Seitenband!).

SSB (Single-Side-Band: Einseitenband)

Da der komplette Nachrichteninhalt in einem Seitenband enthalten ist, kann eines der beiden Seitenbänder unterdrückt werden. Dadurch erhält das verbleibende Band senderseitig mehr HF-Energie.

Vorteile: größere Reichweite, geringer Bandbreitebedarf, geringere Schwundauswirkungen.

Die Bandbreite beträgt bei AM also nur:  $B = 2 \times f_{NF \text{ Max.}}$ !

Im Gegensatz zur FM mit  $B = 2 \times 6 \times f_{NF \text{ Max.}}$ !

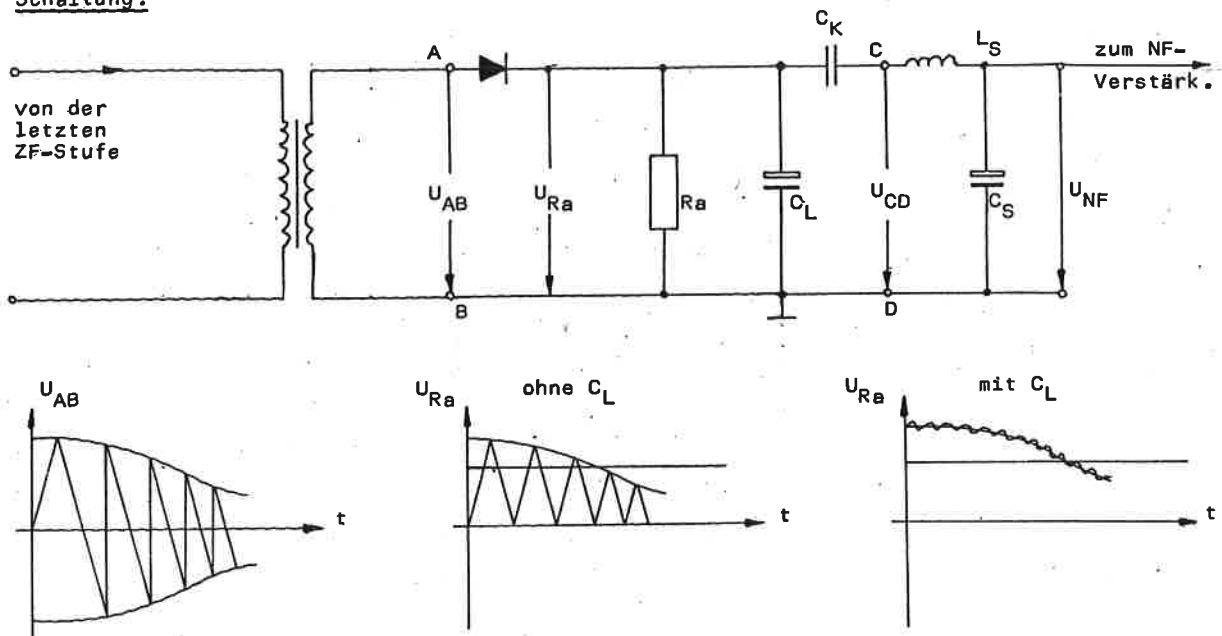
Um den geforderten Kanalabstand beim Flugfunksprechverkehr von 50 KHz (bzw. 25 KHz) zu gewährleisten, muß trotz Abstrahlung im UKW-Bereich daher mit AM gearbeitet werden!

Darstellung des Spektrums: s. Abb. "Spektrum".

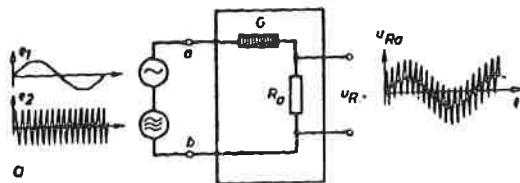
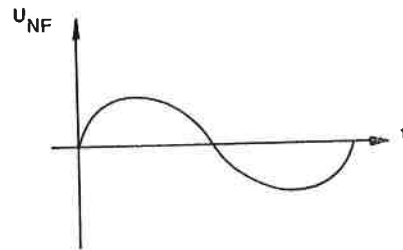
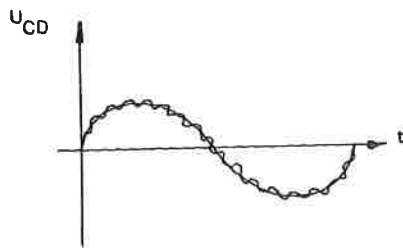
### 3.3. Amplitudendemodulation

Prinzip: Rückgewinnung der Einhüllenden des HF-Trägers

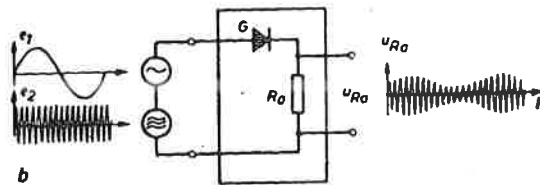
Schaltung:



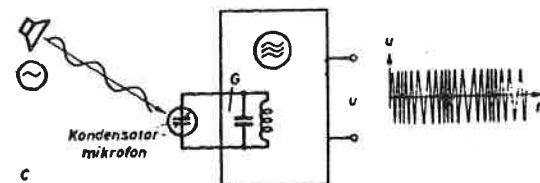
In der Spannung  $U_{Ra}$  ohne  $C_L$  sind also direkt nach der Gleichrichtung ein HF-, ein NF- und ein Gleichspannungsanteil enthalten. Zur Signalgewinnung ( $U_{NF}$ ) wird die HF durch  $C_L$  und die Gleichspannung durch  $C_K$  beseitigt. In der AVR-Schaltung wird dagegen der HF- und der NF-Anteil beseitigt!



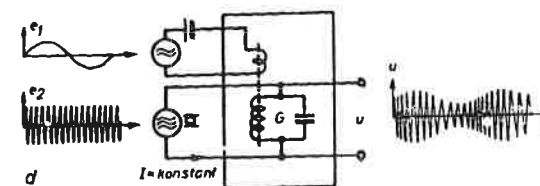
Überlagerung,  
wenn  $G$  konstant ist



Amplitudenmodulation,  
wenn  $G$  ein veränderbarer Wirk-  
widerstand, z. B. ein Gleichrich-  
ter, ist



Frequenzmodulation,  
wenn  $G$  ein steuerbarer Blind-  
widerstand, z. B. eine Kapazität  
ist



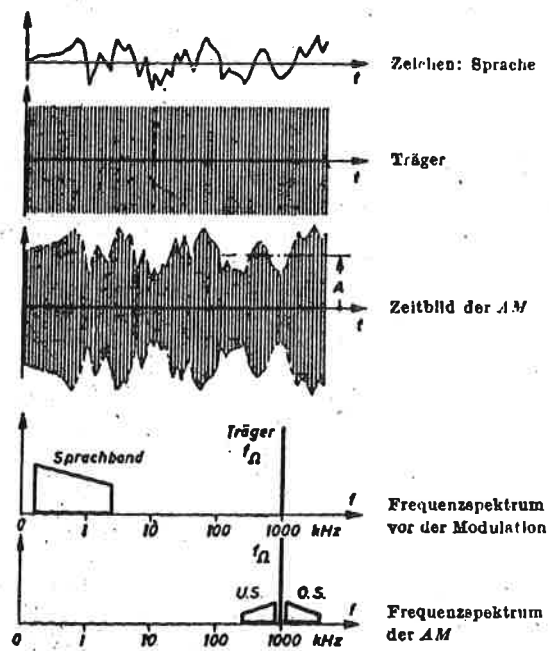
Phasenmodulation,  
wenn hochfrequenter Quarzgenera-  
tor auf Schwingkreis mit steuer-  
barer Induktivität arbeitet  
(Die gleichzeitige AM ist un-  
erwünscht)

### Überlagerung und Modulation

a) Überlagerung  
d) Phasenmodulation

b) Amplitudenmodulation

c) Frequenzmodulation



Zeitbild und Frequenzspektrum einer mit Sprache amplitudenmodulierten Schwingung

## UKW-Funkanlage "Landysch"

### 1. Verwendung

Aussendung und Empfang von Signalen im UKW-Frequenzbereich.

### 2. Bedienung

Am Fernbedienteil der Anlage befinden sich die Bedienelemente: zwei Frequenzumschaltknöpfe, Kippschalter des Rauschunterdrückers, Lautstärkeregler, zwei Lampen für die Pultausleuchtung.

### 3. Daten (20 W - Variante)

Frequenzbereich: 118,0 bis 136,975 MHz

Frequenzabschnitt: 25 kHz, Kanalanzahl: 720

Frequenzstabilität der Anlage:  $35 \cdot 10^{-6}$

Sendeleistung: 20 W

Modulationsgrad des Senders bei einer Modulationseingangsspannung von 0,3 V und einer Signalfrequenz von 1 kHz:  $m = 80 \%$

Empfindlichkeit des Empfängers ( $m = 30 \%$ ,  $f = \text{kHz}$ ) bezogen auf ein Signal-Rausch-Verhältnis am Ausgang von 3 : 1: mindestens 3  $\mu\text{V}$

Ansprechwelle des Rauschunterdrückers: 3  $\mu\text{V}$

Bandbreite des Empfängers bei einer Signalabschwächung von 6 dB: mindestens 40 KHz

Ausgangsspannung des Empfängers, wenn am Eingang ein Signal von 20  $\mu\text{V}$  ( $m = 60 \%$ ,  $f = 1 \text{ kHz}$ ) angelegt wird:

- mindestens 50 V (bei hochohmigen Kopfhörern)

- mindestens 8,5 V (bei niederohmigen Kopfhörern)

Spannungsveränderung am Empfängerenausgang im Bereich der Eingangssignale von 10  $\mu\text{V}$  bis höchstens 0,1 V: 6 dB

Leistungsaufnahme: - bei Empfang

- +27 V; max. 80 W; 115 V; 7 VA

- bei Sendung

- +27 V; max. 250 W; 115 V; max. 50 VA

Bis  $U = \geq 23 \text{ V}$  Bordspannung ist ein Notbetrieb möglich.

Vorwärmzeit: 2; während dieser Zeit nicht senden, Empfang möglich!

### 4. Wirkungsweise

#### 4.1. Allgemeines

Die Funkanlage arbeitet mit Amplitudenmodulation im Simplexbetrieb. Die Anlage ist in Transceiver-Schaltung aufgebaut, d. h., bestimmte Baugruppen (Verstärker, Oszillatoren) arbeiten im Sende- wie im Empfangsbetrieb (s. Blockschaltbild).

Die Wahl der erforderlichen Frequenz und die Umstimmung der Schwingkreise erfolgt elektronisch (Diodenmatrize), d. h., es befinden sich in der Anlage keinerlei elektromechanische Baugruppen.

Die Frequenzstabilität der Anlage wird durch Quarzgeneratoren gewährleistet. Bis auf den Leistungsverstärker des Senders besteht die gesamte Anlage (hinsichtlich der aktiven Bauelemente) aus Transistoren.

Die Anlage ist in folgende Funktionsblöcke unterteilt:

Block 1: HF-Verstärker des Empfängers, Senders und des 1. Oberlagerers

Block 2: ZF-Verstärker, NF-Verstärker, Rauschunterdrücker

Block 3: Dioden-Matrize für elektronische Frequenzwahl (MEP)

Block 4, 5, 6: Grob-Mittel-Feinrastergenerator

Block 7: HF-Leistungsverstärker des Senders

Block 8: Modulator

Block 9: Stromversorgungsteil

Block 10, 11, 12: Gehäuse, Dämpfungsrahmen und Bedienteil.

#### 4.2. Empfänger der Funkanlage (s. Abb. "Blockschaltbild")

Über das Antennenrelais gelangt das Eingangssignal nach einer Vorselektion in den zweistufigen HF-Verstärker ( $B = 1 \text{ MHz}$ ). Das verstärkte HF-Signal wird in der 1. Mischstufe mit dem Signal des 1. Oberlagerers gemischt. Dieses Oszillatorsignal wird wiederum durch Mischung der Frequenzen des Grob- und des Mittelrastergenerators gewonnen und anschließend verstärkt und gefiltert. Es liegt im Frequenzbereich von 102,995 bis 120,895 MHz im 100 kHz-Raster. Gemäß der Beziehung:  $f_{ZFI} = f_{HF} - f_{Osz.I}$  wird in der 1. Mischstufe die erste Zwischenfrequenz von 15,005 bis 15,08 MHz gebildet. Nach entsprechender Filterung dieser  $f_{ZFI}$  erfolgt in der 2. Mischstufe die Bildung der zweiten ZF durch Überlagerung mit der Frequenz des Feinrastergenerators von 13,405 - 13,48 MHz (25 kHz-Raster).

Es gilt:  $f_{ZFII} = f_{ZFI} - f_{Osz.II} = 1,6 \text{ MHz}$ . Dieses Signal wird in einem Bandfilter mit einer Bandbreite von 40 kHz gefiltert und anschließend in einem dreistufigen ZF-Verstärker verstärkt.

Das demodulierte Signal wird über den Diodenschalter des Rauschunterdrückers an den dreistufigen NF-Verstärker gelegt und zu den Kopfhörern weitergeleitet. Vom Ausgang des ZF-Verstärkers wird das Signal gleichzeitig an die Demodulatoren der automatischen Verstärkungsregelung und des Rauschunterdrückers gelegt.

Im Demodulator der AVR wird in Abhängigkeit von der Amplitude des Eingangssignals ein Gleichspannungssignal gewonnen, welches nach Verstärkung im Gleichstromverstärker der AVR an die Verstärkungsstufen im HF- und ZF-Verstärker gelegt wird. Dieses Signal regelt die Verstärkung dieser Stufen (Arbeitspunktverlagerung) und gewährleistet die weitgehende Konstanthaltung des Ausgangssignals (s. Daten).

Nach Filterung des Signals (Durchlassen des höheren NF-Spektrums des Rauschens, Abschwächung der Nutzsinalkomponenten) gelangt das Rauschsignal vom Rauschunterdrücker zu einer Vergleichsschaltung, wo es mit dem Pegel des Nutzsignals (Zwischenfrequenz) verglichen wird. Bei einem Signal-Rausch-Verhältnis von weniger als 3 wird von der Vergleichsschaltung ein Steuersignal (Gleichspannung) über den Trigger auf den Diodenschalter gegeben, welches dann den NF-Teil des Empfängers abschaltet.

Der Diodenschalter schaltet damit in Abhängigkeit vom festgelegten Pegel des Signal-Rausch-Verhältnisses den NF-Verstärker an den Demodulatorausgang an oder ab. Die gesamte Schaltung zur Rauschunterdrückung kann vom Bedienteil her ein- oder ausgeschaltet werden.

#### 4.3. Sendeteil der Funkanlage (s. Abb. "Blockschaltbild")

Im Sendeteil der Anlage erfolgt die Formierung des Frequenzrasters, die Vorverstärkung des HF-Signals, die Leistungsverstärkung und die Modulation des Ausgangssignals. Zur Formierung des Frequenzrasters des Senders wird die Frequenz des ersten Oberlagerers, der sowohl für den Empfänger als auch für den Sender arbeitet, mit einem Bereich von 102,995 bis 120,895 kHz (im 100 kHz-Raster) verwendet.

Die Spannung des ersten Oberlagerers wird mit der Spannung des Feinrastergenerators in der Sendermischstufe gemischt; d. h. miteinander zur endgültigen Sendefrequenz mit der erforderlichen Stabilität kombiniert. In Abhängigkeit vom eingestellten Kanal gibt der Feinrastergenerator eine der vier Frequenzen von 15,005 bis 15,08 MHz ab, wobei der Frequenzabstand jeweils 25 kHz beträgt. Die Sendefrequenz wird damit gemäß der Beziehung:

$$f_S = f_{Osz.I} + f_{Feinraster} = 118 \dots 135,975 \text{ MHz}$$

gebildet.

Nach Filterung der HF-Spannung in einem Bandfilter ( $B = \text{Signalfrequenz der Anlage}$ ) erfolgt die Verstärkung in einem sechsstufigen HF-Verstärker. Nach weiterer Siebung erfolgt die Leistungsverstärkung des HF-Signales in einem vierstufigen Senderverstärker. Hier wird das hochfrequente Signal gleichzeitig in der Amplitude im Takt der niederfrequenten Schwingung, welche über den Modulator herangeführt wird, moduliert. Eine automatische Modulationsregelung (AMR) verändert den Verstärkungsgrad des Modulators in Abhängigkeit von der Amplitude des NF-Eingangssignales und gewährleistet, daß der Modulationsgrad des Senders annähernd konstant bleibt ( $m = 80 \% \text{ als max. Grenzwert}$ ).

Das amplitudenmodulierte Signal wird über ein Filter (Tiefpaß zur Unterdrückung der harmonischen Komponenten - Oberwellen - der Trägerfrequenz) und das Antennenrelais in das Antennensystem eingespeist.

Gleichzeitig gelangt ein Teil des HF-Signales vom Ausgang des Leistungsverstärkers an den Mithördetektor zur Gewinnung eines niederfrequenten Mithörsignals, welches im NF-Verstärker der Anlage verstärkt und beim Senden im Kopfhörer zur Kontrolle hörbar gemacht wird. Beim Regime "Senden" wird die Speisung von den Empfängerstufen abgenommen und an die Sendestufen gelegt.

#### Bedienungshinweise

1. Die Abstimmung der Frequenzen der Quarzgeneratoren erfolgt folgendermaßen:

- Wahl der Frequenz in den Grenzen des gesamten Bereiches mit einer Genauigkeit bis zu 1 MHz (Umschalter des Grobrasters = linker Frequenzwahlknopf am Bedienteil).
- Wahl der Frequenz im Bereich 1 MHz mit einer Genauigkeit von 100 kHz (Umschalter des Mittelrasters = rechter Frequenzwahlknopf).
- Wahl der Frequenz im Bereich von 100 kHz mit einer Genauigkeit bis zu 25 kHz (Umschalter des Feinrasters = rechter Frequenzwahlknopf).

2. Die elektronische Umstimmung der HF-Schwingkreise (Filter) des Senders und Empfängers erfolgt in Abhängigkeit von der Schalterstellung der o. g. Frequenzwahlknöpfe über die Diodenmatrize. Diese Matrize formiert Gleichspannungsteuersignale, welche den Kapazitätswert von Varicap-Dioden entsprechend verändern.

3. Die Endstufen des Senders werden mit Hilfe eines Ventilators luftgekühlt. Der Ventilator wird aus dem 115 V-Wechselstromnetz gespeist. Fehlen diese 115 V, spricht eine Schutzschaltung an und der Sender kann nicht in Betrieb genommen werden. Ein Empfang ist mit der Anlage weiterhin möglich.

4. Die UKW-Anlagen werden am Paneel des 2. Piloten eingeschaltet.



## UKW-Funkanlage "LOTOS"

### 1. Aufgabe

Durchführung von Funkgesprächverbindungen per Telefonie mit Bord- und Bodenstationen

### 2. Bestandteile

- Sender/Empfänger
- Stützfrequenzgeber des Senders und Empfängers
- Abstimmmechanismus des Empfängers
- Abstimmmechanismus des Senders
- Netzteil des Senders und Empfängers

### 3. Wirkungsprinzip

#### 3.1. Sender

Zur Erzeugung des entsprechenden Feinrasters in der Frequenzaufbereitung stehen ein Grob- und ein Feinrasteroszillator zur Verfügung, die ihre Spannungen auf einem Mischer geben. Die Trägerfrequenzen des Senders werden durch den 1. und 2. HF-Verstärker sowie durch die Treiberstufe (Bereitstellung der Leistung zur Ansteuerung der Endstufe) verstärkt und auf die Endstufe gegeben. In der Endstufe (Leistungsverstärker) erfolgt die Modulation der hochfrequenten Trägerschwingung durch die niederfrequente Signalschwingung. Ein Tiefpaßfilter schwächt die bei der Mischung entstehenden Oberwellen und verhindert somit ihre Abstrahlung. Über einen Mithörsdetektor ist eine Kontrolle des ausgesandten Signals möglich (Selbstkontrolle erfolgt laufend, d. h. ohne Betätigung eines Schalters!).

#### 3.2. Empfänger

Prinzip: Superheterschaltung mit doppelter Frequenzumsetzung!

Nach einer Vorselektion wird das hochfrequente Empfangssignal in zwei Mischstufen in ein stets konstantes ZF-Signal umgewandelt und demoduliert. Das demodulierte Signal wird über den Diodenschalter des Rauschunterdrückers an den NF-Verstärker gelegt und zu den Kopfhörern weitergeleitet. Vom Ausgang des ZF-Verstärkers wird das Signal gleichzeitig an den Demodulator der automatischen Verstärkungsregelung (AVR-Detektor) gelegt. Im AVR-Detektor wird in Abhängigkeit von der Amplitude des Eingangssignals ein negatives Gleichspannungssignal gewonnen, welches nach entsprechender Verstärkung an die Stufen im HF- und ZF-Verstärker gelegt wird.

Dieses Signal regelt die Verstärkung dieser Stufen (Arbeitspunktverlagerung) und gewährleistet damit eine weitgehende Konstanthaltung des Ausgangssignals (s. Daten).

Der Signaldetektor ist eine Vergleichsschaltung, in der der Pegel des Nutzsignals (ZF) mit dem Pegel des Rauschsignals verglichen wird.

Bei einem Signal-Rausch-Verhältnis von weniger als 3 wird von der Vergleichsschaltung ein Steuersignal auf den Diodenschalter gegeben, welches dann den NF-Teil des Empfängers abschaltet bzw. beim Überschreiten des Pegels zuschaltet. Die Schaltung zur Rauschunterdrückung kann vom Bedienpult her ein- oder ausgeschaltet werden.

### 4. Bedienung (hierher Abb. "Bedienpult der Anlage")

- Einschalten der Anlage über die entsprechenden Sicherungen und die Kippschalter am Paneel des 2. Piloten
- Wahl einer der 1040 Festfrequenzen
  - (1): KHz-Einstellung
  - (2): MHz-Einstellung
- Umschaltung der Anlage auf Senden bzw. Empfang (SPU-Anlage bzw. gesonderte Sendetaste)
- Lautstärkeregelung (3)
- Ein- und Ausschaltung der Rauschunterdrückung (4)
- Bandbreitenregelung (5) (ohne Bedeutung)

- Umschaltung der Betriebsart "Simplex-Duplex" (6)  
Praxis: Simplexbetrieb
- Tableaueausleuchtung (7) (Bedienpoti)

#### 5. Technische Daten

- Frequenzbereich:
- Kanalanzahl:
- Kanalabstand:
- Stabilität:  $\frac{\Delta f}{f_0} = \pm 35 \cdot 10^{-6}$

100 - 151,95 MHz

1040

50 KHz

z. B.  $f_0 = 100$  MHz

$\Delta f = \pm 3,5$  KHz

$f_0 = 150$  MHz

$\Delta f = \pm 5,25$  KHz

- Übergangszeit von einer Frequenz auf die andere:
- Übergangszeit vom Empfang auf Sendung und umgekehrt:
- Zeit für Herstellung der Betriebsbereitschaft:
- Empfindlichkeit  
(bei einem Signal-Rauschverhältnis):
- Ausgangsspannung
- Eingangsspannung  
( $f = 1$  KHz ;  $m = 30$  %)
- Sendeleistung:
- Reichweite:
- Flughöhe 1 km 120 km
- " 5 km 230 km
- " 10 km 412 km

5 s

0,5 s

etwa 10'

2  $\mu$ V

2 : 1

15 V

5  $\mu$ V

18 W

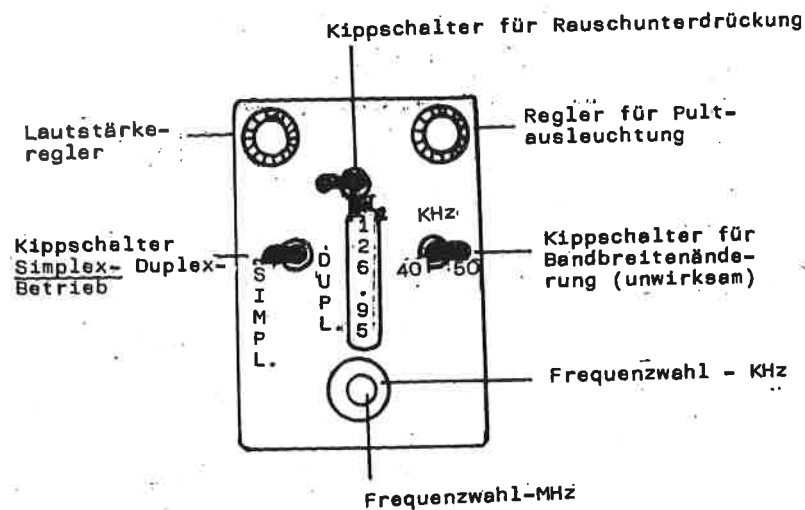
gemäß der Beziehung:

$$\frac{r}{\text{km}} \approx 4,12 \sqrt{\frac{h}{m}}$$

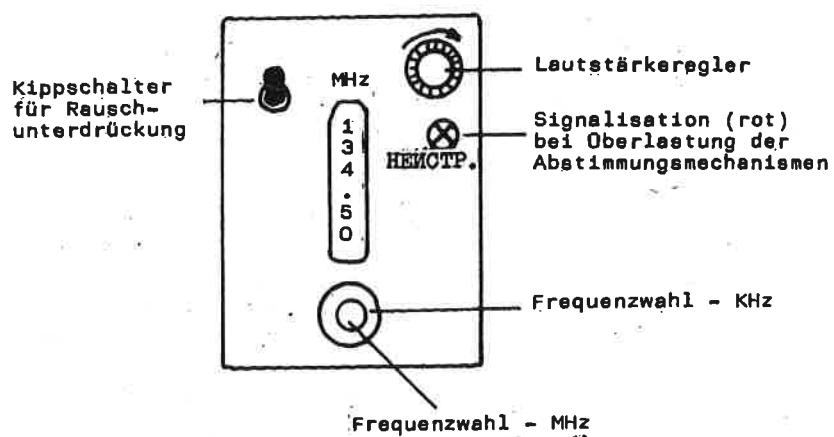
ermittelbar

Bei einer Spannung von  $(+27 \pm 3)$  V kann noch mit Normleistung gerechnet werden.  
Bei  $U \approx 20$  V (maximal zulässige Abweichung!) beträgt die Sendeleistung etwa 8 W!

## 1. Variante



## 2. Variante



Bedienpulte - LOTOS

## KW-Sender "R-836" (Neon)

### 1. Daten

|                                                                               |             | <u>Abstand</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------|----------------|
| Frequenzbereich:                                                              | 1,5 - 3 MHz | 1 KHz          |
| (Festlegung der Zwischenfrequenzen per Interpolationsverfahren (bodenseitig)) | 3 - 6 MHz   | 2 KHz          |
|                                                                               | 6 - 12 MHz  | 4 KHz          |
|                                                                               | 12 - 24 MHz | 8 KHz          |
| Sendeleistung:                                                                |             |                |
| Telegrafiebetrieb:                                                            | 3 - 24 MHz  | 250 W          |
|                                                                               | 1,5 - 3 MHz | 80 W           |
| Telefoniebetrieb:                                                             | 2 - 24 MHz  | 60 W           |
|                                                                               | 1,5 - 2 MHz | 50 W           |

Umstimmzeit gerasteter Frequenzen: max. 20 s

Anzahl der vorher abstimmbaren Frequenzen: 18

Betriebsdauer: - 5' Betrieb } 24 h  
                  - 10' Pause }  
                  - kontinuierlicher Telefoniebetrieb: 30'

Frequenzkonstanz:  $1 \cdot 10^{-4}$

Arbeitsspannungen: 115 V  $\pm 10\%$ , 400 Hz  $\pm 10\%$   
                      27 V  $\pm 10\%$

Leistungsaufnahme: Wechselstromnetz: max. 1,5 KVA  
                      Gleichstromnetz: max. 400 W

Der Sender ist 2' nach dem Einschalten mit vermindelter und 20' danach mit der vorgesehenen Frequenzkonstanz einsatzfähig!

### 2. Verwendung

Der Sender ist zur Gewährleistung der Funkverbindung im Bereich von 1,5 bis 24 MHz bestimmt.

### 3. Baugruppen und deren prinzipielle Aufgabe

Das Zusammenwirken der einzelnen Bauteile ist aus der Abb. "Blockschaltung des Senders" ersichtlich.

#### - Steuerstufe

Erzeugung einer beliebigen Frequenz (gemäß Kanalabstand der Unterbereiche) im Bereich von 1,5 bis 24 MHz, Einstellung und Korrektur der Sendefrequenz

#### - Endstufe

Bremsgittermodulation im Telefoniebetrieb, Speisung der Antenne mit der erforderlichen Sendeleistung, Abstimmung des Antennenkreises

#### - Bediengerät

Einstellung des Telefonie- oder Telegrafiebetriebes, Sendung mittels Morsetaste oder Modulation vom Mikrophon, Mithörkontrolle des eigenen Sendebetriebs über hochohmige Kopfhörer

#### - Modulator

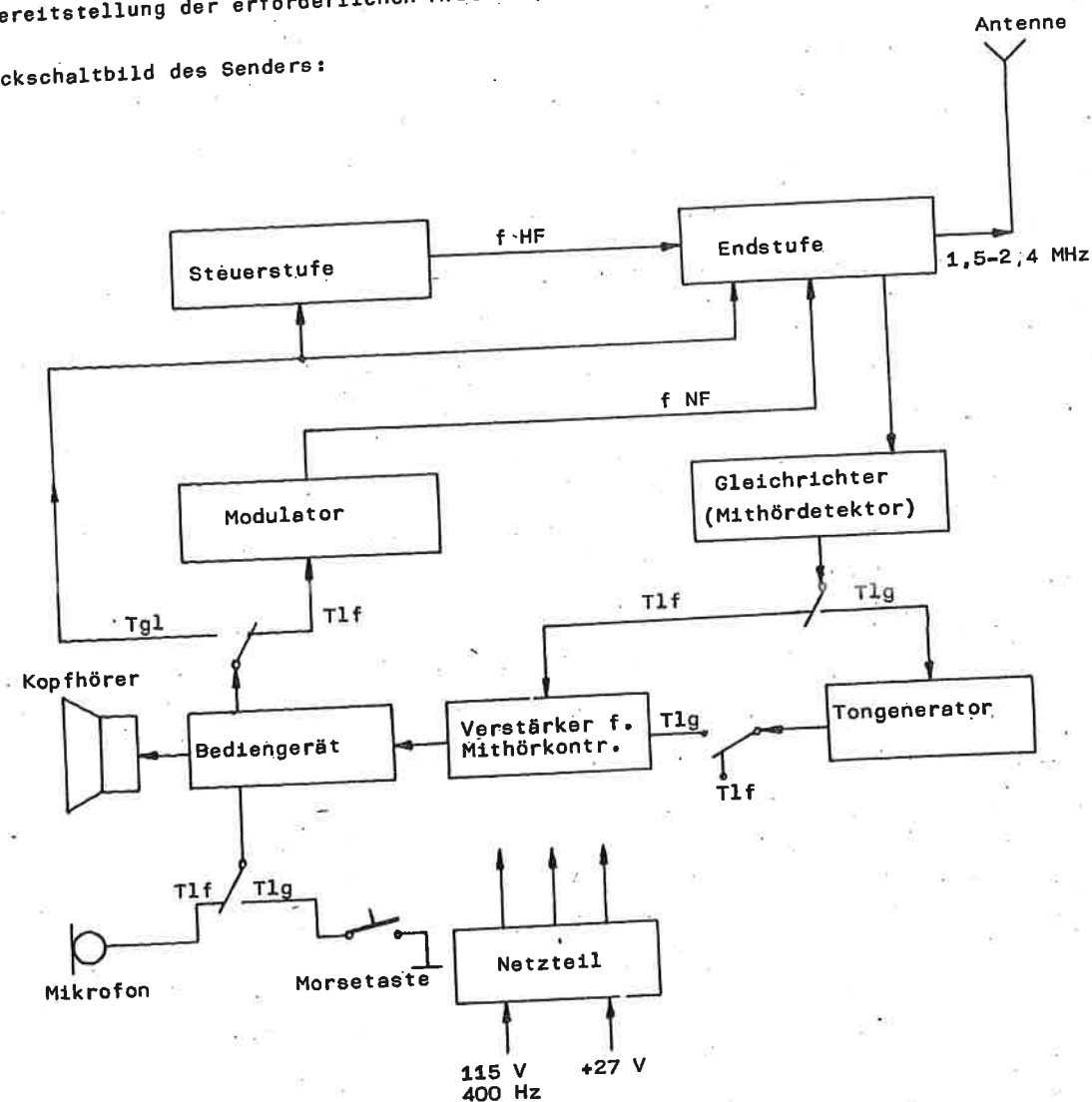
Anpassung der Signalspannung an die Endstufe zwecks Amplitudenmodulation beim Telefoniebetrieb

#### - Gleichrichter (Mithördetektor)

Gleichrichtung eines Teiles des HF-Signales vom Senderausgang und Übertragung auf den Verstärker der Mithörkontrolle im Telefoniebetrieb oder auf den Tongenerator im Telegrafiebetrieb

- Tongenerator  
Öffnung bei einem bestimmten Pegel durch den Gleichrichter, Erzeugung einer Tonfrequenz von 80 bis 1200 Hz für die Mithörkontrolle des Telegrafiebetriebes
- Verstärker der Mithörkontrolle
- Netzteil  
Bereitstellung der erforderlichen Arbeitsspannungen

Blockschaltbild des Senders:



#### 4. Bedienung beim Einsatz im Flugzeug

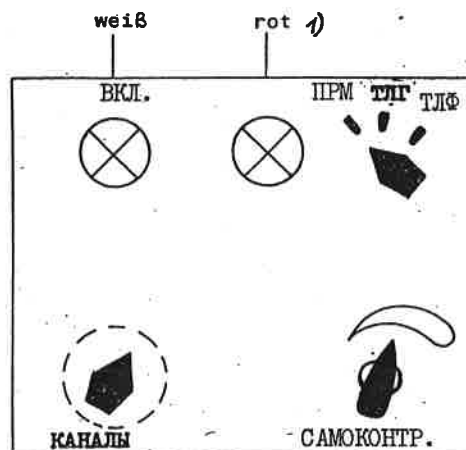
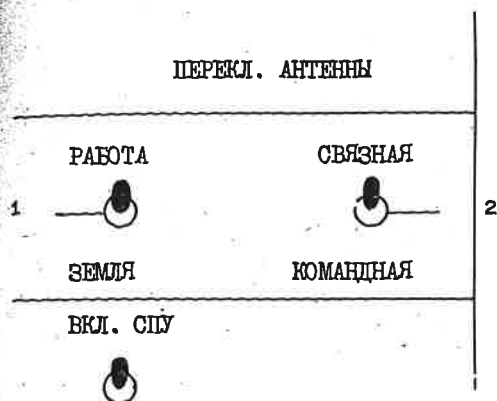
Die Abstimmung des Senders auf vorgegebene Frequenzen erfolgt nach einem bestimmten Algorithmus anhand von Eich Tabellen.

Der Übergang vom Empfang auf Sendung, von Telefonie- auf Telegrafiebetrieb, von einer Frequenz auf eine andere erfolgt von den Bediengeräten Block B 6 oder B 7 aus (→ "Ergänzung" im Anhang). Die Einstellung der Lautstärke des Signale in den Kopfhörern wird mit dem Potentiometer "Mithörkontrolle" durchgeführt.

# Ergänzung

1. Die Einschaltung der Sender "NEON 1/2" erfolgt am Paneel des 2. Piloten durch Betätigung der Kippschalter "СВЯЗНАЯ - КВ" → "NEON-1" und "КОМАНДНАЯ - КВ" → "NEON-2"

2. Bedienpult



Beim Empfang bzw. Sendung mit der Anlage muß der Schalter 1 auf "РАБОТА" stehen (Antenne wird damit zugeschaltet). Steht der Schalter 2 auf "СВЯЗНАЯ", sind der Sender "NEON 1" und der Empfänger "RPS" (SPU-Pult: "CP") entsprechend zugeschaltet; in der Stellung "КОМАНДНАЯ" ist dagegen der Sender "NEON 2" und der Empfänger "US-8" (SPU-Pult "KP") zugeschaltet.

Die Abkürzungen "CP" und "KP" sind bei einigen SPU-Bedienpulten statt "KBI" und "KBII" noch vorhanden.

- 1) Lampe leuchtet auf, wenn eine Frequenz direkt am Senderblock eingestellt wird (Neubelegung eines Kanals). Am obigen Bedienpult kann dann keine Frequenz eingestellt werden.

## Funkempfangsanlage RPS

### 1. Verwendungszweck

Der Empfänger ist für den Empfang von Telefonie- und Telegrafiesignalen im Lang-, Mittel- und Kurzwellenbereich bestimmt.

### 2. Technische Daten

#### 2.1. Teilbereiche

|                 |                 |
|-----------------|-----------------|
| 1. Teilbereich: | 143 bis 280 kHz |
| 2. "            | 280 " 600 kHz   |
| 3. "            | 2 " 4 MHz       |
| 4. "            | 4 " 7 MHz       |
| 5. "            | 7 " 12 "        |
| 6. "            | 12 " 18 "       |
| 7. "            | 18 " 24 "       |

#### 2.2. Empfindlichkeit

Die Empfindlichkeit des Empfängers bei einer Ausgangsspannung von 15 V und einer Rauschspannung von max. 5 V muß

- im Lang- und Mittelwellenbereich

Telefoniebetrieb: mindestens 10  $\mu$ V

Telegrafiebetrieb: " 4  $\mu$ V

- im Kurzwellenbereich

Telefoniebetrieb: mindestens 4  $\mu$ V

Telegrafiebetrieb: " 1,5  $\mu$ V

betragen.

#### 2.3. Bandbreite

B = 5 kHz (6 dB-Abfall) Quarzfilter ausgeschaltet

B = 3 kHz (6 dB-Abfall) Quarzfilter eingeschaltet

Bei eingeschaltetem Quarzfilter kann die Bandbreite gleichmäßig von "schmal" bis "breit" verändert werden.

#### 2.4. Stromversorgung

- Arbeitsspannung: 115 V/400 Hz

- max. Leistungsaufnahme: 70 VA

### 3. Arbeitsprinzip

Im Empfänger ist eine Hand- und eine automatische Empfindlichkeitsregelung (**PPV** und **APV**) sowie eine Tonhöhenregelung der unmodulierten Telegrafiesignale und ein Quarzfilter mit einstellbarer Bandbreite vorhanden.

Die Handregelung erfolgt bei eingeschalteter **PPV**, bei Einstellung des Kippschalters auf **APV** erfolgt die automatische Lautstärkeregelung. Die Empfängerbreite in der Zwischenfrequenz kann konstant oder einstellbar sein, je nachdem, ob das Quarzfilter ein- oder ausgeschaltet ist (s. dazu Angaben unter Pkt. 2.3.). Der Eingangskreis, die Stromversorgung und die Eiv.-Anlage sind vor hochfrequenten Störungen durch Drosseln geschützt.

Der Empfang von Telefonesignalen ohne Störungen erfolgt ohne Quarzfilter, der Empfang von Telegrafie- und Telefonesignalen unter starken Störbedingungen erfolgt mit Quarzfilter. Im Empfänger ist eine Kontrolle der Anodenströme und der Spannungen vorgesehen. Der Empfänger ist für den Betrieb mit zwei Paar hochohmigen Kopfhörern ausgelegt.

#### 4. Bedienung

##### 4.1. Erläuterung des Bedienpultes (siehe dazu die entsprechende Abb.)

- 1 - Einstellknopf für den Überlagerungston (Änderung der Frequenz des 2. Oszillators)
- 2 - Bereichsschalter
- 3 - Kippschalter für die Einstellung der Empfindlichkeitsregelung von Hand oder automatisch:  
"APV - PPV"
- 4 - Kontrollschalter des Gerätes
- 5 - Antennenknopf (Abstimmung des Empfängereingangs durch Änderung der Kapazität des Eingangskreises, im Regime "PPV" voll wirksam!)
- 6 - Anschlußklemme der Antenne
- 7 - Instrument zur Anzeige der Kontrollparameter
- 8 - Bereichsskala
- 9 - Skalenkorrektur (zur Versetzung der Blende)
- 10 - Skalenbeleuchtung
- 11 - Schalter zum Einschalten des Quarzfilters
- 12 - Kippschalter zum Einschalten des Empfängers (Einschalten der Stromversorgung)
- 13 - Sicherung
- 14 - Stromversorgungsanschluß (Buchse)
- 15 - Erdungsklemme
- 16 - Buchsen für Kopfhöreranschluß
- 17 - Einstellung der Quarzfilterbandbreite (Änderung der Bandbreite im Verstärkerkanal für die Zwischenfrequenz)
- 18 - 2 Abstimmknöpfe zur Grob- und Feineinstellung der Frequenz
- 19 - Einstellknopf für die Lautstärke
- 20 - Kippschalter zur Eichung des Gerätes (Eichpunktgeber)
- 21 - Kippschalter "TIV - TII" (Einschalten des 2. Oszillators für den Empfang von unmodulierten Schwingungen).

##### 4.2. Bedienvorgang

###### 4.2.1. Empfang von Telefonesendungen

Kippschalter "TIV - TII" auf "TIV" stellen, am Bereichsschalter den erforderlichen Teilbereich einstellen, mit dem Grobabbstimmknopf die entsprechende Frequenz auf der Skala einstellen, mit dem Feinabbstimmknopf den Empfänger auf den Teilnehmer genau abstimmen, mit dem Antennenabbstimmknopf die maximale Lautstärke einstellen, den Lautstärkeregelersprechend bedienen, bei starker Änderung der Signalstärke auf automatische Regelung umschalten (Kippschalter in Stellung "APV" bringen). Empfehlung! Suchen der Station nur bei Handregelung der Lautstärke vornehmen, bei Empfang unter Störbedingungen Quarzfilter einschalten.

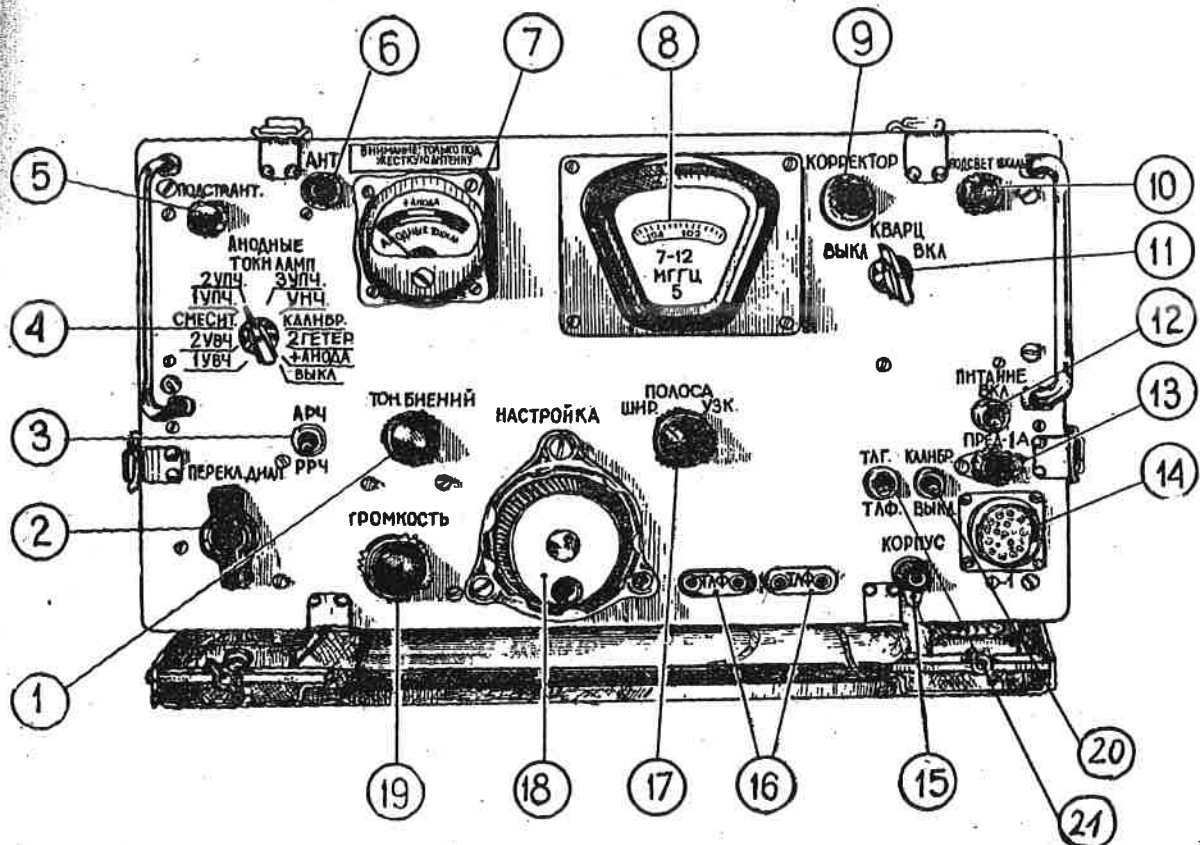
###### 4.2.2. Empfang von Telegrafiesendungen

Kippschalter "TIV - TII" auf "TII" stellen, Quarzfilter einschalten, Bandbreitenregler auf "Breit" stellen, Abstimmung auf die Frequenz des Teilnehmers vornehmen, mit dem Knopf "Überlagerungston" den gewünschten Signalton einstellen, Trennschärfe des Empfängers durch Drehen des Knopfes "Bandbreite" im Uhrzeigersinn verbessern (Bandbreitenverringern!)

#### 4.2.3. Einschalten des Empfängers

Kippschalter "Stromversorgung" einschalten, gewünschte Skalenbeleuchtung mit dem Knopf "Skalenbeleuchtung" einstellen. Kippschalter "APЧ - PPЧ" auf "PPЧ" stellen, den Knopf "Überlagerungston" auf den Markierungspunkt stellen, den Knopf "Quarz" auf "Ausgesch." stellen,

Schalter "Kalibrierung" (Eichpunktgeber: alle 1 MHz) ausschalten, Umschalter "ТЛГ / ТЛФ" auf ТЛФ (A<sub>3</sub> - Betrieb), Knopf "Lautstärke" aufdrehen.



## Funkempfangsanlage US-8

### 1. Verwendungszweck

Die Anlage ist für den Hörempfang von Telegrafie- und Telefonesignalen im Mittelwellen- und Kurzwellenbereich bestimmt. (Der Kurzwellenbereich ist in vier Unterbereiche geteilt.)

### 2. Technische Daten

#### 2.1. Empfindlichkeit

- Betriebsart "Telefonie"

Wellenbereich 1 :  $\leq 15 \mu V$

Wellenbereiche 1, 2, 3, 4 :  $\leq 6 \mu V$

- Betriebsart "Telegrafie"

Wellenbereich 1 :  $\leq 5 \mu V$

Wellenbereiche 2, 3, 4, 5 :  $\leq 2,5 \mu V$

#### 2.2. Genauigkeit der Frequenzeinstellung

- Wellenbereiche 1, 2, 3, 4 :  $\leq 50 \text{ Hz}$

- Wellenbereich 5 :  $\leq 100 \text{ Hz}$

#### 2.3. Überlappung der Bereiche, Frequenzen

Bereich 1: etwa 2 kHz; 230 - 500 KHz

" 2: " 25 " 2,1 - 3,7 MHz

" 3: " 30 " 3,7 - 6,4 "

" 4: " 50 " 6,4 - 11,3 "

" 5: " 90 " 11,3 - 20,0 "

#### 2.4. Breite der Durchlaßkurve des ZF-Kanals

B = 7,5 kHz (6 dB-Abfall) - Breitbandbetrieb

B = 1 ... 2 kHz (6 dB-Abfall) - Schmalbandbetrieb

#### 2.5. Stromversorgung

- Arbeitsspannungen: 115 V/400 Hz  
+27 V

- Leistungsaufnahme:

Wechselstromnetz: 140 VA

Gleichstromnetz: 10 W (Kanalumschaltung: 180 W)

### 3. Arbeitsprinzip

Das HF-Signal gelangt über den Eingangskreis auf den zweistufigen HF-Verstärker. Durch den Einsatz von drei HF-Schwingkreisen in der Eingangsstufe und im HF-Verstärker wird eine hohe Störsicherheit und Spiegelfrequenzselektivität erreicht. Nach der HF-Verstärkung wird die Frequenz in einer multiplikativen Mischstufe umgesetzt.

In einem auf die ZF von 1035 kHz abgestimmten dreistufigen Verstärker erfolgt die weitere Verstärkung des Signals. Durch insgesamt vier zweikreisige Bandfilter im ZF-Verstärker wird eine hohe Nachbarkanaldämpfung erreicht.

Vom Ausgang des ZF-Verstärkers gelangt das Signal auf die Regelschaltung (automatische Verstärkungsregelung) und auf den Signalgleichrichter. Nach der Demodulation erfolgt die Verstärkung des niederfrequenten Signals in einem entsprechend ausgelegten NF-Verstärker.

Für die Betriebsart "Telegrafie" (tonlos!) ist der 2. Oszillator vorgesehen. Oszillator- und ZF-Spannung werden in diesem Falle zugleich dem Signaldetektor zugeführt. Am Ausgang des Gleichrichters gewinnt man die Differenzfrequenz, die im NF-Verstärker verstärkt wird und schließlich auf die Kopfhörer gelangt.

Die Schaltung der automatischen Verstärkungsregelung arbeitet mit Verzögerung und hält die Ausgangsspannung bei Schwankungen der Eingangsspannung bis zu 0,5 V konstant und gewährleistet darüber hinaus die Unabhängigkeit der Amplitudencharakteristik von der jeweiligen Betriebsart.

#### 4. Bedienung

Einschaltung der Anlage erfolgt durch Wahl einer der möglichen Betriebsarten. Bei gemeinsamem Betrieb mit dem Sender ist der Sende-Empfangsumschalter am Sender auf "Empfang" zu schalten (s. Bedienpult "NEON", Wahlschalter oben rechts). Nach etwa 1 bis 2 Minuten ist das Rauschen hörbar, und die Anlage ist auf die erforderliche Frequenz abzustimmen.

##### 4.1. Empfang von Telefoniesendungen und tonmodulierter Telegrafie

Betriebsartenschalter in die Stellung "ТМ БЕЗ АРЧ" (Telefonie ungeregelt) bringen. Den erforderlichen Wellenbereich einschalten und unter Betätigung der Grobabstimmung die Empfangsfrequenz einstellen. Mittels der Feinabstimmung auf größte Lautstärke in den Kopfhörern abstimmen. Unter wechselseitiger Betätigung des Antennenabstimm Schalters "ПОЯДОТВОЙКА АНТ!" auf maximale Lautstärke abstimmen.

Am Lautstärke- und Verstärkungsregler "РГ РРЧ" den gewünschten Signalpegel einstellen. Soll der Betrieb mit automatischer Verstärkungsregelung erfolgen, so muß der Betriebsartenschalter in die Stellung "ТМ с АРЧ" gebracht werden.

##### 4.2. Empfang von tonloser Telegrafie

Der Betriebsartenschalter ist in die Stellung "ТЛ БЕЗ АРЧ" bzw. "ТЛ с АРЧ" (Telegrafie A<sub>1</sub> ungeregelt bzw. Telegrafie A<sub>1</sub> geregelt). Mit dem Tonregler "РГ ТОНА" am Bedienteil wird die gewünschte Tonhöhe eingestellt.

##### 4.3. Besonderheiten des Betriebes bei großen Störpegeln

Der Empfänger wird schmalbandig betrieben. Der Bandbreitenumschalter "НЧ-УЗЧ" ist in die Stellung "УЗЧ" (schmal) zu bringen. (In dieser Schalterstellung ist das Quarzfilter eingeschaltet.) Nach der Umschaltung kann eine Nachstimmung auf maximale Lautstärke mittels der Feinabstimmung erforderlich sein.

hält  
nd ge-  
jeweil-

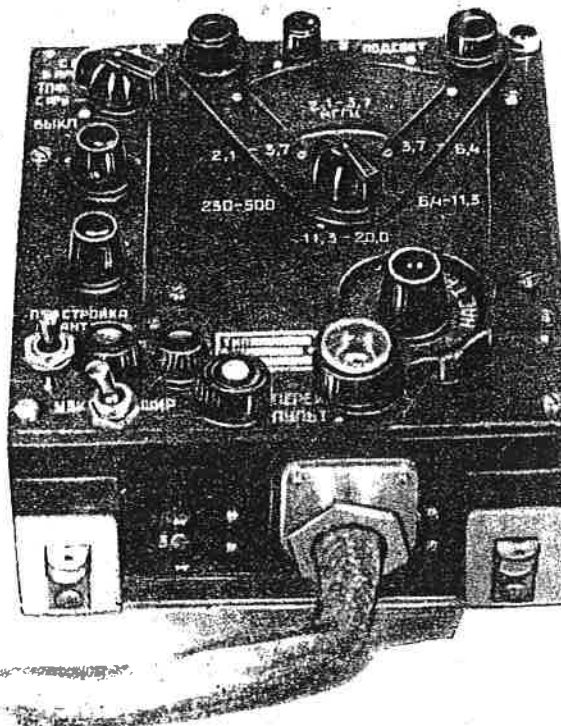
gemein-  
ng" zu  
en ist

. Den  
ie  
len  
's

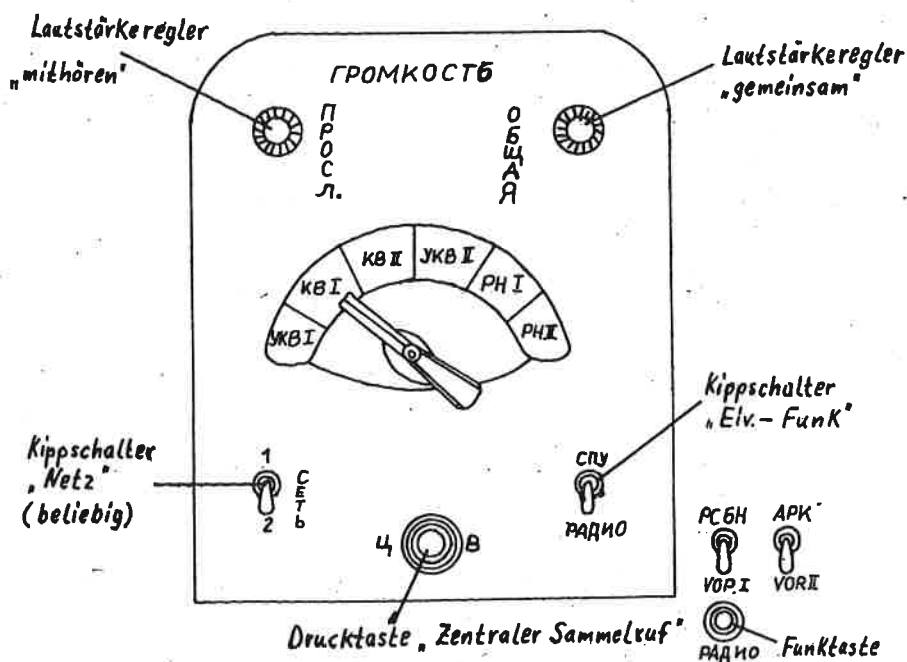
llen.  
ebs-

legre-  
lienteil

.st in  
-zfilter  
e mit-



Bedienteil des Empfängers "US-8"



Bedienpult СШУ (Eiv.-Anlage)

## Bordradaranlage "RPSN-2N" (Emblema)

### 1. Verwendungszweck

Die Radaranlage ermöglicht:

- Übersicht über die Erdoberfläche
- Warnung vor Kollision mit Erdhindernissen (Berge)
- Auffindung von Gewitterfronten und gefährlicher Gewitterzonen
- Ortung entgegenfliegender Flugzeuge und Ermittlung ihrer Lage nach Azimut und Entfernung
- Ermittlung des Abdriftwinkels
- Korrektur der Flugzeugkoordinaten durch Einspeisung der Werte für  $w$  und  $\alpha$  in den Navigationsindikator NI-50.

### 2. Bestandteile, wichtigste Aufgaben

Die Anordnung der einzelnen Blöcke der Anlage im Flugzeug IL-18 zeigt Abb. 1.

#### 2.1. Antenne (Bl. 1)

Abstrahlung der HF-Impulse, die vom Sender kommen; Empfang von Echosignalen der Hindernisse; Schwenkung der Abtaststrahlen um  $\pm 90^\circ$  im Azimut; Verstellung des Abtaststrahles in Längsneigungsrichtung; Kreiselstabilisierung des Strahles in beiden Ebenen; Formierung des ausgesendeten Antennendiagramms gemäß " $\text{cosec}^2$ - oder Bleistiftendiagramm"; Zerlegung der Ablenkspannung in sin- und cos-Anteile im Takt der Schwenkfrequenz.

#### 2.2. Sender - Empfänger (Bl. 2)

Erzeugung leistungsstarker HF-Impulse (Bereich: etwa 3 cm) und Abgabe an die Antenne; Umsetzung der empfangenen Echosignale in ZF-Impulse; Verstärkung und Demodulation dieser Impulse; Formierung der Sender-Anlaßimpulse; automatische Nachstimmung des Klystronoszillators; zeitabhängige automatische Verstärkungsregelung des ZF-Verstärkers (System "BARY").

#### 2.3. Synchronisationsblock (Bl. 3)

Erzeugung von Synchronisationsimpulsen für die gesamte Station; Verstärkung der Video-Signale; Auslöschung von Gewitterkern-Echos im Videoverstärker (Iso-Echo-Schaltung); Erzeugung von den Entfernungsmarken.

#### 2.4. Sichtgerät für den Piloten mit Bediengerät (Bl. 4)

Dieser Block enthält zwei Sichtgeräte. Ein Sichtgerät gewährleistet das Erkennen von Bodenzielen, Gewitterfronten und entgegenfliegender Flugzeuge. Das andere Sichtgerät dient der Erkennung von Antwortsignalen eines im entgegenfliegenden Flugzeug vorhandenen Antwortsenders und von Antwortsignalen bodenseitiger Radarstationen, Betriebsart "Kanal 2" - bei IF nicht betrieben.

#### 2.5. Sichtgerät für den Navigator mit Bediengerät (Bl. 4 III)

Dieser Block enthält ebenfalls zwei Sichtgeräte. Ein Sichtgerät ist für die Lösung von Navigationsaufgaben bestimmt (Übersicht des Bodens, Ermittlung von Bahngeschwindigkeit), das andere ist für die Ermittlung des Abdriftwinkels gedacht, Betriebsarten, Maßstäbe

#### 2.6. Ablenkblock (Bl. 5)

Erzeugung und Verstärkung der Auslenkimpulse für die Sichtgeräte, Erzeugung von entsprechenden Ablenkströmen in den angegebenen Maßstäben, Erzeugung und Verstärkung der Aufshellimpulse der Kipphinläufe. Stromversorgung für Sichtgeräte.

#### 2.7. Block der Navigationseinrichtungen (Bl. 6)

Bildung der beweglichen Entfernungsmarke für die Betriebsart "Geschwindigkeit", Erzeugung einer der  $w$  proportionalen Spannung für den NI-50, Fixierung der Antenne in den Betriebsarten "Abdrift", Erzeugung verzögerter Anlaßimpulse bei "Abdrift genau"

### 2.8. Netzteil (Bl. 8)

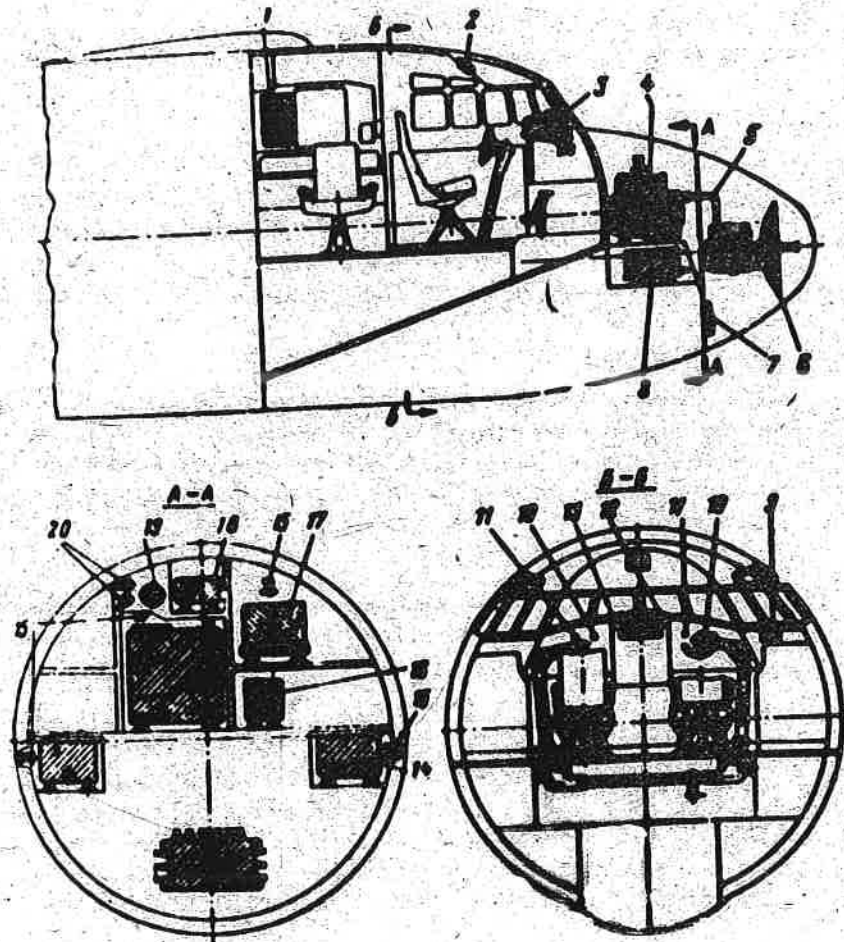
Erzeugung stabilisierter Spannungen von  $\pm 150$  V, +250 V, +300 V und der nichtstabilisierten Spannung von +500 V.

### 2.9. Sicherungs- und Regelkasten (Bl. 9)

Regelung der Abtastverlagerung für die X- und die Y-Achse des Pilotensichtgerätes, Regelung der Markenamplitude dieses Sichtgerätes. Absicherung der Blöcke 2, 4, 4III, 5.

### 2.10. Bedien- und Kontrollgerät (Bl. 10)

Bedienung und Kontrolle der Anlage von den Arbeitsplätzen der Piloten (siehe Abb.).



Anordnung der Radaranlage im Flugzeug IL 18

### 2.11. Hohlleitertrakt (Bl. 11)

Obertragung der HF-Energie vom S-E-Block auf die Antenne und umgekehrt.

Einbauorte (→ entsprechende Abb.)

1. Sichtgerät für Navigator
2. Bedien- und Kontrollgerät
3. Sichtgerät für Pilot
4. Sender-Empfänger-Block
5. Hohlleitertrakt
6. Antenne
7. Verteilerkasten

8. Netzteil
9. Sicherungs- und Reglerkasten
- 10./12. Pultbeleuchtung
14. Auslenkblock
15. Lüfter (Ventilatoren)
16. Block der Navigationseinrichtungen
17. Synchronisationsblock

Hinweis: Die Anlage wird nur durch Ventilatoren belüftet! Um Überschläge zu vermeiden, werden die Hohlleiter und der Sende-Empfangs-Block durch Verbindung mit der Klimaanlage stets auf Normaldruck gehalten.

### 3. Arbeitsprinzip

Die Funktion und das Zusammenwirken der einzelnen Blöcke der Radaranlage RPSN-2N ist aus der Abb. "Vereinfachtes Blockschaltbild der Anlage RPSN-2N" zu entnehmen. Vom Synchronisationsblock werden alle Blöcke der Anlage durch Impulse in ihrer Arbeitsweise streng synchron gesteuert. Diese Synchronisierimpulse steuern einen Sperrschwinger (Blocking-Generator) im Sende-Empfangs-Block an. Von dem Sperrschwinger werden Impulse mit einer exakten Folgefrequenz  $f_i$  abgenommen und zur Ansteuerung der Modulatorstufe verwendet. In der Modulatorstufe werden Rechteckimpulse mit definierter Zeitdauer und Amplitude mittels Laufzeitketten erzeugt (Zeitdauer der Impulse =  $t_i$ ) (s. Nomogramm).

ZB.:  $T_i : 2 \text{ ms}$   $\leadsto$   $s_{\max} = \frac{T_i \cdot c}{2}$

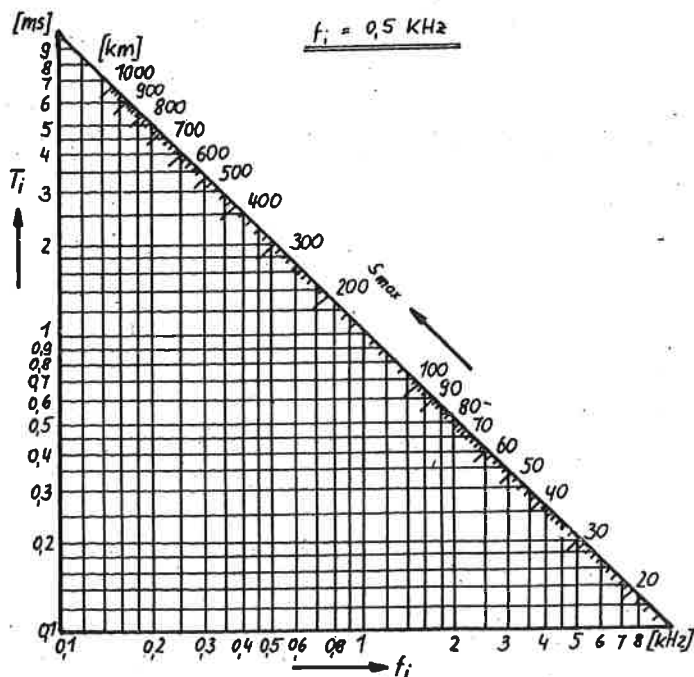
$$s_{\max} = \frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ s} \cdot 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2} = 300 \text{ Km}$$

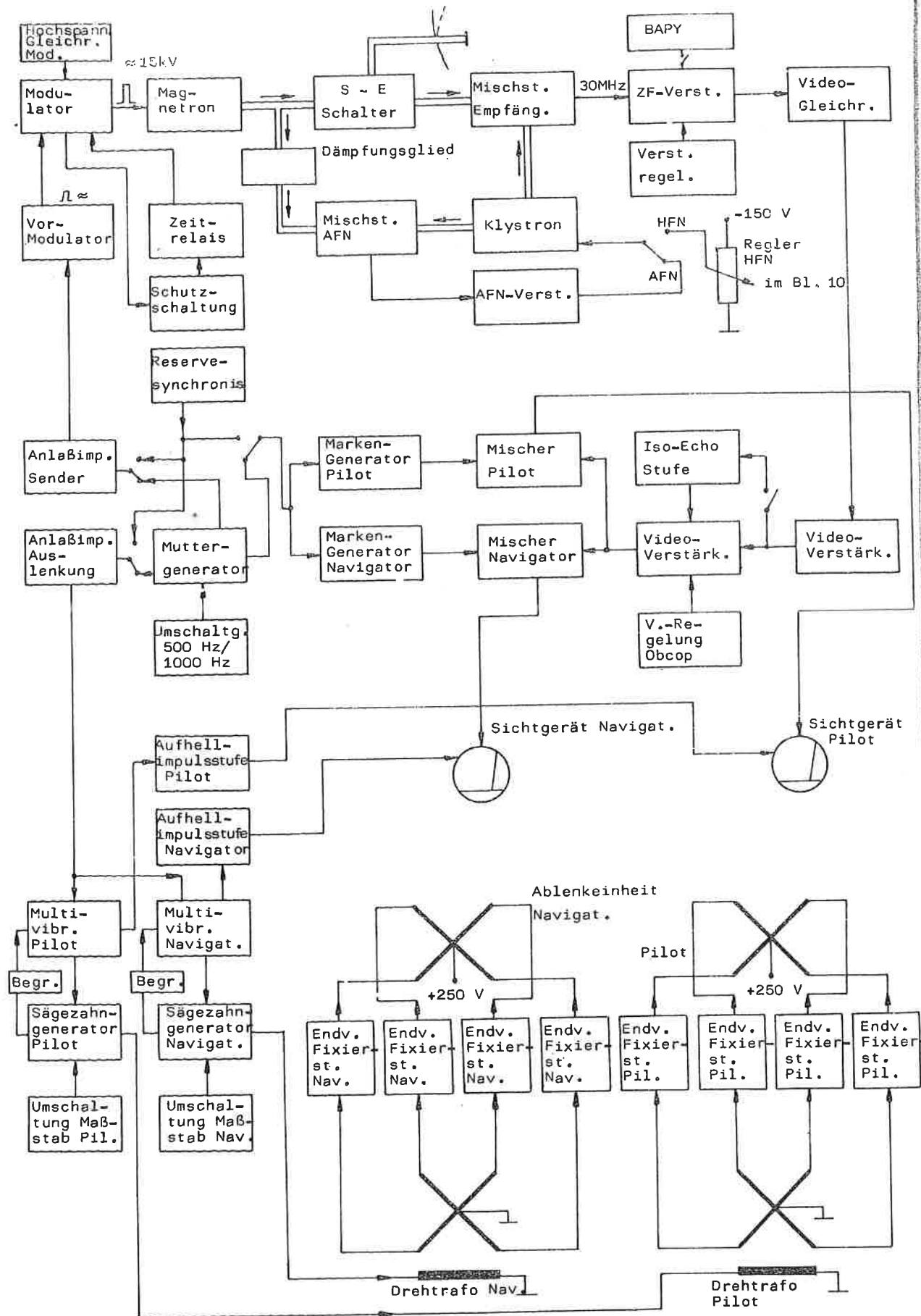
Mit  $s_{\max} = 300 \text{ Km}$   $\leadsto$

$$f_i = \frac{c}{2 \cdot s_{\max}} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m/s}}{2 \cdot 3 \cdot 10^5 \text{ m}} = 0,5 \text{ KHz}$$

$$f_i = 0,5 \text{ KHz}$$

Maximale Meßentfernung  
als Funktion der Impulsfre-  
quenz  $f_i$ ; beziehungsweise  
der Impulsperiode  $T_i$





Vereinfachtes Blockschaltbild Radaranlage "Emblema"

Über einen Hochspannungstransformator und einen Gleichrichter wird die erforderliche hohe Gleichspannung von etwa 15 kV bereitgestellt. Diese, nach Zeitdauer, Breite und Amplitude genau festgelegten Rechteckimpulse steuern einen Hochfrequenz-Generator (Magnetron) an. Im Magnetron werden Elektronen emittiert und durch ein elektrisches und magnetisches Feld in ihrer Dichte gruppiert. Diese "Elektronenwolken" rotieren als Raumladung auf zykloidenförmigen Bahnen im Innern des Magnetrons und erregen dabei die dort vorhandenen Resonatoren. Das erzeugte extrem hochfrequente Wechselfeld wird über eine Koppelschleife abgenommen und über Hohlleiter zur Antenne gegeben.

Die Umschaltung der Antenne von Sendung auf Empfang und umgekehrt wird durch einen sogenannten Duplexer besorgt. Dieser Umschalter hat die Aufgabe, bei Abstrahlung der hochfrequenten Energie den Empfängereingang (Mischdioden!) vor der Zerstörung zu bewahren und beim Empfang eine Abzweigung der ohnehin sehr geringen Empfangsenergie in den Sendetrakt zu verhindern. Der Empfängereingang wird im Regime "Sendung" durch die Nullode zusätzlich geschützt, da diese beim Erreichen eines bestimmten Pegels zündet und damit den Eingang kurzschließt. Durch die Antenne wird die Energie gebündelt (Antennengewinn!) und gemäß der Richtcharakteristik "Bleistiftdiagramm" oder " $\text{cosec}^2$ -Diagramm" je nach Betriebsart der Anlage ausgesandt und die reflektierten Signale aufgenommen und zum Empfangstrakt weitergeleitet.

Das empfangene Signal wird mit der hochfrequenten Spannung eines Oszillators im Zentimeterwellenbereich (Klystron) gemischt. (Klystron: HF-Generator, dessen Frequenz mühelos durch Änderung der Reflektorspannung beeinflusst werden kann. Die zur Erregung des Resonators erforderliche Elektronengruppierung wird durch Reflexion der Elektronen an einer entsprechend vorgespannten Elektrode - Reflektor - erreicht.) Die gebildete Zwischenfrequenz von 30 MHz wird in einem Videoverstärker mit einer Bandbreite von etwa 5 MHz weiterverarbeitet. Um auf dem Bildschirm eine reale Darstellung der angestrahlten Objekte zu erhalten, werden die naheliegenden Ziele durch eine zeitabhängige Verstärkungsregelung der Stufen des ZF-Verstärkers (BAPY-Schaltung!) unterdrückt.

(Diese künstliche Unterdrückung der Echointensität erfolgt bis zu einer Entfernung von etwa 15 km).

Damit die ZF stets dem Normwert entspricht, d. h. die Verstärkung der Signale stets maximal erfolgt, wird die Klystronfrequenz automatisch mittels einer AFN-Schaltung nachgeregelt. Die gebildete ZF-Spannung wird innerhalb eines Regelkreises in einem Diskriminator mit dem Sollwert verglichen. Am Ausgang des Diskriminators wird eine Spannung abgenommen, deren Amplitude der Größe der Abweichung und deren Polarität der Richtung der Abweichung vom Sollwert entspricht. Diese Spannung wird auf den Reflektor des Klystrons gegeben und regelt somit die Arbeitsfrequenz dieses Bauelements nach, bis die Fehlerspannung gleich Null geworden ist. Die Frequenz des Klystrons kann auch von Hand (Umschaltung "APV-PPV") nachgeregelt werden.

Durch eine gesonderte Schaltung wird die Hochspannung erst nach einer definierten zeitlichen Verzögerung auf das Magnetron gegeben. Bei Überschreitung des zulässigen Magnetronstromes (Größenordnung etwa 18 mA) wird durch eine weitere Schutzschaltung die Hochspannung abgeschaltet.

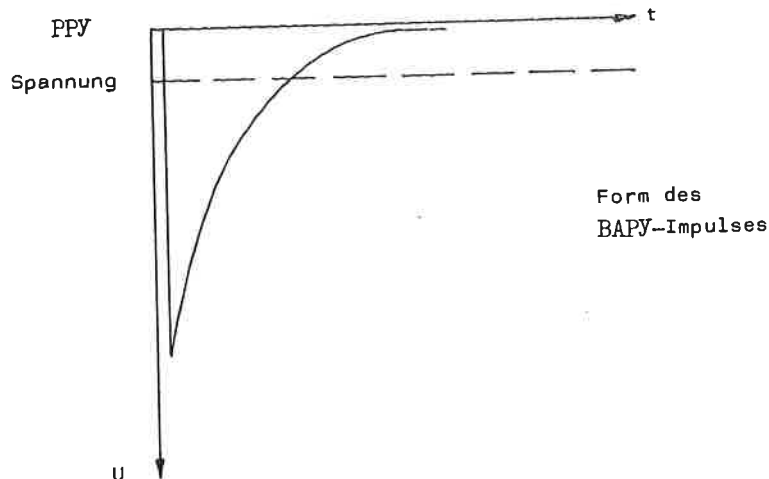
Nach entsprechender Verstärkung wird das ZF-Signal gleichgerichtet und zum Video-Verstärker weitergeleitet. Dieser Verstärker besitzt je nach Betriebsart der Anlage eine lineare oder logarithmische Amplitudencharakteristik.

Die lineare Charakteristik wird in den Betriebsarten "Flugzeuge", "Gebirge-Gewitter", "Abdrift" und "Geschwindigkeit" verwendet, wodurch eine gleichmäßige Verstärkung der Echosignale, unabhängig von ihrer Amplitude, erreicht wird. In den Betriebsarten "Rundsicht" und "erweiterte Rundsicht" wird dagegen eine logarithmische Charakteristik eingestellt, wodurch trotz der jetzt vorhandenen großen dynamischen Änderung des Pegels der Eingangssignale (bis zu 60 dB!) eine normale Arbeit des Empfängers und damit eine reale Darstellung der Echos erzielt wird.

In der Betriebsart "Gebirge - Gewitter" wird die Schaltung der zeitweise automatischen Verstärkungsregelung (BAPY) angewendet.

Diese Schaltung hält die Amplituden der Ausgangssignale des ZF-Verstärkers beim Empfang von Echosignalen unterschiedlicher Intensität konstant. Die Schaltung erzeugt einen negativen Impuls, dessen Rückflanke sich mit einer quadratischen Funktion von der Entfernung

ändert und der zeitlich mit dem Sendeimpuls zusammenfällt. Diese Verstärkungsregelung wirkt auf Entfernungen von 0 bis ca. 15 km.



#### 4. Bedienung und Kontrolle

##### 4.1. Einschalten der Anlage und Überprüfung der Betriebsbereitschaft

- Sicherungsautomat(ASS) "Emblema" einschalten Anlagenschalter auf "Station"
- "Hochspannung" einschalten nach etwa 4 - 5' (Anlagenschalter auf "Hoch")
- Mit Hilfe des Blockes 10 die Arbeitsspannungen und die Bereitschaft der **APV**-Anlage kontrollieren (ТОК КРМ СТ. **APV**)
- Mit dem Schalter "Kontrolle" am Bedienpult des Piloten die Arbeitsweise des Magnetrons kontrollieren (ca. 18 mA)
- An beiden Bediengeräten mittels des Potentiometers "Fokus" die Schärfe der Maßstabmarken einstellen und mittels des Potentiometers "Helligkeit" die Grundhelligkeit so einstellen, daß die Abtastlinie verschwindet
- Kontrolle der Arbeitsweise des Kanales "Ermittlung des Abdriftwinkels": Umschalter "Pilot - Navigator" am Block 10 in die Stellung "Navigator" bringen, Betriebsart "Abdrift" ("CHOC") und den Maßstab "50 km" einstellen, nach 3 bis 4 Schwan- kungen muß die Drehbewegung des Reflektors aufhören, Antenne mit der Hand drehen, bis Helligkeitsmodulation der Echos minimal ist!
- Kontrolle des Kanals "Ermittlung der Bahngeschwindigkeit"; Abtastmaßstab 50 km, Betriebs- art "Geschwindigkeit" wählen, helles Radarzielzeichen im Bereich von  $\pm 5^\circ$  von der hellen Bahnlinie wählen, mit dem Knopf "Zielwahl" das Zielzeichen mit einer Eichmarke zur Dek- kung bringen. Beim Zusammentreffen beider Zeichen Stoppuhr bis zum Überqueren der zwei- ten Eichmarke (20 km) einschalten, Geschwindigkeit des Flugzeuges nach der Formel

$$v = \frac{20 \cdot 3600}{t/s} \text{ (km/h)}$$

ermitteln und diesen Wert in den Zähler "Bahngeschwindigkeit" am Navigatorbediengerät einstellen.

- Kontrolle des 1. Empfangskanals
- Betriebsart "Hindernis"
  - Entsprechende Betriebsart wählen, Umschalter "**APV-PPV**" in die Stellung "**PPV**" bringen, mittels Poti "**PPV**" maximale Echohelligkeit einstellen, am Sichtgerät des Piloten Stellung "**APV**" wählen - die Helligkeit der Echos darf sich nicht wesent- lich ändern! Bei Betätigung des Potis "Iso-Echo" müssen einzelne Radarziele auf dem Schirm verschwinden.

In der Stellung "Gebirge - Gewitter" des entsprechenden Umschalters müssen die Echos in einer Entfernung von etwa 10 km (vom Nullpunkt an) verschwinden (BAPY-Schaltung wirksam!).

In der Stellung "Flugzeuge" muß das gesamte Radarbild erscheinen.

#### - Betriebsart "Rundsicht", "Erweiterte Rundsicht"

Werden die beiden o. g. Betriebsarten am Pilotenbediengerät eingestellt und am Navigatorbediengerät außerdem noch die Betriebsart "Geschwindigkeit", so muß an beiden Bedienpulten die Signalisation "Rundsicht" aufleuchten, bei der Umschaltung der Betriebsarten "Hindernis" - "Rundsicht"/"Erweiterte Rundsicht" muß sich der Charakter des Radarbildes gemäß der ausgesandten Strahlungscharakteristik ändern.

### 4.2. Bedienung der Anlage im Fluge

#### - Betriebsart "Gebirge - Gewitter - Flugzeuge"

In der Betriebsart "Gebirge - Gewitter" arbeitet die BAPY-Schaltung, d. h. schwache Signale bis zu einer Entfernung von  $\approx 15$  km werden unterdrückt, so daß die Benutzung des Sicherheitskreises beim Flug in einer Gebirgsgegend ermöglicht wird. (Verschwinden die Gipfel in einem Abstand von 6 bis 12 km, so erfolgt ein gefahrloser Überflug in einer Höhe von etwa 1000 m.)

In der Betriebsart "Flugzeuge" wird ebenfalls ein Bleistiftdiagramm ausgesandt, die BAPY-Schaltung arbeitet jedoch nicht.

#### - Betriebsart "Abdrift/Abdrift Genau"

Gemäß den Angaben unter Pkt. 4.1. muß die Antenne von Hand solange gedreht werden, bis die durch den Dopplereffekt hervorgerufene Helligkeitsmodulation der Echosignale ein Minimum annimmt, der Abdriftwinkel kann dann am Poti für die Handverstellung der Antenne abgelesen werden. Bei Flügen über 5000 m ist die Betriebsart "Abdrift genau" zu wählen; bei "Abdrift genau" wird die Auslenkung um 50 km verzögert, damit der vorhandene tote Diagramm-Winkel bei Flügen in Höhen  $> 5000$  m kompensiert wird; der Abdriftwinkel wird bei Stellung des Kippschalters "СЧИСЛЕНИЕ" auf "РЛС" automatisch in den Kursautomaten eingegeben; kein Kollisionsschutz vorhanden (Aussendung: cosec<sup>2</sup>-Diagramm), Bereich: 50 - 100 km.

#### - Betriebsart "Geschwindigkeit"

Siehe Angaben unter Pkt. 4.1., bei Einstellung der ermittelten Geschwindigkeit am Zählknopf wird im Regime "РЛС" dieser w-Wert eingespeist und zur Berechnung der rechtwinkligen orthodromen Koordinaten (zusammen mit dem ermittelten und automatisch eingespeisten  $\alpha$ -Wert!) - als Korrekturwert - verwendet. (—→ Abb. "Zusammenschaltung Radaranlage - HD-50"), Abtastbereich: 50 km, mit Regler "Zielwahl" Anfang von 70 - 150 km verschiebbar.

#### - Betriebsart "Iso-Echo" (nur in den Betriebsarten "Berge-Gewitter-Flugzeuge" wirksam).

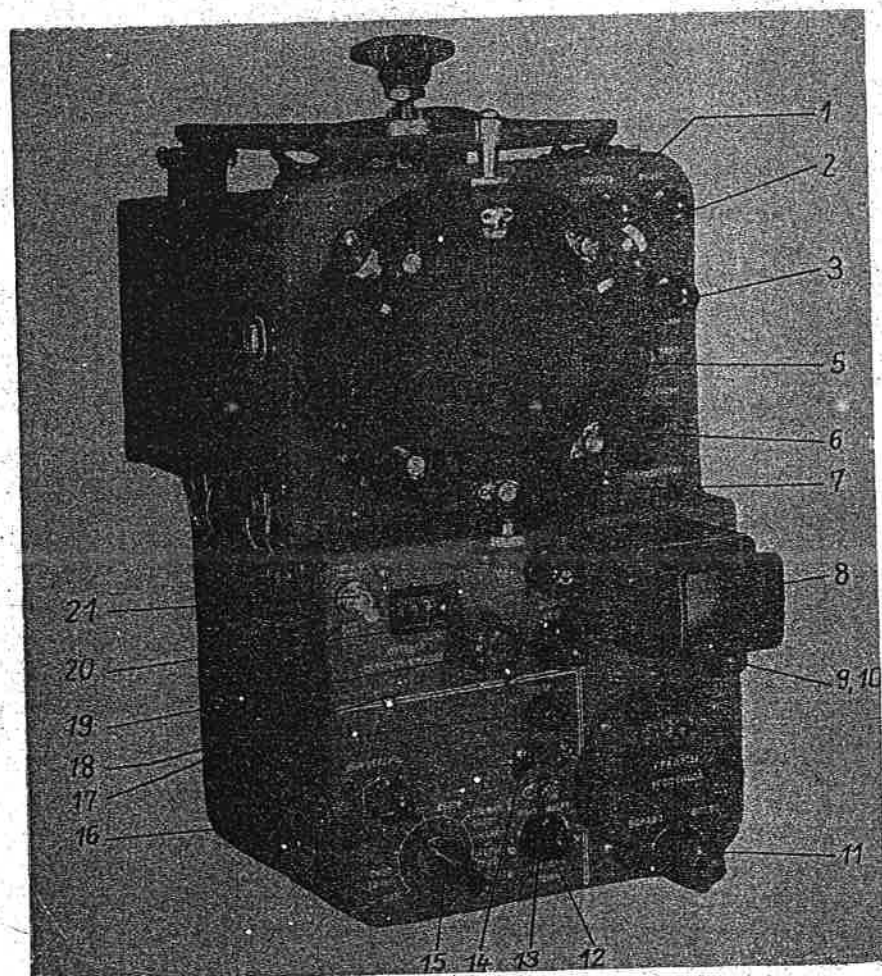
Der Poti-Knopf wird solange in Uhrzeigerrichtung gedreht, bis sich in den Gewitterechos dunkle "Einbruchstellen" abzeichnen, die die Stellen der aktivsten Gewittertätigkeit charakterisieren (Phasendrehung der intensivsten Signale um 180°).

#### - Betriebsart "Rundsicht/Erweiterte Rundsicht"

Mit dem Knopf "Antennenneigung" den Reflektor solange verstellen, bis die Reflexion auf dem Schirm am besten erkennbar sind, mit dem Knopf "PPY" (manuelle Verstärkungsregelung) ein optimal scharfes Radarbild einstellen.

Diese Betriebsarten dienen nur der Abtastung des Geländes, es erfolgt keine Warnung vor Zusammenstößen mit anderen Flugzeugen oder Berggipfeln! In der Betriebsart "Rundsicht" wird nur ein "Cosec<sup>2</sup>-Diagramm" ausgesandt, in der Betriebsart "Erweiterte Rundsicht" wird während der einen Antennenschwenkung ein Bleistift-Diagramm, bei der anderen Schwenkung dagegen ein "cosec<sup>2</sup>-Diagramm" ausgesandt, Poti "PPY" nur in obiger Betriebsart wirksam!

Hinweis: Im Falle der unstabilen Arbeit der Synchronisierungsschaltung, was sich in scharfen Ausschlägen des Zeigers beim Messen des Magnatronstromes oder in der Verringerung des Magnatronstromes auf etwa 8 mA äußert, ist die Betriebsart "Reservesynchronisation" anzuwenden. In dieser Betriebsart sind die Eichmarken schwächer erkennbar!



Bedien- und Kontrollpult

#### Erläuterung der Bedienelemente am Navigatorbedienpult (s. Abb.)

- 1: Helligkeit
- 2: Schärfe
- 3: Eichmarkenhelligkeit
- 4: Skalenbeleuchtung
- 5: Kippschalter "Kanal I/II", "Kanal I" - Normalbetrieb, "Kanal II" - keine Echoe
- 6: Maßstabschaltung: "50", "180", "280" (km)
- 7: Regelung der Verstärkung, Regler nur in den Betriebsarten "Rundsicht" und "Erweiterte Rundsicht" wirksam, sowie bei "Abdrift".
- 8: Sichtgerät zur Ermittlung des Abdriftwinkels (A-Darstellung)
- 9, 10: Schärfe und Helligkeit des Sichtgerätes für
- 11: Regler zur manuellen Schwenkung des Abtaststrahles in der Betriebsart "Abdrift" (mit Skala)
- 12: Regler zur Neigung der Antenne ("hoch/tief")
- 13: Anzeigelampe der Antennenneigung (weiß)
- 14: Skala zur Ablesung des Neigungswinkels
- 15: Regimeschalter: "Abdrift", "Abdrift genau", "Geschwindigkeit", "Rundsicht", "erweiterte Rundsicht", "Bake", "Berge/Gewitter" und "Flugzeuge"
- 16: Regler "Differenzierung" zur Verbesserung der Bildqualität durch Differenzierung der Echosignale
- 17: Warnlampe "Rundsicht" (grün) bei den Betriebsarten "Rundsicht", "erweiterte Rundsicht" und "Geschwindigkeit", da dann keine Hinderniswarnung auf Grund des "cosec<sup>2</sup>-Diagrammes" erfolgt
- 18: Regler "Zielwahl" - in der Betriebsart "Geschwindigkeit" wirksam (s. Pkt. 4.1.)
- 19: Eingabe der ermittelten Geschwindigkeit über Grund (w)
- 20: Anzeige der eingedrehten Werte
- 21: Kippschalter "Zählung: NI-50/RLS" in Stellung "RLS" werden die ermittelten Werte für w in den Indikator eingespeist (Korrektur der Werte für "C" und "B" Dopplerradaranlage)

#### Erläuterung der Bedienelemente am Bedien- und Kontrollpult

- 1: Regler zur manuellen Frequenznachregelung des Klystrons
- 2: Kippschalter "Manuelle - autom. Frequenzregelung"
- 3: Kippschalter "Haupt-Reservesynchronisation"
- 4: Kippschalter "Berge/Gewitter - Flugzeuge" (BAPY-Schaltung nur bei "Berge/Gewitter" wirksam)
- 5: Lampe "Navigator" - leuchtet bei entsprechender Stellung des Kippschalters 6, Bedienung der Anlage erfolgt dann vom Navi-Bedienpult aus
- 6: Kippschalter "Navigator - Pilot" (Pultumschaltung)
- 7: Lampe "Berge/Gewitter" - leuchtet im Regime "Hindernisse" bei entsprechender Stellung des Schalters 4 auf
- 8: Regler "Iso-Echo" - zur Herauslösung der Gewitterkerne
- 9: Kippschalter "Hochspannung", Mittelstellung dient als Vorwärmerschaltung
- 10: Regler "Antennenneigung"
- 11: Lampe "Rundsicht"
- 12: Regimeschalter; Regime "Stabilisierung - Aus" wird im Steigflug angewendet, um die Antenne in der Ebene der Flugzeuglängsachse zu fixieren, Querstabilisierung vorhanden.
- 13: Skala "Antennenneigung"
- 14: Maßstabschalter
- 15: Lampe "50 km" (Warnung - kleiner Maßstab)
- 16: Lampe "Hochspannung"
- 17: Kontrollschalter
- 18: Einstellregler "Verstärkung" (Werkstatteinstellung)
- 19: Anzeigeelement der Kontrollparameter

## 5. Technische Daten

### - Abtaßmaßstäbe:

- Pilotensichtgerät: 50, 120 und 200 km
- Navigatorsichtgerät: 50, 180 und 280 km
- 50-km-Maßstab: Entfernungsmarken alle 10 km
- alle anderen Maßstäbe: alle 40 km

- Kenngrößen:  $t_1 = 2 \mu s$ , dann  $f_1 = 500 \text{ Hz}$ ;  $\Delta r = 300 \text{ m}$ ;

$r_{\max} = 300 \text{ km}$

( $\Delta r$  : radiale Auflösung  
 $r_{\max}$ : maximaler eindeutiger Meßbereich)

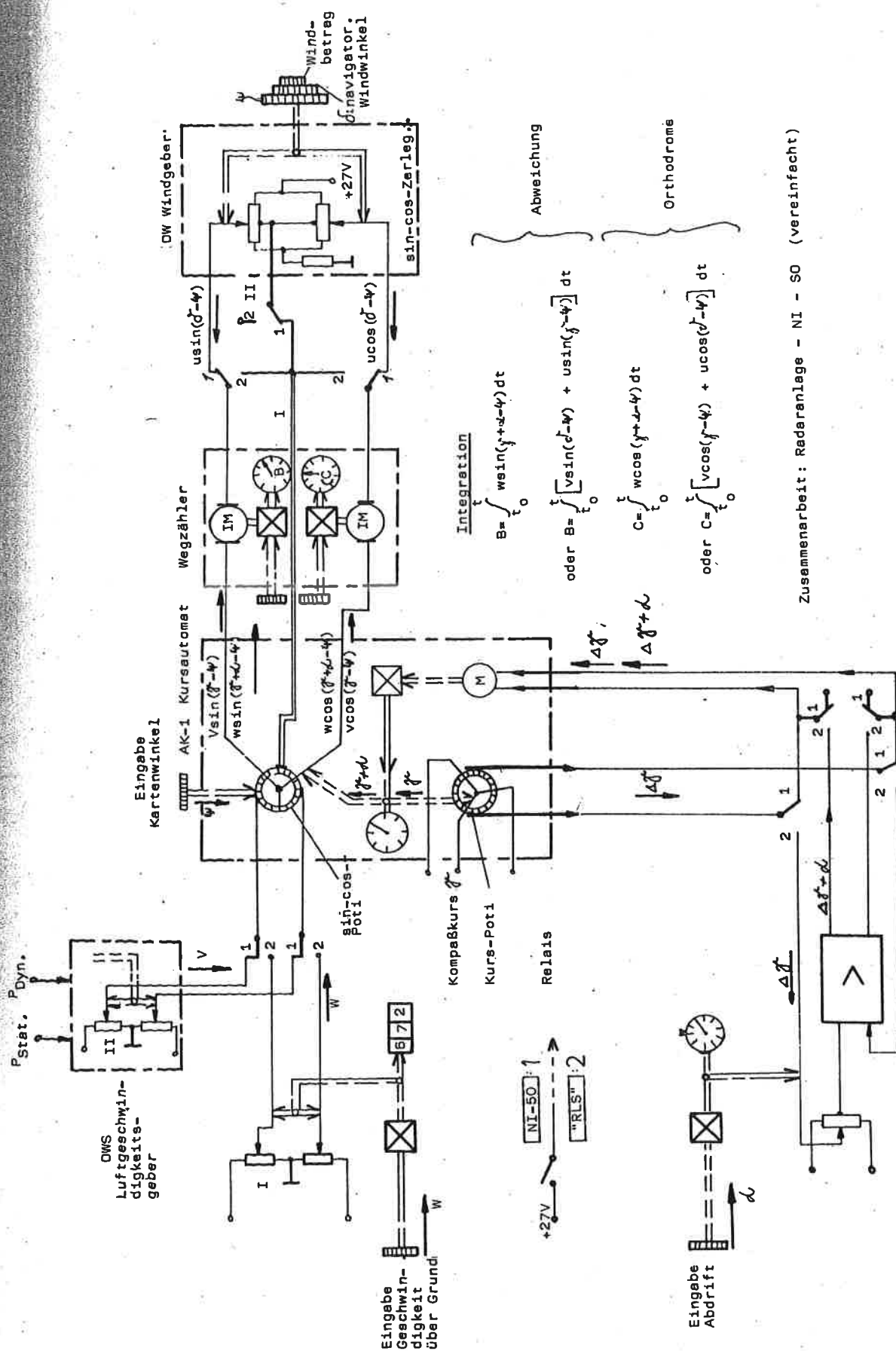
$t_1 = 1 \mu s$ , dann  $f_1 = 1000 \text{ Hz}$

(in den Betriebsarten "Abdriftwinkel" und "Rundsicht"  
im Maßstab 50 km),  $\Delta r = 150 \text{ m}$ ,

$r_{\max} = 150 \text{ km}$

- Neigungswinkel der Antenne:  $\pm 10^\circ$
- Abdriftwinkel:  $\pm 20^\circ$
- Azimutwinkel: ca.  $\pm 90^\circ$
- Sendeleistung: etwa 60 kW (Impulsleistung)
- Sendefrequenz: 9370 MHz
- mittlerer Fehler bei der Ermittlung des Abdriftwinkels:  $1^\circ 30'$
- mittlerer Fehler bei der Ermittlung der Weggeschwindigkeit: 3 %
- maximaler Querneigungswinkel für die Stabilisierung der Antenne des Flugzeuges durch die Kreiselanlage:  $\pm 20^\circ$
- maximal zulässiger Längsneigungswinkel für die Stabilisierung der Antenne durch die Kreiselanlage:  $\pm 10^\circ$
- Empfindlichkeit des Empfangskanals der Anlage: 96 dB
- Temperaturbereich: von  $+50^\circ$  bis  $-60^\circ \text{ C}$
- die angegebenen Parameter der Anlage werden bis zu einer Flughöhe von max. 12 km garantiert
- Leistungsaufnahme  
115 V, 400 Hz:  $\leq 1500 \text{ VA}$  (Schienenumschalter für 110-1500 beachten!).  
+27 V:  $\leq 300 \text{ W}$   
36 V, 400 Hz:  $\leq 5 \text{ A}$  in jeder Phase

Dauerbetrieb:  $< 10 \text{ h}$





## 1. Verwendung

Bestimmung der Flughöhe im Bereich von 0 ... 600 m. Optische (Tableau) und akustische (400 Hz-Signal) Signalisation bei Unterschreitung vorgewählter Warnhöhen.

## 2. Arbeitsprinzip

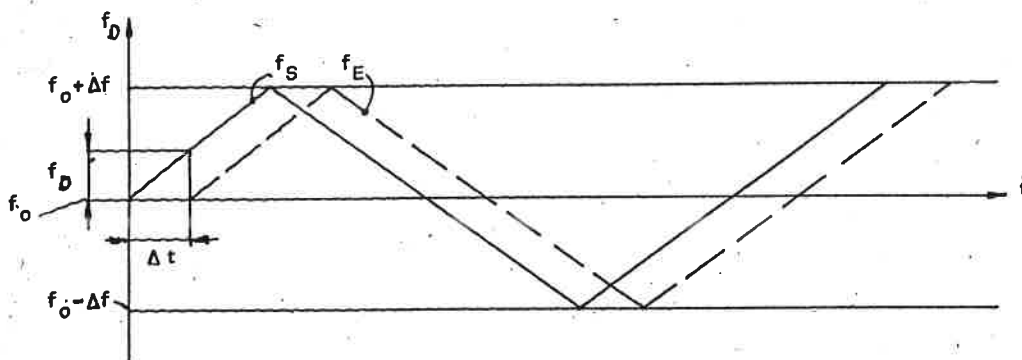
- Kontinuierliche Abstrahlung frequenzmodulierter Signale (HF-Träger) und Empfang der vom Erdboden (Höhe:  $h$ ) reflektierten Signale.

- Ermittlung der Zeitdifferenz  $\Delta t$  zwischen Abstrahlung und Empfang durch Messung der Schwebungsfrequenz  $f_D$  zwischen dem abgestrahlten (direkten) und empfangenen Signal.

Es gilt:  $v = \frac{s}{t}$  ( $v = c$ ;  $s = 2h$ ;  $t = \Delta t$ )

Also:  $c = \frac{2h}{\Delta t}$ ;  $h = \frac{c \Delta t}{2}$

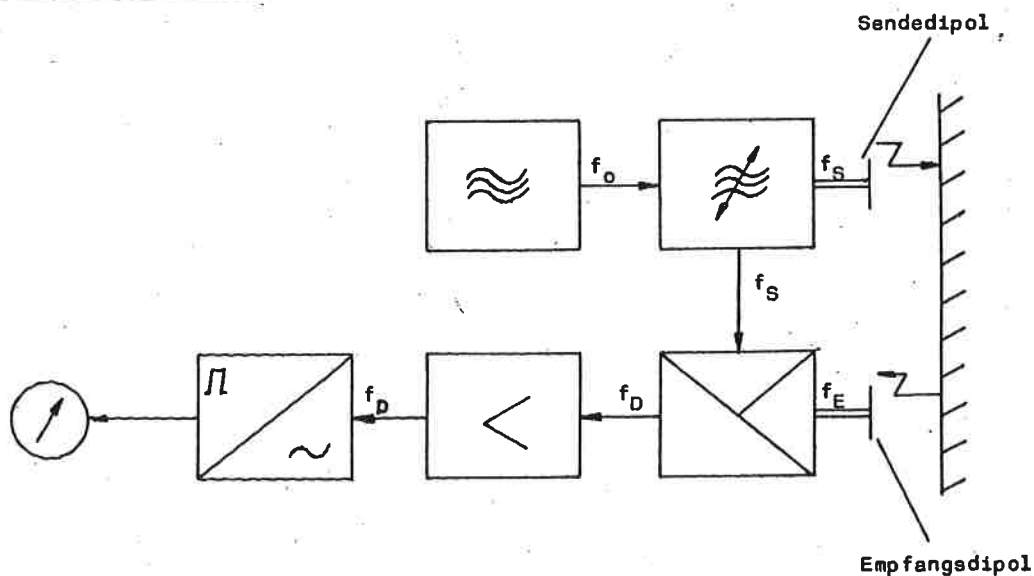
Gemäß der Funktion  $f_D = f(t)$  gilt:  $\Delta t \sim f_D \rightarrow h = \frac{c f_D}{2}$



- Umwandlung der sinusförmigen  $f_D$  in Rechteckimpulse definierter Breite und Amplitude

- Auswertekriterium: Anzahl der Impulse

## Blockschaltbild (vereinfacht)



Hinweis: Die Signale des Funkhöhenmessers werden ohne eine besondere Umschaltung des SPU-Arbeitsregimes auf die Kopfhörer gegeben. (Zwangsaufschaltung).

### 3. Daten

Meßbereich: 0 ... 600 m

Sendefrequenz:  $440 \pm 60$  MHz

Sendeleistung:  $> 0,2$  W

Meßgenauigkeit  $\approx \pm 5$  m

Genauigkeit in den einzelnen Bereichen

50 m:  $+20\%$ ;  $-10\%$

100 - 400 m:  $+10\%$ ;  $-5\%$

Leistungsaufnahme:  $\leq 125$  VA (115 V)

Hinweis: 2 - 3' nach dem Einschalten der "A30 /RW-UM" erfolgt die Anzeige "0 m". Die zulässige Differenz der Anzeige beträgt am Boden  $\pm 5$  m.

## Transponder "SOM-64"

### 0. Vorbemerkung

Die allgemeinen Angaben zum Sekundärradar sind zugunsten der speziellen Ausführungen (Bedienung, Daten etc.) über den "SOM-64" sehr kurz gehalten. Es wird auf die vom Flugbetrieb, Abt. Technologie, herausgegebene Dokumentation "SSR/DME" (I/76) verwiesen, in der die Arbeitsweise von bord- und bodenseitigen SSR-Anlagen ausführlicher beschrieben ist.

### 1. Aufgabe

Die Anlage "SOM-64" arbeitet mit SSR-Anlagen (SSR: Secondary Surveillance Radar) der Flugsicherungsdienste zusammen und dient zur automatischen Übertragung von Informationen über die Bordnummer (zugewiesene Kennung) und die Flughöhe an die Bodenstationen.

### 2. Arbeitsweise/Vorteile

Die Luftfahrzeuge werden von der Bodenstation durch Zweifachimpulse abgefragt, welche einen bestimmten Abstand voneinander haben und durch die Bezeichnung "Modus A, B, C oder D" unterschieden werden. Das Luftfahrzeug sendet als Antwort Impulsgruppen aus, welche Informationen über die Höhe und die Kennung in codierter Form enthalten. Diese Daten werden mit den Echosignalen vom Primär-Rundsicht radar zeitlich korreliert und dargestellt.

#### Vorteile:

- große Reichweiten bei relativ geringen Sendeleistungen (s. "Daten")
- gute Qualität der Echosignale
- Entlastung der Funksprechanäle
- Verbesserung (Sicherheit!) der Radarleitung und Radarüberwachung
- synthetische Darstellung der Luftverkehrslage (Konfliktsituationen!) durch EDV-Anlagen möglich.

### 3. Bedienung

Die Bedienung und Kontrolle der Anlage erfolgt vom Bedienpult "SO-63" und dem Pult "ICAO-Kodechifficator" aus (s. Abb. "Bedienpult").

#### SO-63

1. Kippschalter "SO-63" - Einschalter für den gesamten Transponder
2. Druckknopf und Lampe (grün) "Kontrolle" - Kontrolle der Funktionstüchtigkeit der Anlage mit dem Selbstkontrollsystem. Im "Kontrollregime" werden keine Signale ausgesendet, d. h. keine Bodenstationen gestört.
3. Druckknopf "Kennung" - Aussendung eines zusätzlichen Kennimpulses, welcher das Luftfahrzeug auf dem Bildschirm gesondert darstellt. Der Knopf wird auf Anweisung der Bodenstation betätigt. Selbsthaltung für  $\approx$  30 s.
4. Betriebsartenschalter - steht fest gerastet auf "RBS" (ICAO)

#### ICAO-Kodechifficator

1. Modusumschalter - Bei Modus "A" und "B" kann von der Bodenstation wechselseitig die Kennung und Höhe des Luftfahrzeuges abgefragt werden. Bei Modus "C" werden nur Informationen über die Höhe abgestrahlt. Modus "D" ist nicht belegt und dient als Bereitschaftsregime "stand by".
2. Umschalter "Nummerneinstellung" - Einstellung des von der Bodenstation angewiesenen Nummerncodes. Beim Einfluß in bestimmte Kontrollbezirke muß die in den Unterlagen ausgewiesene Kennung selbst eingestellt werden! Dabei gilt:
  - Kode: "7600" - Funkverbindungsausfall
  - Kode: "7700" - HavarieDiese Notsignale werden nur bei Modus "A" gesendet!

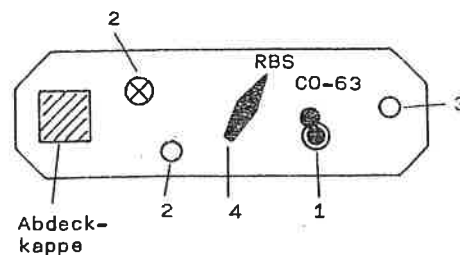
3. Kippschalter "Empfindlichkeitsverringierung" - Auf Anweisung der Bodenstation wird die Empfindlichkeit des Bordempfängers bei Flügen im Nahbereich von SSR-Bodenstationen verringert, um Abfragen nur durch die Hauptkeule des Richtdiagrammes zu garantieren.

#### 4. Pultausleuchtung

#### 4. Daten

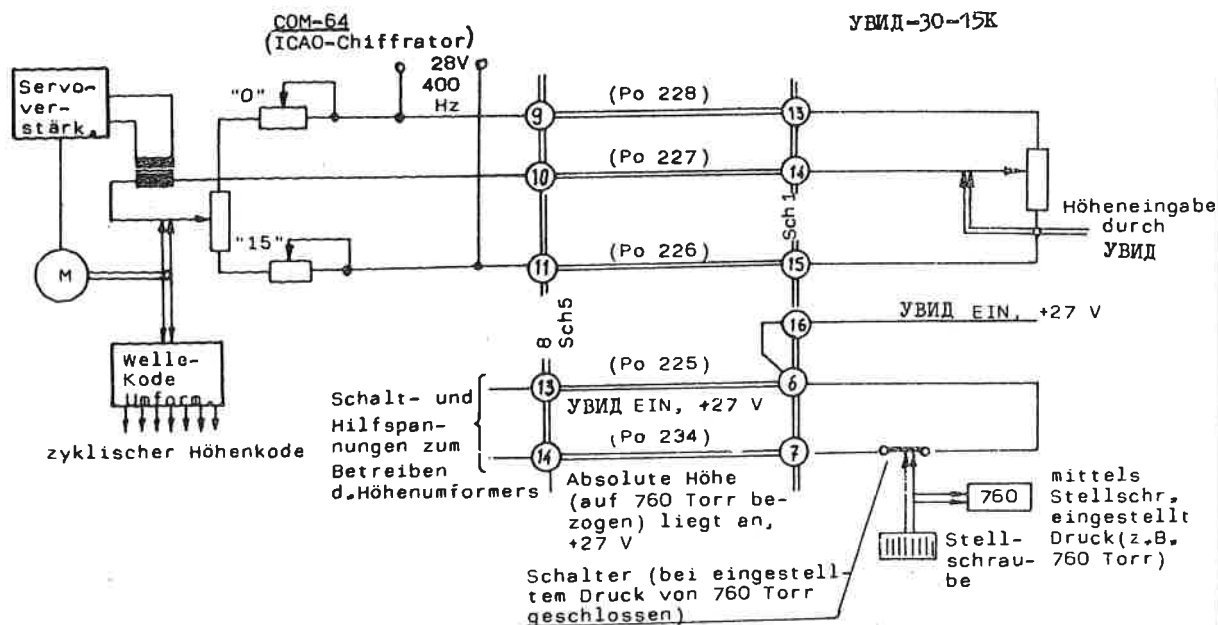
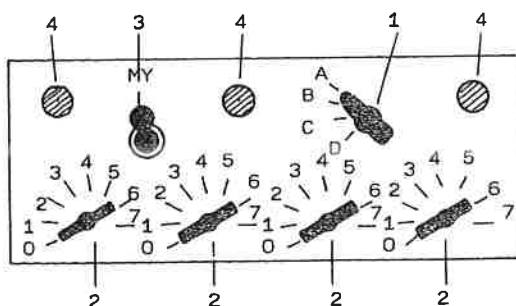
Frequenz-Empfänger: 1030 MHz  
 Frequenz-Sender: 1090 MHz  
 Sendeleistung: 1 KW (Impulsleistung)  
 Kodenzahl: 4096  
 Leistungsaufnahme: 115 V : 150 VA  
 +27 V : 50 W

"SO-63"



Hinweis: Am Höhenmesser "UWID" ist stets der Standarddruck von 760 mm Hg einzustellen. Wenn diese Einstellung im Flug verändert wird, erhält die Bodenstation keine Information über die Höhe des Luftfahrzeuges!

ICAO-Kodechiffrotor



Anmerkung: Nur Höhenverb. zum ICAO-Chiffrotor aufgezeichnet

Schema der Höhenübertragung UWID-30-15K → COM-64

## Automatischer Radiokompaß ARK-11

### 1. Verwendung

Der automatische Radiokompaß dient zur bodengestützten Flugzeugführung nach Funkfeuern mit ungerichteter Ausstrahlung im Mittelwellenbereich (NDB). Er erlaubt die ständige Ablesung des Kurswinkels zu einer bestimmten Bodenstation. Der ARK-11 erfüllt folgende Grundfunktionen:

- Zielflug zu einem Boden-Funkfeuer bzw. von diesem weg mit ständiger Anzeige des Kurswinkels zum Feuer (KWF)
- Anpeilung von Boden-Funkfeuern zu Ortungszwecken und Bezug dieser Peilwinkel auf Nord unter Benutzung der Magnetkompaß-Anzeigegeräte (Azimut)
- Heranführen in die Anflugszone zur darauffolgenden Landung nach Instrumenten (NDB-Anflug)

### 2. Bestandteile der Anlage und Hauptaufgaben der einzelnen Blöcke

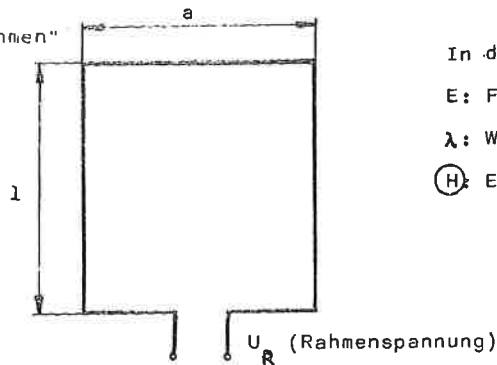
|                                        |                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Empfänger</u>                       | Empfang und Auswertung der von den NDB-Bodenfeuern kommenden Signale; Realisierung der Fernabstimmung und Fernbedienung                                                                                                        |
| <u>Bedienpult</u>                      | Fernabstimmung und Fernbedienung                                                                                                                                                                                               |
| <u>Abgestimmter Antennenblock</u>      | Verstärkung der Signale von der Hilfs-Rahmenantenne                                                                                                                                                                            |
| <u>Rahmenantenne</u>                   | Gerichteter Empfang der Bodensignale                                                                                                                                                                                           |
| <u>Netzteil</u>                        | Versorgung der Anlage mit Gleich- und Wechselspannungen                                                                                                                                                                        |
| <u>Nichtabgestimmter Antennenblock</u> | Verstärkung der Signale von der ungerichteten Hilfsantenne                                                                                                                                                                     |
| <u>Umschaltkasten</u>                  | Anschaltung der ungerichteten Hilfsantenne bzw. des Hilfsrahmens an den Empfängereingang                                                                                                                                       |
| <u>Abstimmindikator</u>                | Anzeige der genauen Abstimmung auf die gewählte Bodenstation nach Maximum                                                                                                                                                      |
| <u>Kurswinkel-Anzeigegerät</u>         | Der ARK-11 besitzt keine eigenen Anzeigegeräte. Die ARK-Peilungen sind auf die beiden JKU-1 (aus dem Gerätesatz von Kurs MP-1), auf den Navigator-Kurszeiger "USchDB-2" und die Navigationsanzeigegeräte "NKP-4" aufschaltbar. |

### 3. Wirkungsweise

Die Möglichkeit zur Peilung beruht auf der Richtcharakteristik einer Rahmenantenne. Das Richtdiagramm einer Rahmenantenne hat die Form einer 8 (Doppelkreischarakteristik). Das Maximum der Antennen-EMK entsteht dann, wenn die Ebene der Antennenwindungen mit der Richtung auf das anzupeilende Funkfeuer zusammenfällt. Stehen Antennenebene und Richtung zum Funkfeuer senkrecht zueinander, ist die induzierte EMK Null. Dies ist das Empfangskriterium und wird zur Peilung benutzt. Dreht sich die Rahmenantenne aus dem Empfangsminimum nach rechts bzw. nach links, so haben die in diesen Fällen induzierten EMK einen Phasenunterschied von  $180^\circ$  zueinander ( $U_{\text{Rahmen}} = 2 I_a E \frac{\pi}{\lambda} \cos(\varphi)$ ). Siehe Abb. 1 - 3!

Das Vorzeichen von  $U_R$  ändert sich entsprechend dem  $\cos$ -Verlauf nach dem Nulldurchgang. Phasenlage der induz. Spannung entgegengesetzt! Damit ändert sich das Vorzeichen in der Doppelkreischarakteristik entsprechend.

Abb. 1 "Drehrahmen"



In der Gleichung bedeuten:

$E$ : Feldstärke

$\lambda$ : Wellenlänge

$(H)$ : Einfallswinkel der Welle

Abb. 2 " $U_R = f(\alpha)$ "

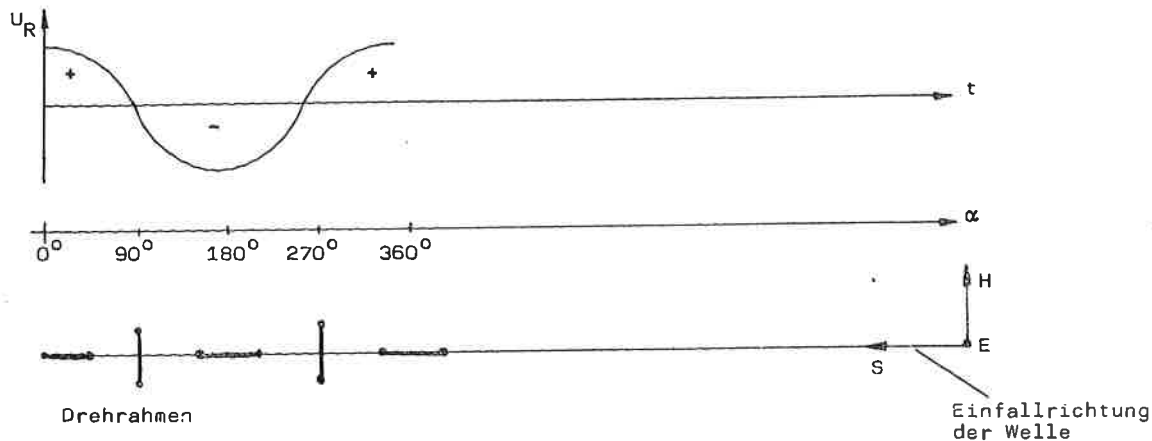
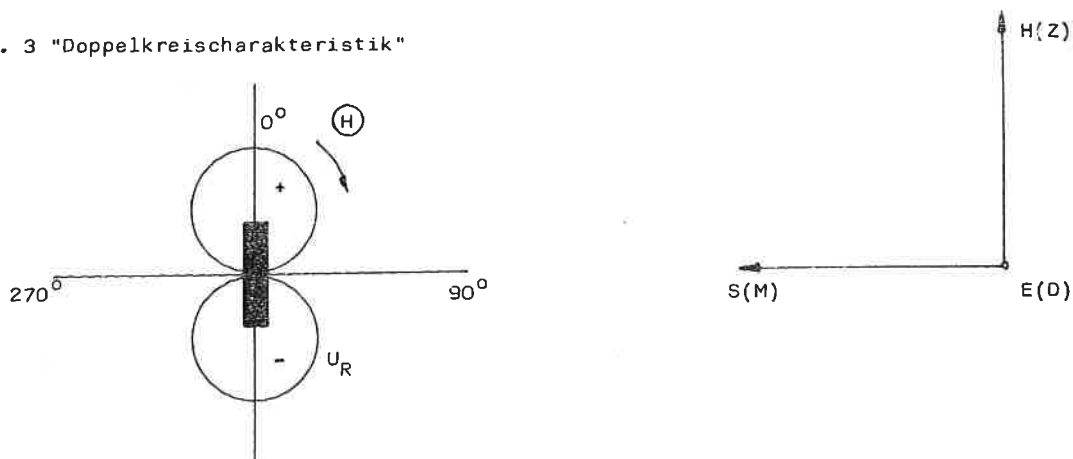


Abb. 3 "Doppelkreischarakteristik"

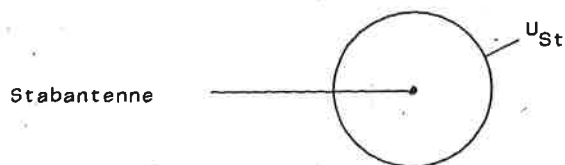


( $H$ : Vektor der magnetischen Feldstärke,  $E$ : Vektor der elektrischen Feldstärke,  $S$ : Vektor in Ausbreitungsrichtung)

Bei  $(H) = 90^\circ$  und  $270^\circ$  nimmt die im Rahmen induzierte Spannung ein Minimum an, da dann der  $H$ -Vektor parallel zur Rahmenebene schwingt (s. Induktionsgesetz:  $e = -w \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  !)  
Die Peilung ist zweideutig, da zwei um  $180^\circ$  versetzte Minima und Maxima auftreten.

Das Bodensignal gelangt gleichzeitig auch zu einer ungerichteten Antenne (Schleifen- oder Langdrahtantenne), deren Diagramm Kreisform hat. Größe und Phasenlage der von dieser Antenne aufgenommenen Signale sind also unabhängig von der Richtung zum Bodenfeuer.

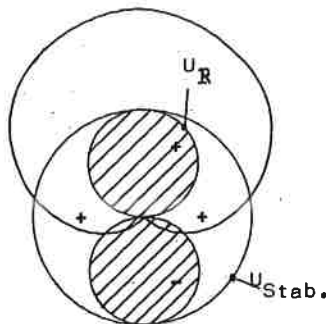
### Richtcharakteristik:



Die Signale beider Antennen werden im Empfänger verstärkt und so zusammengesetzt, daß ein resultierendes herzförmiges Richtdiagramm (Kardioide) entsteht, welches nur eine einzige Minimumstellung aufweist (eindeutige Peilung). Der Empfänger liefert eine Steuerspannung, die die Rahmenantenne so lange nachdreht, bis die Minimumstelle des Richtdiagramms in Senderrichtung weist.

Diese Rahmenstellung, bezogen auf die Flugzeug-Längsachse, ist dann der Peilwinkel der Bodenstation "KWF" und wird auf die Kursanzeiger gegeben.

### Kardioide



## 4. Funktion und Betrieb

### 4.1. Allgemeine Angaben

Der Empfänger des ARK-11 ist ein Doppelsuper. Der Empfangsbereich 120 bis 1340 kHz ist in 8 Unterbereiche mit je 160 kHz Überdeckung aufgeteilt. Hohe Abstimmgenauigkeit wird durch einen hochstabilen 1. Oszillator und einen quarzgesteuerten 2. Oszillator sichergestellt. Der Empfänger ist von Hand durchstimmbar, kann aber auch automatisch durch Knopfdruck auf eine von 9 vorwählbaren Festfrequenzen abgestimmt werden. Am Bedienpult befinden sich Frequenzskalen, die sowohl bei Handabstimmung als auch bei der Voreinstellung der Restfrequenzen verwendet werden.

Der Empfänger ist auf schmales bzw. breites Durchlaßband umschaltbar, wobei Schmalbandbetrieb bei starken Störungen verwandt wird.

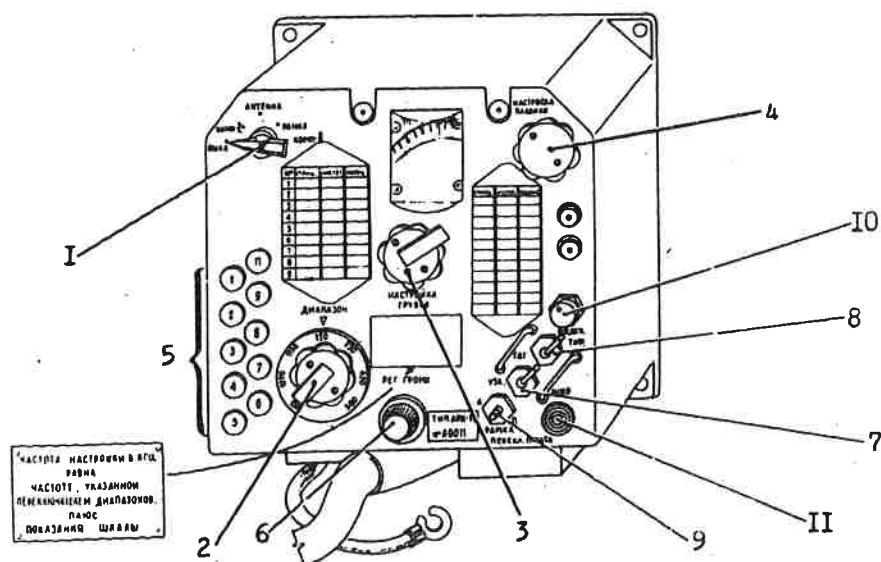
### 4.2. Bedienorgane und ihre Aufgaben

Sämtliche Funktionen des ARK-11 werden durch Fernbedienung gesteuert. Alle Organe sind auf dem Pult zusammengefaßt (s. Abb. "Bedien- und Steuerorgane des ARK-11")

#### Aufgaben der Bedienorgane:

- 1 - Betriebsartenschalter zur Einschaltung der Anlage und zur Auswahl der Betriebsarten
  - "Kompaß 1"
  - "Antenne"
  - "Rahmen"
  - "Kompaß 2"

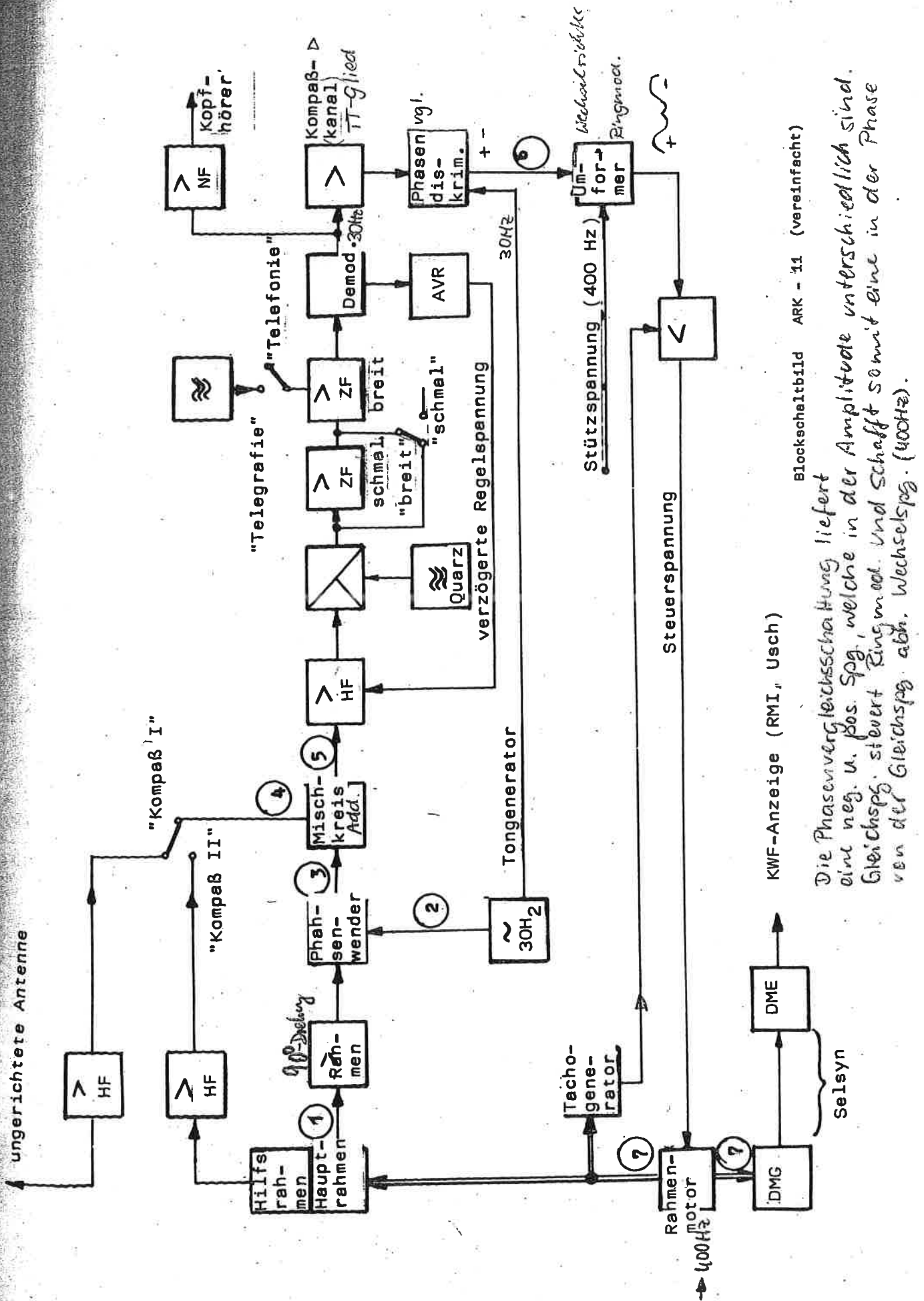
- 2 - Umschalter "Bereich" zur Umschaltung der Unterbereiche bei Hand- sowie automatischer Umstimmung (der Hebel-Fixator dient zur Entriegelung der Speichermechanismen bei Vorwahl einer neuen Festfrequenz; er ist bei gedrücktem Knopf "p" nicht wirksam).
- 3 - Drehknopf "Grobabstimmung" mit Hebel-Fixator zur schnellen Grobeinstellung der Frequenz (für den Fixator gilt dasselbe wie unter 2).
- 4 - Drehknopf "Feinabstimmung" zur Genauigkeitseinstellung der geforderten Frequenz; wirkt erst nach Hineindrücken bis zum Anschlag. Beim Einstellen von Vorwahlfrequenzen wirkt der Knopf nur, wenn der Fixator am Drehknopf "Grobabstimmung" geöffnet ist.
- 5 - Druckknöpfe: Knopf "P" zum Einschalten der kontinuierlichen Handabstimmung; Knöpfe "1" bis "9" zum automatischen Einstellen einer der 9 vorgewählten Festfrequenzen. Im Betrieb muß einer von den 10 Knöpfen unbedingt gedrückt sein.
- 6 - Drehknopf "Reg. Lautst." zur Regelung der Verstärkung in den Betriebsarten "Antenne" und "Rahmen" sowie zur Einstellung der NF-Lautstärke bei "Kompaß 1" und "Kompaß 2".
- 7 - Umschalter "Schmal - Breit" zur Umschaltung des Empfänger-Durchlaßbandes.
- 8 - Umschalter "Tlg. - Tlf." zur Umschaltung zwischen A1- und A3-Sendersignalen.
- 9 - Umschalter "Rahmen l - r" zur absichtlichen Rahmendrechung nach links bzw. rechts. Bei Betriebsart "Kompaß 1" und "Kompaß 2" dreht sich Rahmen dabei schnell, bei "Antenne" und "Rahmen" langsam.
- 10 - Drehknopf "Beleuchtung" zur Regelung der Pultinnenbeleuchtung.
- 11 - Druckknopf "Pultumschaltung" zur Übernahme der Bedienung, wenn die Variante mit zwei Pulten pro Kompaß vorliegt. (Bei IF ein Pult pro Kompaß stets vorhanden!)



#### 4.3. Betriebsart "Kompaß 1" (Abb. "Blockschaltbild")

Bei Arbeit in dieser Betriebsart erfolgt der Empfang mittels zweier Antennen, der Rahmenantenne und der ungerichteten Hilfsantenne (Schleifenantenne). Die im Rahmen induzierte EMK wird nach Verstärkung zum Phasenkommutator geleitet. Hier wird diese Spannung periodisch um  $180^\circ$  mit der Folgefrequenz eines eingebauten Tongenerators umgetastet. Die so umgetastete Spannung gelangt zum Summierkreis, wohin auch die Spannung der ungerichteten

1. Vor-  
 2. Frequenz  
 3. wirkt  
 4. wirkt  
 5. "1"  
 6. Be-  
 7. "anne"  
 8. "2"  
 9. "An-  
 10. zwei  
 11. ahmen-  
 12. erte  
 13. ario-  
 14. so um-  
 15. ten

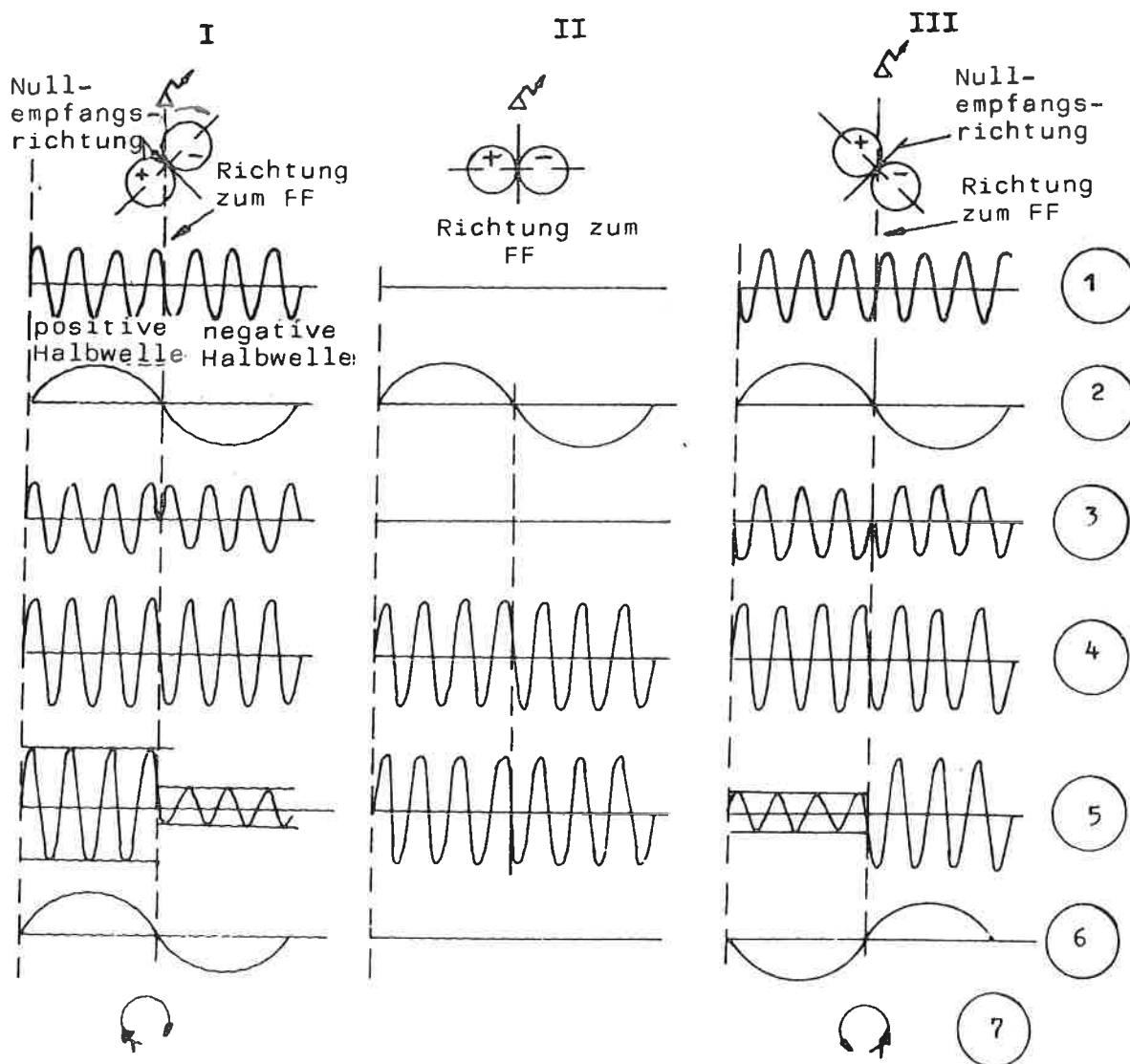


Blockschaltbild ARK - 11 (vereinfacht)

Die Phasenvergleichsschaltung liefert eine neg. u. pos. Spg., welche in der Amplitude unterschiedlich sind. Gleichspg. steuert Ringmod. und schafft somit eine in der Phase von der Gleichspg. abh. Wechselspg. (400Hz).

Antenne geführt wird. Stimmen in der Summierstufe die Phasenlagen beider Teilspannungen überein, erhält man eine Vergrößerung des Signals, unterscheiden sie sich dagegen um  $180^\circ$  erscheint die Differenz der Teilspannungen (— Abb. "Spannungsdiagramm"). Durch das ständige Umtasten des Rahmensignales liefert der Summatorausgang ein moduliertes Signal, dessen Modulationsinhalt die Bodensenderfrequenz und dessen Modulationsfrequenz die des eigenen Tongenerators sind. Die Modulationsamplitude hängt von der Ablage des Rahmendiagramms bezüglich Senderrichtung ab. Die Phasenlage der Modulationshüllkurve ( $0^\circ$  bzw.  $180^\circ$ ) wird durch das Vorzeichen der Ablage (rechts bzw. links) bestimmt. Die Spannung vom Summatorausgang kommt zum eigentlichen Empfänger, wo sie in bekannter Weise verarbeitet wird. Der Demodulator liefert eine Hüllkurve, die die Frequenz des Tongenerators hat. Im Kompaßkanal wird diese verstärkt und zur Steuerschaltung geleitet. Die Steuerschaltung liefert daraus eine 400-Hz-Spannung, deren Phasenlage von der Phase der Hüllkurve abhängt. Die Phasenlage der 400 Hz-Spannung bestimmt die Drehrichtung des Motors, die Amplitude dagegen das Drehmoment des Motors. Die 400 Hz-Spannung geht zur Steuerwicklung des Rahmenmotors, der durch Rechts- bzw. Linksdrehung den Rahmen zum Peilminimum führt. Die jeweilige Stellung des Rahmens wird durch Selsynübertragung an die Kursanzeiger weitergegeben.

## 2 Spannungsformen an einigen charakteristischen Punkten des Blockschaltbildes



#### 4.4. Betriebsart "Kompaß 2"

Bei Arbeit in dieser Betriebsart wird anstelle der ungerichteten Hilfsantenne eine zweite Rahmenantenne, der Hilfsrahmen, angeschaltet.

Die Windungsebene dieses Rahmens liegt senkrecht zu der des Hauptrahmens. Das Empfangsmaximum des Hilfsrahmens liegt damit in Richtung des Peilminimums des Hauptrahmens, also in Richtung zum Bodensender.

Bei Ablagen des Hauptrahmens im Bereich von  $\pm 90^\circ$  zur Senderrichtung arbeitet der ARK ebenso wie in der Betriebsart "Kompaß 1". Übersteigt die Ablage diese Grenzen, so kehrt sich das Vorzeichen der Signalspannung im Hilfsrahmen um. Daher springt auch die Phase des Ausgangssignales am Phasenkommutator um  $180^\circ$ , und der Rahmen beginnt, sich in entgegengesetzter Richtung zu drehen. Der Rahmen wird in das Peilminimum geführt, das sich aber vom Gesuchten um  $180^\circ$  unterscheidet. Es entsteht eine Zweideutigkeit der Peilung. Um diese zu klären, ist auf die eindeutige Betriebsart "Kompaß 1" umzuschalten.

Die Betriebsart "Kompaß 2" liefert jedoch genauere Peilwerte bei Einwirkung elektrostatischer Störungen.

Im praktischen Betrieb sind daher beide Betriebsarten kombiniert zu verwenden, indem zunächst zur Bestimmung der Vor-Rückwärts-Richtung "Kompaß 1" benutzt wird und danach auf "Kompaß 2" umgeschaltet wird.

#### 4.5. Betriebsart "Rahmen"

Der Phasenkommutator arbeitet als gewöhnlicher HF-Verstärker.

Tongenerator und Motor-Steuerschaltung sind abgeschaltet, und der Empfänger arbeitet nur zur Verstärkung der Signale des Rahmens. Die Drehung des Rahmens erfolgt ohne Servosystem direkt vom Netzteil mit Hilfe des Umschalters "Rahmen 1-r".

Eine Peilung von Bodenstationen erfolgt durch Rahmendrechung von Hand bis zur Auffindung des Minimums, d. h. geringste Lautstärke in den Kopfhörern bzw. Minimum am Abstimmgerät.

#### 4.6. Betriebsart "Antenne"

Tongenerator, Motor-Steuerschaltung und gesamter Rahmenkomplex sind abgeschaltet. Der ARK arbeitet als normaler Mittelwellenempfänger.

Die Betriebsart wird zur bequemen Abstimmung auf eine Bodenstation oder zur Verwendung des ARK als Reserve-Empfänger benutzt. (Am SPU-Pult dann "PH I/II" bzw. "PK I/II" einstellen.)

#### 5. Hauptdaten

Die Anlage ARK-11 benötigt die Bordnetze 115 V/400 Hz und 27 V, sowie 36 V/400 Hz

Arbeitsfrequenzbereich: 120 bis 1340 kHz  
(8 Unterbereiche)



1. Aufgabe

Das Landesystem liefert Informationen über den genauen Landekurs, den exakten Gleitwinkel und die Entfernung zur Landebahnschwelle entlang der Anfluggrundlinie.

2. Landekursanlage (Localiser)

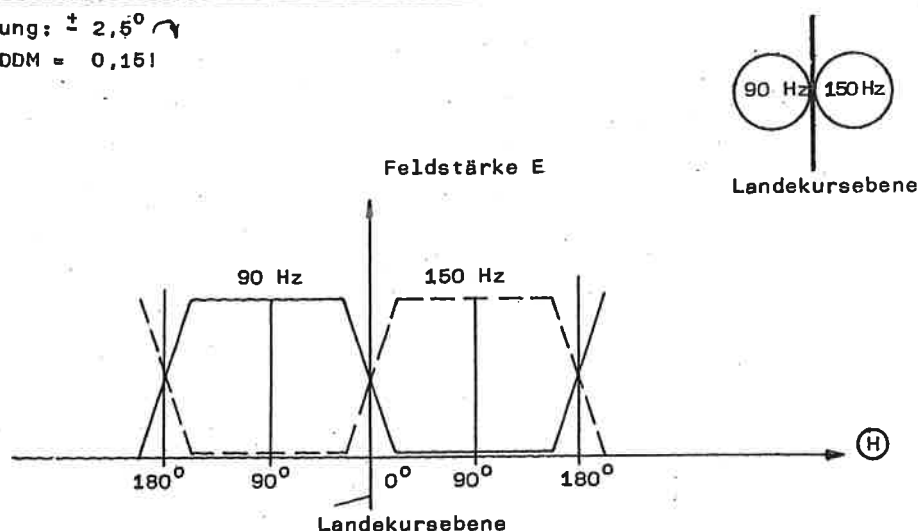
Wird eine aus mehreren Antennen bestehende Anlage mit unterschiedlichen Frequenzen oder Spektren gespeist, so tritt eine Richtungsabhängigkeit der Modulation auf. Diese Abhängigkeit wird durch die Modulationsgradcharakteristik beschrieben. Zur Erzeugung einer derartigen Charakteristik wird ein HF-Träger gleichzeitig mit den Frequenzen von 90 Hz und 150 Hz in der Amplitude moduliert. Durch eine entsprechende Einspeisung der Seitenbandenergien strahlt das Antennensystem derart, daß auf der einen Seite der SLB die 90 Hz-Charakteristik und auf der anderen Seite der SLB die 150 Hz-Charakteristik überwiegt. Der geometrische Ort aller Punkte, an denen die Differenz der Modulationsgrade (DDM) Null ist, stellt einen Leitstrahl dar, der als Landekurs verwendet wird.

Siehe dazu die Abbildungen "Seitenbanddiagramme - polare/kartesische Darstellung".

Seitenbanddiagramm: kartesische Darstellung

Abweichung:  $\pm 2,5^\circ$

DDM = 0,151



Das Kriterium für die Bordanzeige ist das Überwiegen der einen oder anderen Modulation bzw. die neutrale Mittelstellung am Kreuzzeigerinstrument. Das Kreuzzeigerinstrument ist ein Kommandogerät. Bei Ausschlag nach links muß der Pilot nach links fliegen, bis der Ausschlag verschwindet. Entsprechend umgekehrt nach rechts.

Zusätzlich wird die Ausstrahlung mit einer Kennung von 1020 Hz zur Identifizierung der empfangenen Frequenz versehen.

Die Landekursanlage arbeitet im Frequenzbereich von 108 - 112 MHz im 100 KHz-Raster (alle ungeradzahlgigen Dezimalen). Die Sendeleistung von ca. 100 W gewährleistet eine Reichweite von 45 km. Die Abstrahlung wird durch Felddetektoren überwacht.

Zulässige Toleranzen:

Kategorie I: maximal  $\pm 10,5$  m an der Schwelle

Kategorie II: maximal  $\pm 7,5$  m an der Schwelle

Kategorie III: maximal  $\pm 6,0$  m an der Schwelle

Die Verarbeitung der Signale ist aus den Abbildungen "ILS-Kursem Empfänger" und "Blockschaltbild UN-1P" zu erkennen.

Die Summe der Modulation wird zur Ausfallsignalisation verwendet.

Sobald die Summe einen vorgegebenen Pegel überschreitet, werden die Schauzeichen (Flaggen) an den Kreuzzeigerinstrumenten gezogen und damit eine ausreichende Empfangsfeldstärke signalisiert.

### 3. Gleitweganlage (Glide Path)

Die Gleitwegebene wird ebenfalls durch die Gleichheit der Modulationsgrade definiert. Die Schnittlinie von Landekurs- und Gleitwegebene wird als Gleitlinie bezeichnet. Damit sind die für den Anflug wichtigsten Koordinaten Azimut und Erhebungswinkel gegeben. Das Schema des Systems ist aus der Abb. "Kurs- und Gleitwegebene" zu ersehen.

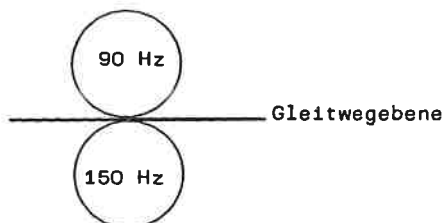
Der Gleitwegsender steht etwa 150 m seitlich von der SLB und strahlt einen NF-Träger im Bereich von 328 ... 336 MHz ab, der ebenfalls mit 90 Hz und 150 Hz gleichzeitig moduliert ist. Das Überwiegen der einen oder anderen Modulation wird ebenfalls am Kreuzzeigerinstrument per Kommandoanzeige signalisiert. Eine Ausfallsignalisation ist ebenfalls vorhanden. Die Gleitwegebene ist gegen die Landebahn um etwa  $2,5^\circ$  geneigt. Die Sendeleistung von etwa 60 W sichert eine Reichweite von mindestens 18 km.

Die relative Feldstärke der Seitenbänder ist aus der Abb. "Gesamtdiagramm" ersichtlich. Bei Abweichungen nach oben oder unten um  $0,5^\circ$  steigt die Differenz auf 0,175!

Zulässige Toleranzen:

Kategorie I/II: max.  $\pm 0,2^\circ$

Kategorie III: max.  $\pm 0,12^\circ$



Die Abstrahlung wird ebenfalls durch Felddetektoren überwacht.

### 4. Einflugzeichen (Marker)

Als dritte Koordinate für den Anflug wird durch Marker, die entlang der Anfluggrundlinie stehen, die Entfernung bis zur Landebahnschwelle signalisiert.

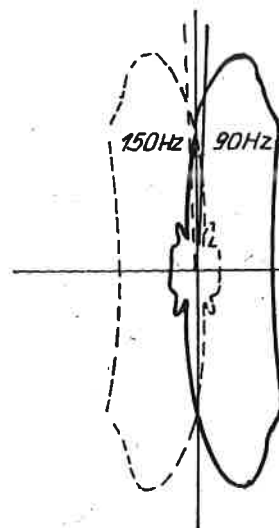
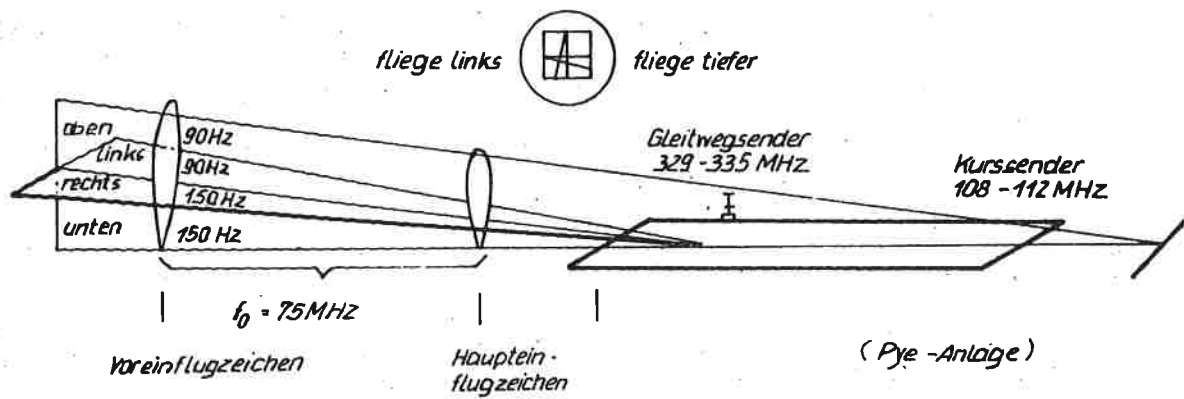
Die Energie wird mit der Frequenz von 75 MHz gebündelt senkrecht nach oben abgestrahlt. Das Voreinflugzeichen (Outer Marker) steht  $\approx 7$  km vor der Schwelle und ist mit 400 Hz moduliert (Strichtastung). Das Haupteinflugzeichen (Middle Marker) steht  $\approx 1$  km vor der Schwelle und ist mit 1300 Hz moduliert (Punkt-Strich-Rhythmus-Tastung).

Am Bedienpult der Funkanlagen wird mit dem Schalter "Streckenflug - Landung"

(МАРШРУТ - ПОСАДКА) die Empfindlichkeit des Markierungsfunkempfängers entsprechend geändert (s. Abb.).

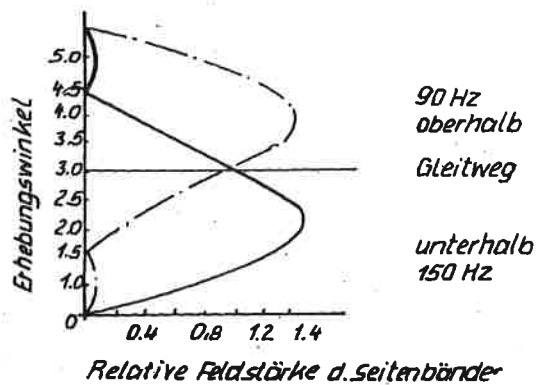
Die prinzipielle Signalverarbeitung ist aus der Abb. "Markerempfänger" zu entnehmen.

### 1. Kurs- und Gleitwegebene



Seitenband-Diagramme der 90 Hz und 150 Hz-Modulation eines Landefunkfeuers (polare Darst.)

### 3. Gesamtdiagramm eines Gleitwegsenders





## 1. Aufgabe

Das Landesystem gibt dem Piloten die Möglichkeit, die genaue Richtung (Landekurs) einzuhalten, in dieser Richtung unter einem bestimmten Winkel (Gleitwinkel) die Flughöhe zu vermindern und mittels Markern die genaue Entfernung zum Aufsetzpunkt zu erhalten.

## 2. Landekursanlage

Die Landekursanlage arbeitet wie beim ILS im Frequenzbereich von 108,3 bis 110,3 MHz (100 KHz-Schritte, <sup>jede 2.</sup> ~~alle~~ ungeradzahigen Dezimalen).

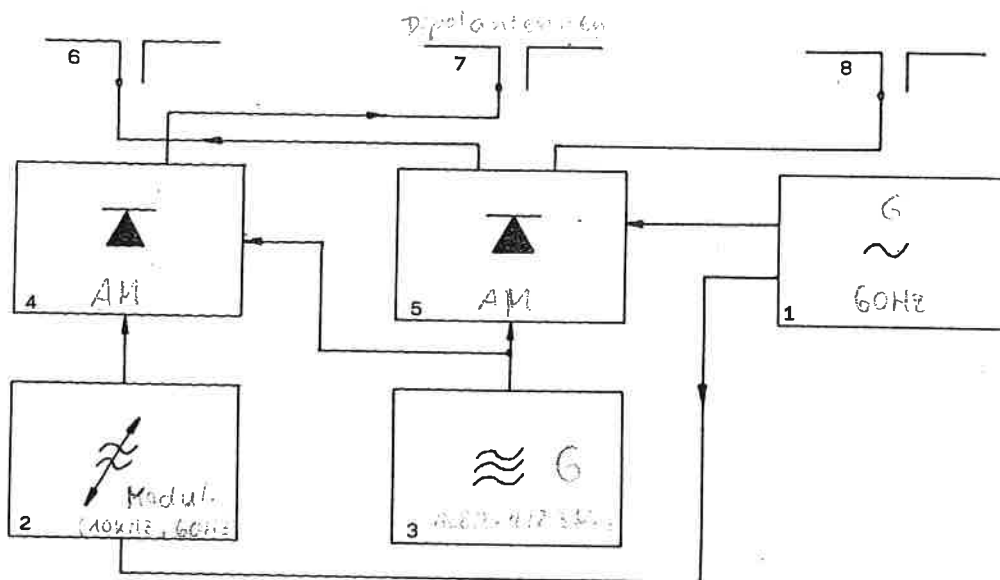
Das Kriterium für den Kurs ist der Betrag und die Phase einer azimutabhängigen 60 Hz-Spannung im Vergleich zu einer azimutunabhängigen 60 Hz-Spannung. Die Übertragung des Bezugssignales erfolgt durch einen mit 60 Hz frequenzmodulierten 10 KHz-Hilfsträger (Analogie zum VOR-Verfahren!).

Die Phasenlage der azimutabhängigen 60 Hz-Spannung (Wechselphase) gibt an, ob die Abweichung links oder rechts vom Sollkurs vorhanden ist, während der Betrag dieser Spannung bezogen auf die Amplitude des Bezugssignales (Gleichphase) die Größe der Abweichung darstellt.

Die Signalverarbeitung ist aus dem Blockschaltbild "UN-1P" zu entnehmen.

**Bilanz:** Phasenlage  $\curvearrowright$  Richtung der Abweichung  
Amplitude  $\curvearrowright$  Größe der Abweichung

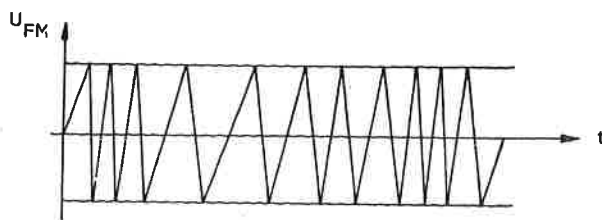
## Blockschaltbild: Landekurssender



## Legende:

1: 60 Hz-Oszillator

2: Frequenzmodulator (der 10 KHz-Subträger wird mit 60 Hz in der Frequenz moduliert)

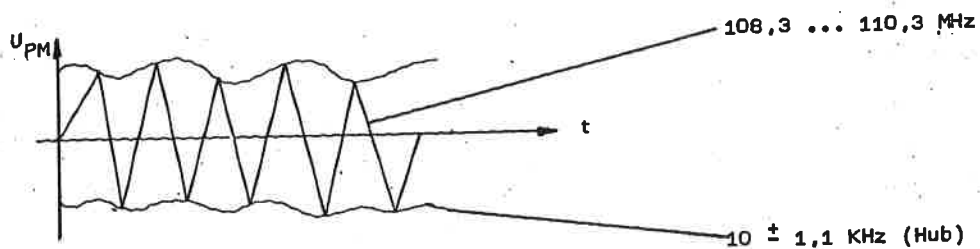


$$U_{HF} = 10 \text{ KHz}$$

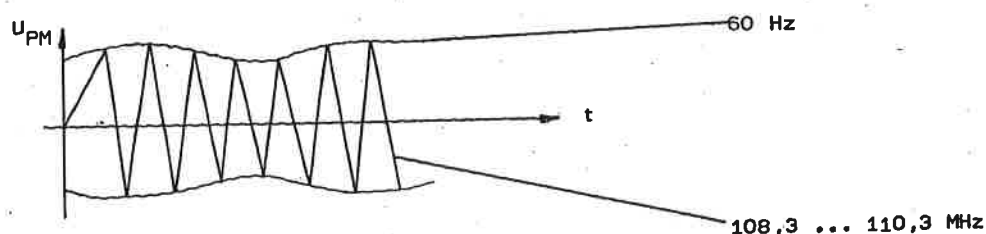
$$U_{NF} = 60 \text{ Hz}$$

$$q = 1,1 \text{ KHz (Frequenzhub)}$$

- 3: HF-Generator (Frequenzbereich: 108,3 bis 112,3 MHz)  
 4: Amplitudenmodulation (Die erzeugte HF-Spannung wird mit dem Subträger in der Amplitude moduliert.)

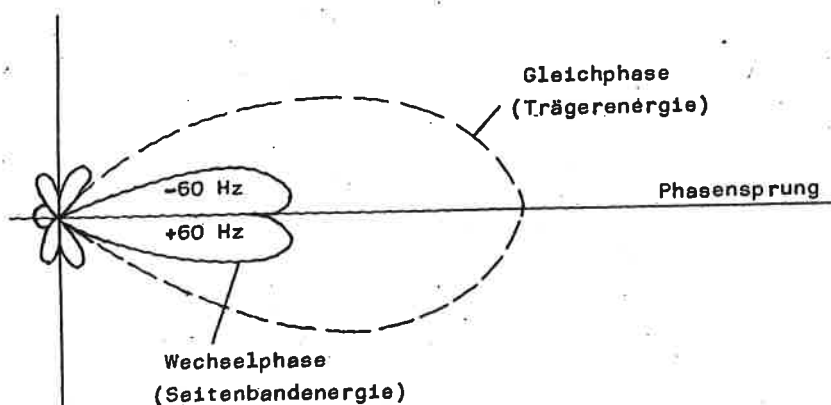


- 5: Amplitudenmodulation (Die erzeugte HF-Spannung wird mit der Signalfrequenz von 60 Hz in der Amplitude moduliert.)



- 6: Dipolantennen (Einspeisung der 60 Hz-Seitenbänder mit entgegengesetzter Phasenlage, Erzeugung der Wechselphase I)  
 7: Dipolantenne (Einspeisung des mit dem Subträger modulierten HF-Trägers, Erzeugung der Gleichphase I)

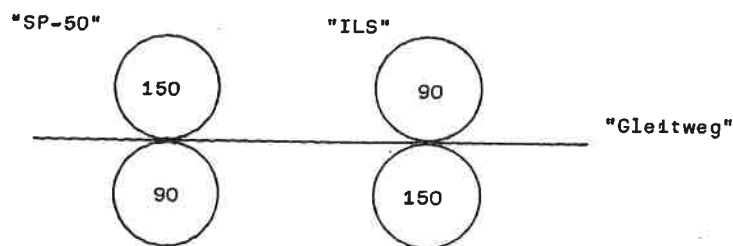
#### Richtcharakteristik



#### 4. Gleitweganlage

Wie beim ILS-System wird auch hier ein quarzstabilisierter Sender gleichzeitig mit den Frequenzen 90 Hz und 150 Hz in der Amplitude moduliert.

Auch in der bordseitigen Auswertung ist kein Unterschied vorhanden. Lediglich die Signale sind gegenüber dem ILS-System vertauscht (s. Skizze).



Frequenzbereich: 332,6 ... 335,0 MHz (jeweils wie beim ILS den entsprechenden Landekursfrequenzen zugeordnet)

Kriterium: DDM

Mindestreichweite: 18,5 km

Hinweis: Die Modulationsfrequenz der Markierungsfunkfeuer beträgt einheitlich 3000 Hz!

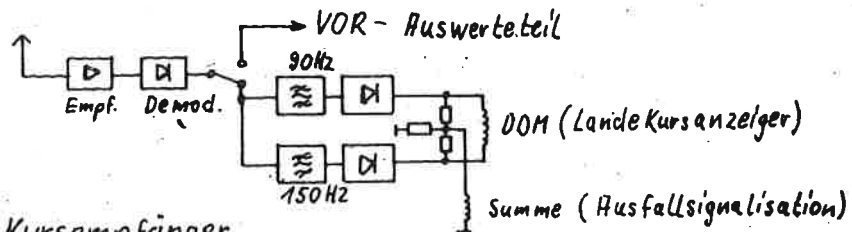
1

Abstand VEZ zum Aufsetzpunkt: 4000 m

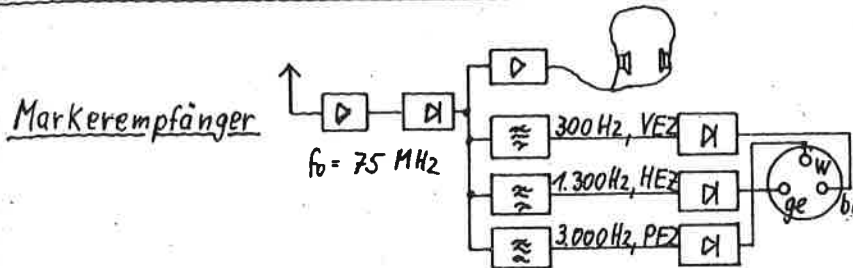
Abstand HEZ zum Aufsetzpunkt: 1000 m

Hinweis: Während der Symmetrierung des Kurskanals mit Hilfe des Balanceblockes wird die Wechselphase unterdrückt, d. h. es ist nur der Empfang der Gleichphase notwendig! Während der Symmetrierung wird der Umschalter am Bedienpult der Funkanlagen auf "1" gestellt (s. Pultabb.) und mit dem linken Knopf des Balanceblockes der Kurs und mit dem rechten Knopf der Gleitweg für den linken NKP (Kreuzzeigerinstrument) abgestimmt. Danach den Umschalter auf "2" stellen und analog die Abstimmung für den rechten NKP vornehmen.

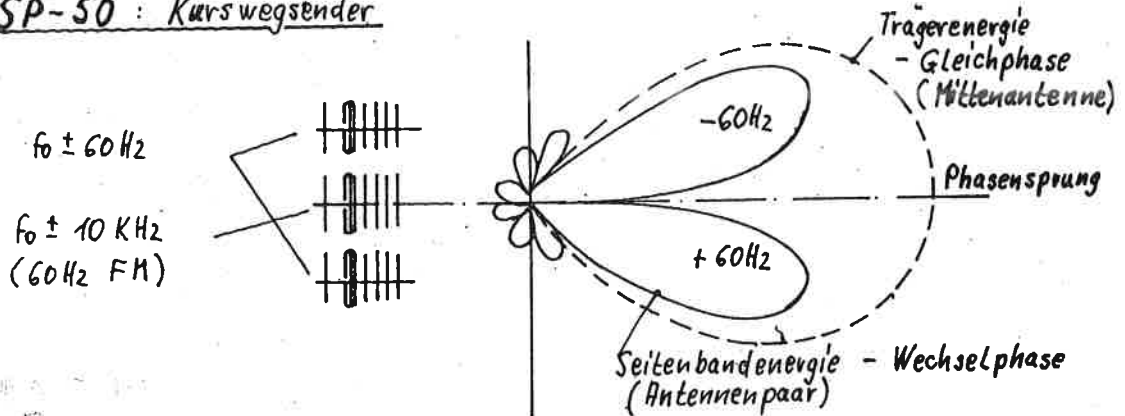
2



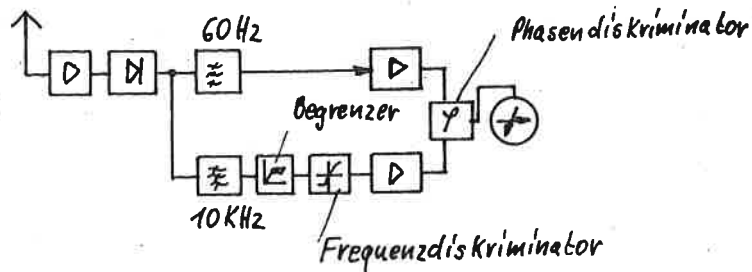
### JLS - Kursempfänger



### SP-50 : Kurswgsender



### SP-50 : Kursempfänger





### 1. Aufgabe

Das Drehfunkfeuer arbeitet im Frequenzbereich von 112 - 118 MHz und dient der Kurz- und Mittelstreckennavigation. Das System liefert Informationen über die Richtung des Luftfahrzeuges zur VOR-Station (Standlinie: Gerade). Durch den UKW-Bereich ist der Empfang relativ störungsarm und die Reichweite von der Höhe des Luftfahrzeuges abhängig (VOR: Very High Frequency Omni Range).

### 2. Wirkungsprinzip

Messung der Phasendifferenz zwischen zwei niederfrequenten Schwingungen der gleichen Frequenz (30 Hz). Die Phasenlage der einen Schwingung ist abhängig vom Azimut und liefert die Richtungsinformation (Umlaufsignal). Die Phasenlage der anderen Schwingung ist azimutunabhängig und dient als Bezugssignal. Der jeweils gemessene Phasenwinkel entspricht dann dem Azimutwinkel des Luftfahrzeuges zur Bodenstation.

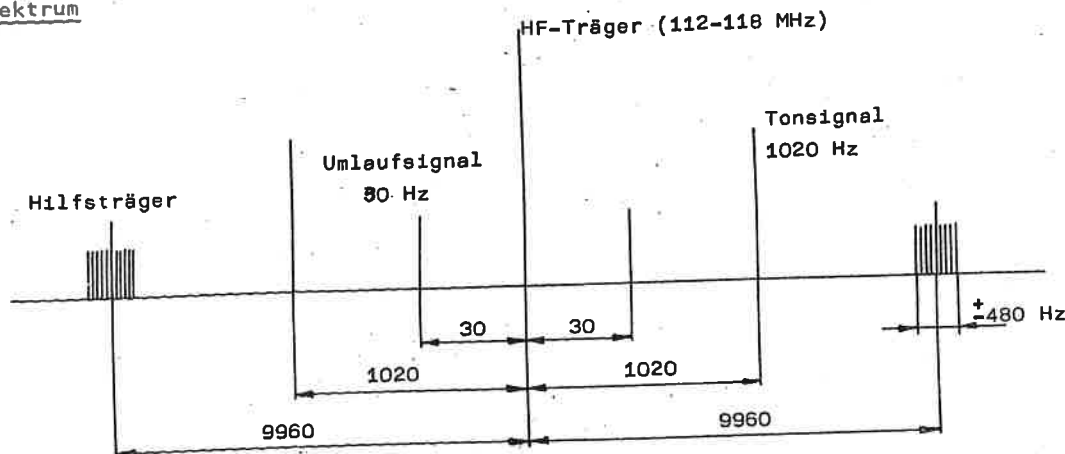
### 3. Bodenstation (s. Abb. "Blockschaltbild und Richtcharakteristik")

Über eine rotierende Dipolantenne (30 Hz) wird ein unmodulierter HF-Träger mit Doppelkreischarakteristik als Umlaufsignal ( $U_V$ ) ausgesendet. Diese Antenne erhält etwa 10 % der sendeseitigen HF-Leistung.

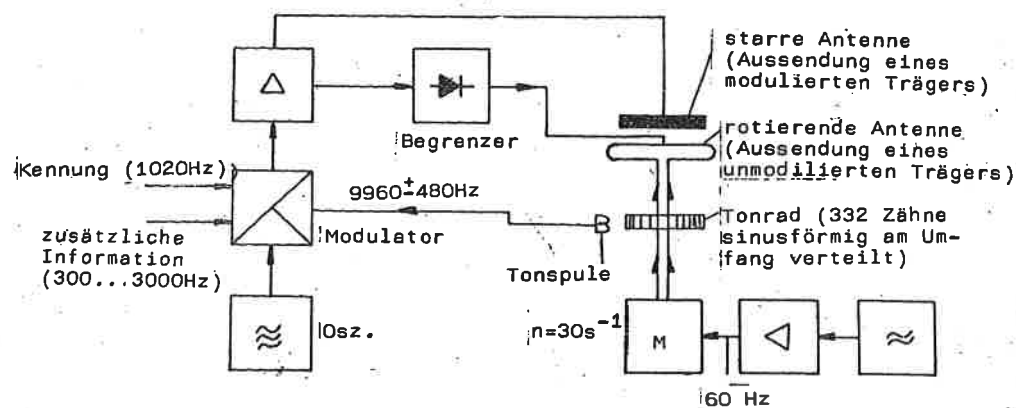
Über eine starre Scheibenantenne wird gleichzeitig ein amplitudenmodulierter HF-Träger mit Rundkreischarakteristik als Bezugssignal ( $U_B$ ) ausgesendet. Diese Antenne erhält etwa 90 % der sendeseitigen HF-Leistung.

Durch die Summenbildung der Komponenten beider Strahlungsfelder ergibt sich als Gesamtstrahlungsfeld eine Kardioid. Auf Grund der Rotation dieser Kardioiden mit  $30 \text{ s}^{-1}$  erscheint an einem Empfänger in Richtung H zum Sender der HF-Träger mit 30 Hz amplitudenmoduliert. Die Phasenlage dieser Modulation ist azimutabhängig. Zur Richtungsermittlung muß eine Bezugsphase zur Verfügung gestellt werden. Diese azimutunabhängige Schwingung gleicher Frequenz kann dem HF-Träger nicht direkt aufmoduliert werden, da dann empfangsseitig keine Trennung der beiden Signale möglich wäre. Das Bezugssignal wird deshalb einem Hilfsträger von 9.960 Hz mit Frequenzmodulation aufgeprägt. Dieser Hilfsträger schwankt um  $\pm 480 \text{ Hz}$  mit 30 Hz und wird dem HF-Träger mit Amplitudenmodulation aufgeprägt (s. "Spektrum"). Das Bezugssignal wird über die starre Antenne bereitgestellt. Zur Übertragung der Kennung wird ein Ton mit  $f = 1020 \text{ Hz}$  getastet und per AM übertragen.

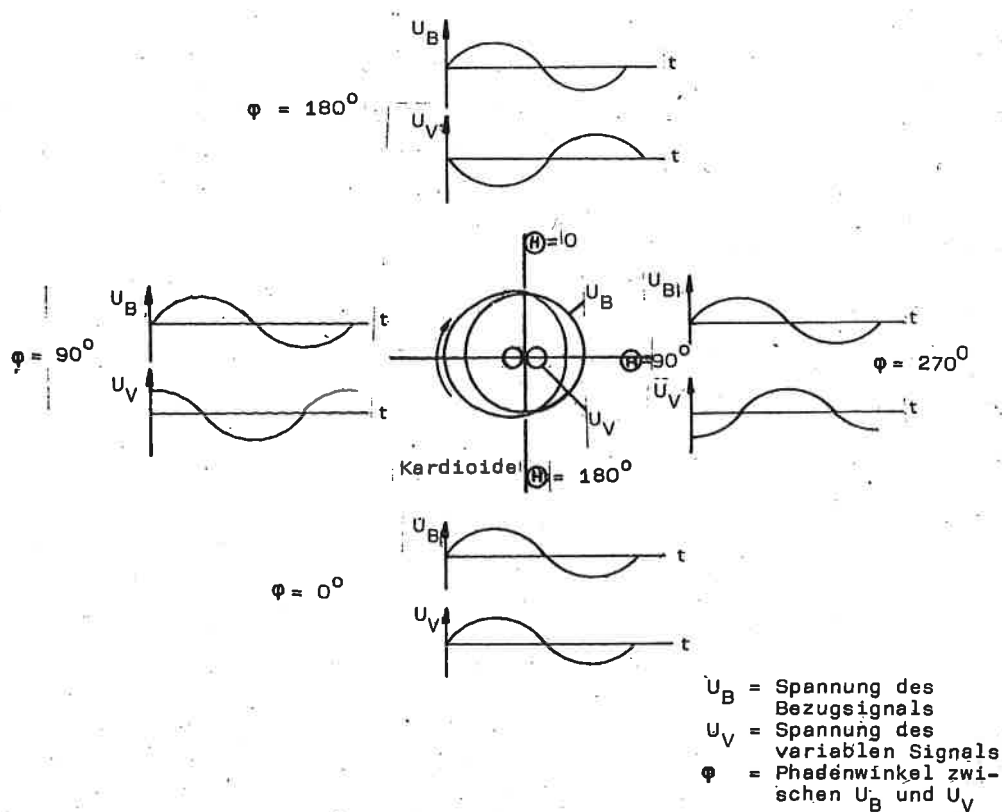
### Spektrum



Die Frequenzmodulation des Hilfsträgers erfolgt mittels eines Tonrades, dessen Zähne am Umfang sinusförmig ( $332 \pm 16$ ) verteilt sind und in einer Spule eine entsprechende Spannung der Frequenz von  $332 \times 30$ ,  $348 \times 30$  bzw.  $316 \times 30$  gleich  $9960 \pm 480 \text{ Hz}$  erzeugt.

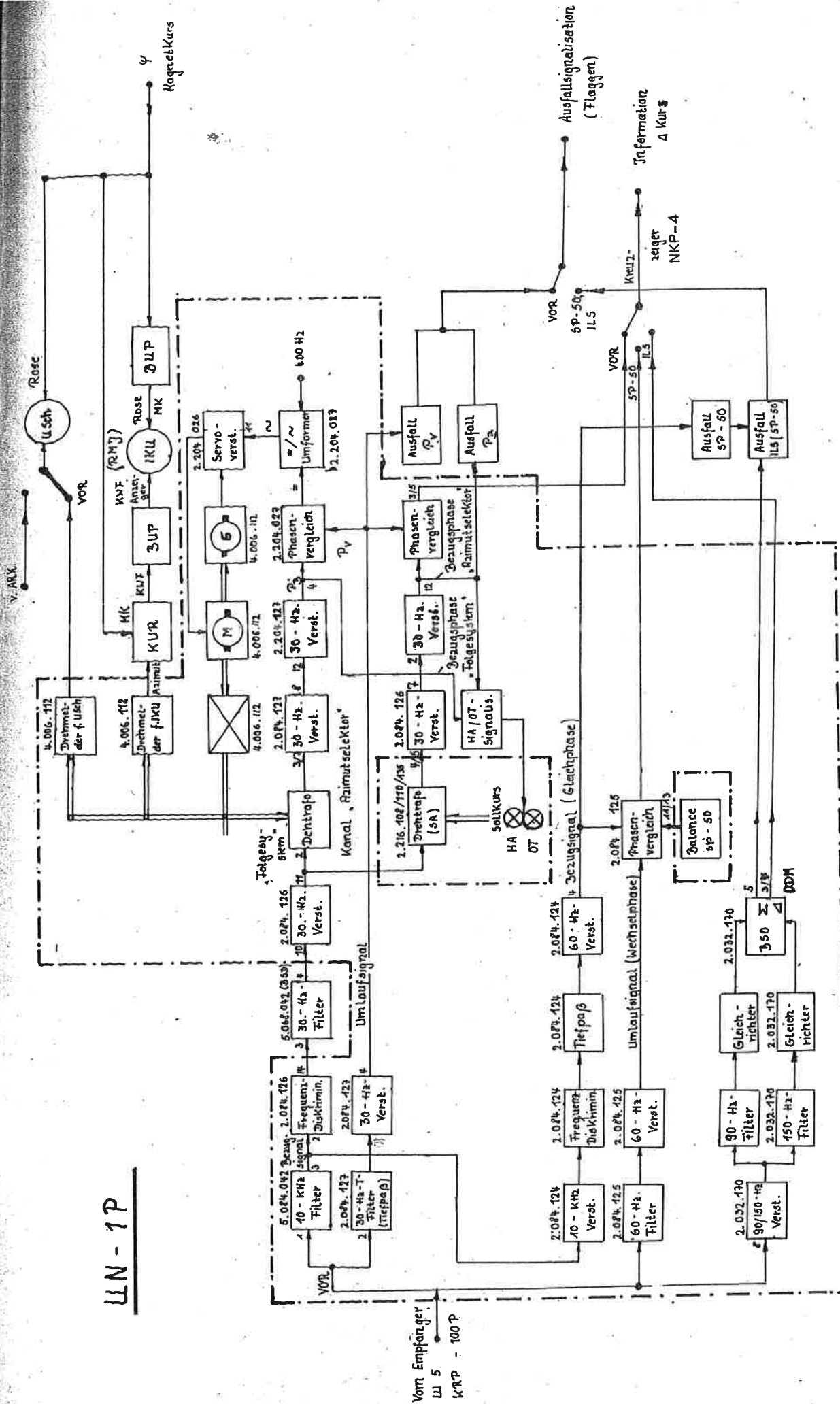


Blockschaltbild VOR - Sender



Richtcharakteristik der Sendeantennen

## UN-1P

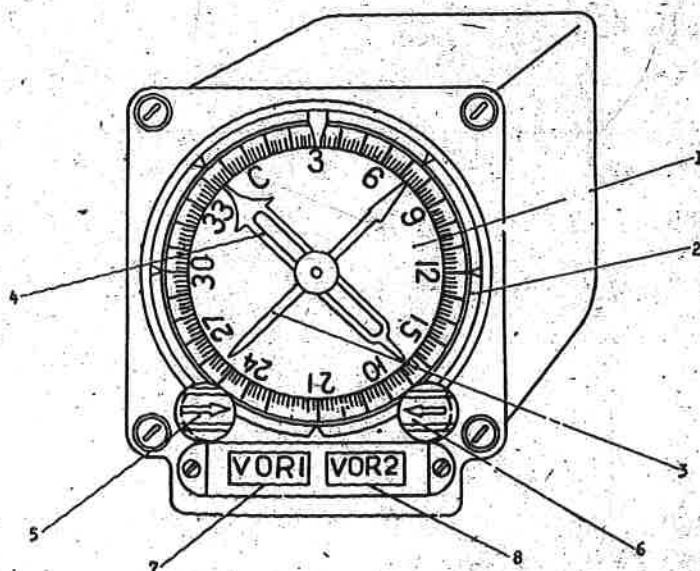


Beide Sendeantennen befinden sich in einem Doppelkäfig. Die Stäbe dieser Käfige werden durch die Strahlungsfelder erregt und verbessern die Abstrahlung der HF-Energie (Anpassung an den Freiraum). Gleichzeitig wirkt der Käfig als Polarisationsfilter zur Unterdrückung der vertikal polarisierten Feldkomponenten. Oberhalb der Bodenstation ist keine Strahlung vorhanden, so daß eine Unsicherheitszone von etwa 10 km bei einer Flughöhe von 12 km und etwa 5 km bei einer Höhe von 6 km für die Kursanzeige existiert.

#### 4. Bordstation/Auswertung (s. Abb. "Blockschaltbild UN-1P")

Durch eine Amplitudendemodulation werden die durch die Kardioidendrehung entstandene 30 Hz-Schwingung ( $U_V$ ) und der frequenzmodulierte Hilfsträger von 9960 Hz ( $U_B$ ) zurückgewonnen. Diese Signale werden durch Filter getrennt und in den Kanal der Bezugsphase und in den Kanal der variablen Phase geleitet. Durch Frequenzdemodulation des Hilfsträgers wird die azimutunabhängige 30 Hz-Schwingung bereitgestellt. Durch einen anschließenden Phasenvergleich beider Schwingungen werden Steuersignale gewonnen, die am Kreuzzeigerinstrument als Kommandoanzeige die Ablage von einem vorgewählten Kurs signalisieren. Um beliebig Kurse fliegen zu können, wird dazu die Phasenlage des Bezugssignals mit einem Kurselektor (Drehtrafo SA) so verändert, daß beim Erreichen des vorgewählten Kurses die Phasendifferenz Null wird.

In der Phasenvergleichsstufe des Folgesystems werden Steuersignale gewonnen, welche über ein Drehmeldesystem am USch-DB und am IKU (RMI) den "KWF" (↗ zwischen Flugzeuglängsachse und der Richtung zur VOR-Station) bzw. den MPF (↗ zwischen Nord und der Richtung zur VOR-Station) durch Einspeisung des Magnetkurses anzeigen. Am "HA-OT-Signalisator" wird außerdem der Anflug bzw. Abflug zur bzw. von der Station angezeigt, da sich beim Überflug die Phasenlage des 30 Hz-Umlaufsignales sprunghaft um  $180^\circ$  ändert. In der Vergleichsstufe des Folgesystems wird damit ein Signal gebildet, welches den Motor für die Winkelanzeigen als auch den Rotor des Drehtrafos um  $180^\circ$  verdreht.



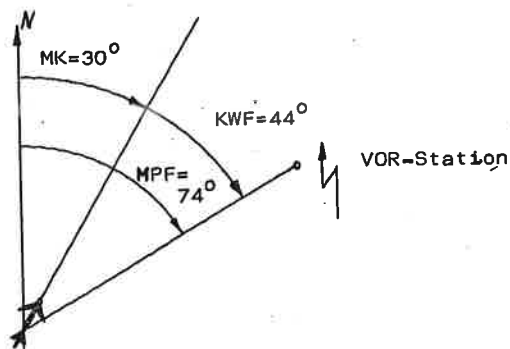
- 1- bewegliche Kursrose (Magnetkursanzeige)
- 2- feste Kurswinkelskala (mit zusätzlichen Markierungen für den Kurvenbeginn beim Anflugverfahren)
- 3- Zeiger der Funkpeilung, 1. Anlage
- 4- Zeiger der Funkpeilung, 2. Anlage
- 5- Umschalter für die speisende Anlage, 1. Zeiger
- 6- Umschalter für die speisende Anlage, 2. Zeiger
- 7- Anzeige der speisenden Anlage, 1. Zeiger
- 8- Anzeige der speisenden Anlage, 2. Zeiger

Funk- und Magnetkursanzeiger IKU-1

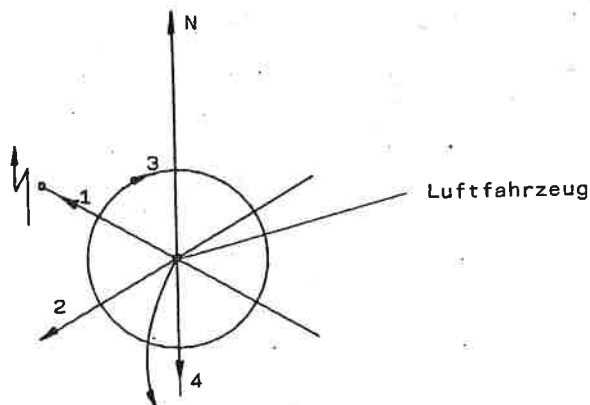
Damit ist auch das Bezugssignal am Ausgang des Verstärkers des Folgesystems (Pkt. 4 der Abb.) um  $180^\circ$  verändert. Im Ergebnis ändern sich die Phasenverhältnisse der Spannungen an der Addierstufe "HA-OT" entsprechend und bewirken eine Umschaltung. Zur Ausfallsignalisation am Kreuzzeigerinstrument muß die Summe beider Signale einen festgelegten Pegel überschreiten.

#### Erläuterung der Anzeige am IKU (RMI) (s. Abb.), Kurswinkelanzeigergerät

1. KWF: Winkel zwischen Flugzeuglängsachse und der Standlinie:  
 Flugzeug - VOR-Station  
 Ablesung: Winkel zwischen Zeiger und fester Marke (Markierung der Flugzeuglängsachse)  
 Beispiel (dünner Zeiger):  $44^\circ$
2. MPF ( $\alpha$ ): Winkel zwischen magnetisch Nord und der Standlinie:  
 Flugzeug - VOR-Station  
 Ablesung: Winkel zwischen Zeiger und sich drehender Skala (Rose)  
 Beispiel:  $74^\circ$
3. Magnetkurs (MK): Winkel zwischen magnetisch Nord und Flugzeuglängsachse  
 Ablesung: Winkel zwischen fester Marke und der sich drehenden Skala  
 Beispiel:  $30^\circ$



#### Fallunterscheidung/Varianten



1. MK und  $\alpha$  sind konstant, KWF =  $0^\circ$ , Zeiger auf Dreiecksmarke, Rose fest
2. MK = konstant, KWF und  $\alpha$  variabel, Rose fest, Zeiger ändert laufend seine Lage
3. MK und KWF variabel,  $\alpha$  = konstant, Zeiger und Rose bewegen sich starr gegenüber der Marke

4. MK,  $\alpha$  und KWF sind variabel, Rose dreht sich gegenüber der Marke, Zeiger gegenüber der Rose

#### 5. Daten

Frequenzbereich: 112 - 118 MHz (alle Dezimalen)  
108 - 112 MHz (alle geradzahligen Dezimalen)  
(Landekursempfänger des ILS verwendbar)

Raster: 100 KHz

Sendeleistung:  $\leq 200$  W

Reichweite:  $r = 4,12 \left( \sqrt{h_{1/m}} + \sqrt{h_{2/m}} \right) \text{ [km]}$

$h_1$ : Sendeantenne

$h_2$ : Flughöhe

max. Gesamtfehler der Bodenanlagen:  $\pm 3,5^\circ$

Gesamtfehler der VOR-Bordgeräte:  $\pm 1,5^\circ$

Gesamtfehler (geometrischer Mittelwert): ca.  $\pm 2^\circ$  (70 % Wahrscheinlichkeit)  
ca.  $\pm 4^\circ$  (90 % Wahrscheinlichkeit)

# Kurs MP-1

## 1. Aufgabe (allgemein)

Das System Kurs MP-1 gewährleistet die Navigation nach VOR-Funkfeuern (Nahnavigation) und die Landung nach den Anlagen ILS und SP-50. Das System besteht aus zwei getrennt arbeitenden Halbkomplexen.

## 2. Bestandteile und deren Aufgaben

| Benennung                                          | Typ      | Anzahl | Aufgaben                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------|----------|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1                                                  | 2        | 3      | 4                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Kursempfänger<br>(80 VOR-Kanäle<br>20 Landekanäle) | KRP-100P | 2      | Verstärkung der von der Kursantenne kommenden Signale von VOR-Feuern, ILS- oder SP-50-Sendern, Mischung, HF-Gleichrichtung und Ausgabe als Seitablagesignal an den Navigationsauswerter UN-1P                                                                 |
| Gleitempfänger<br>(20 Landekanäle)                 | GRP-20P  | 2      | Verstärkung der von der Gleitantenne kommenden Gleitwegsignale von den ILS- oder SP-50-Gleitwegsendern, Mischung, HF-Gleichrichtung und Ausgabe als Gleitablagesignal an den Anzeiger NKP-4                                                                   |
| Marker                                             | MRP-3GP  | 2      | Verstärkung der Signale von der Markerantenne, Mischung, HF-Gleichrichtung, Aufbereitung als Kennungs-, Schall- und Lichtsignal sowie Ausgabe an die Leuchttafel der Piloten und die SPU-Anlage                                                               |
| Navigat.-<br>auswerter                             | UN-1P    | 2      | Umwandlung der Signale vom KRP-100P, die entweder VOR-Azimet oder SP-50 bzw. ILS-Kursablagen enthalten, in Spannungen für die Zeigerauslenkung in den Geräten USchDB und RMI und in Gleichströme für die beiden Kreuzzeigerinstrumente                        |
| Ausfallsign.-<br>block                             | BSO      | 2      | Bildung von Signalen über die Funktionstüchtigkeit der Anlage und Signalisation eines Blockausfalles                                                                                                                                                          |
| Verteiler-<br>kasten                               | -        | 2      | Elektrische Verbindung aller Blöcke eines Halbkomplexes und Erfüllung von Umschaltfunktionen                                                                                                                                                                  |
| Block KUR                                          | KUR      | 2      | Formierung des VOR-Azimetsignals aus den laufenden Werten von Azimet und Magnetkurs und Ausgabe an die Pilotenanzeigegegeräte                                                                                                                                 |
| RMI-Geräte-<br>satz                                |          |        |                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Anzeiger                                           | IKU-1    | 2      | Anzeige von Magnetkurs, Kurswinkeln von Funkfeuer und VOR-Azimet                                                                                                                                                                                              |
| Verstärker                                         | BUP-3    |        |                                                                                                                                                                                                                                                               |
| Bedienpult                                         | -        | 2      | Fernbedienung der Anlage, Frequenzeinstellung am Kursempfänger und gleichzeitige Umschaltung des Gleitempfängers auf die zugehörige Gleitfrequenz. Automatische Umschaltung der Auswertekanäle VOR - ILS in Abhängigkeit von der eingestellten Trägerfrequenz |
| Azimet-<br>selektor                                | -        | 2      | Eingabe des Sollkurses, Anzeige "VON - ZU" bezüglich der VOR-Station                                                                                                                                                                                          |

| 1                         | 2 | 3 | 4                                                                                                                                                  |
|---------------------------|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Balanceblock<br>SP-50     | - | 1 | Angleichen der elektrischen Nullwerte der Phasendetektoren und der NullEinstellung der NKP-Zeiger in beiden Halbkomplexen in der Betriebsart SP-50 |
| Wähler der<br>Funkanlagen | - | 1 | Einstellen einer beliebigen gewünschten Betriebsart (s. Abb. "Bedienpult")                                                                         |

### 3. Bedienpult "Wähleinrichtung der Funkanlagen" (s. Abb.)

1 - Landesystemumschalter "SP-50 - ILS"

2 - Empfindlichkeitsumschalter des Markierungsempfängers "Streckenflug - Landung" (von 0,15 auf 1,0 mV)

3 - Betriebsartenschalter

Regime "RSBN" und Regime "RSBN-SP-50" dürfen nicht benutzt werden!

Regime "1" (VOR - ILS - SP-50)

Alle Anzeiger des NKP (Kreuzzeigerinstrumente) und PP-1 (Kommandogerät) sind an den 1. Halbsatz des "Kurs-MP-1" angeschlossen, der im Regime VOR, SP-50 oder ILS betrieben wird. Anzeige des eingestellten Regimes durch Lampen am Tableau der Flugzeugführer.

Regime "Gemeinsam"

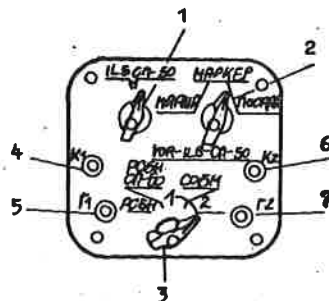
Beide PP-1 und der linke NKP sind an den ersten, der rechte NKP an den zweiten Halbsatz des Systems angeschlossen. Signalisation am Tableau: linker Flugzeugführer vom 1. Halbsatz - rechter Flugzeugführer vom 2. Halbsatz gespeist.

Regime "2" Alle Anzeiger der PP-1 und NKP sind an den 2. Halbsatz des Systems angeschlossen.

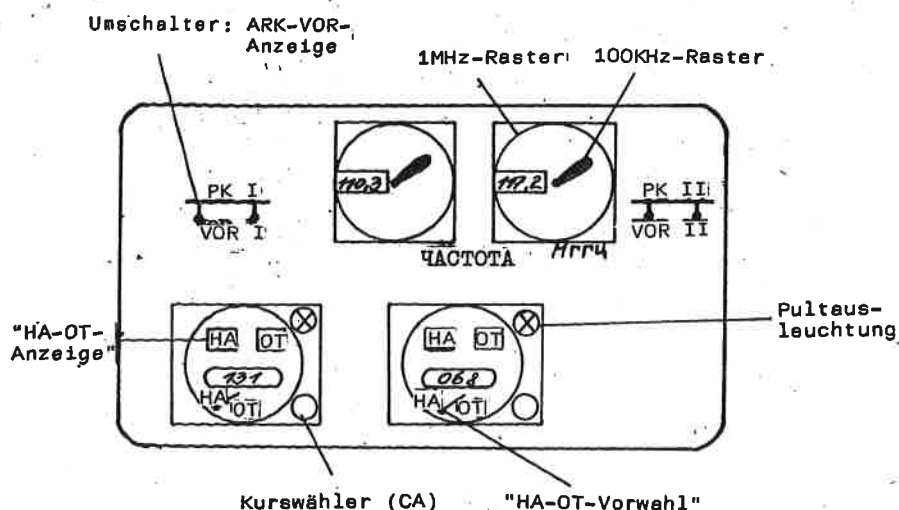
4/5 - Lampen zur Signalisation bei Ausfall des Kurs- und Gleitwegkanals im 1. Halbkomplex

6/7 - analog bei Ausfall im 2. Halbkomplex

Bedienpult "Wähleinrichtung der Funkanlagen"



#### 4. VOR-Bedienpult des Systems "Kurs-MP-1" (beide Komplekte)



#### 5. Bedienung der Anlage bei verschiedenen Flugregimen

##### 5.1. Streckenflug nach VOR

- Schalterstellungen:**
- Den Betriebsartenschalter auf "COBM" (gemeins.) Frequenzknöpfe des 1. Halbkompleskes auf gewünschte VOR-Feuer einstellen
  - Frequenzknöpfe des 2. Halbkompleskes auf die gleiche Frequenz
  - am Umschalter für die speisende Anlage den 1. Zeiger auf VOR 1 stellen
  - am Umschalter den 2. Zeiger auf VOR 2 stellen, das gleiche am anderen IKU-1 vornehmen
  - Schalter für Markerempfindlichkeit auf "Streckenmarker" stellen

Die Halbkompleske arbeiten unabhängig voneinander, empfangen aber dieselbe Bodenstation (für Ortsbestimmungen ist es natürlich sinnvoll, 2 verschiedene Bodenstationen einzustellen).

Die Anzeige des Azimutes jeder Bodenstation erfolgt an den entsprechenden Zeigern 1 bzw. 2 der Geräte USchDB und IKU-1.

Die Anzeige der Abweichung vom Sollkurs (vertikaler Zeiger) am NKP-4 erfolgt getrennt beim linken und rechten Piloten (links 1. Halbkompleskt; rechts 2. Halbkompleskt).

##### 5.2. Vorlandemanöver nach VOR und ILS

- Schalterstellungen:**
- Betriebsartenschalter auf "COBM"
  - Frequenzknöpfe des 1. Halbkompleskes auf VOR
  - Frequenzknöpfe des 2. Halbkompleskes auf ILS
  - Umschalter für die speisende Anlage wie oben

Die Abweichung von der vorgegebenen Weglinie wird getrennt angezeigt (linker Pilot - 1. Halbkompleskt; rechter Pilot - 2. Halbkompleskt).

Die Anzeige des Azimutes (Funkpeilung) erfolgt durch die Zeiger 1 in den Geräten USchDB und IKU-1.

Die beiden Halbkomplekte können auch entgegengesetzt betrieben werden, d. h., es können der erste auf ILS und der zweite auf VOR abgestimmt werden. Dabei kann durch die 2. Zeiger im USchDB und IKU-1 der Peilwinkel des ARK-11 angezeigt werden.

### 5.3. Landeanflug nach ILS bzw. SP-50

Schalterstellungen: - Betriebsartenschalter auf "1"

- Frequenzknöpfe 1. Halbkomplekt auf ILS bzw. SP-50
- Frequenzknöpfe des 2. Halbkomplektes auf gleiche Frequenz
- Umschalter für speisende Anlage wie oben
- Umschalter für Markerempfindlichkeit auf "Anflugmarker"

Beide Halbkomplekte sind auf die gleiche Frequenz wie die des Landekurssenders abgestimmt. Die Gleitempfänger werden dabei automatisch eingeschaltet und auf die der Paarung entsprechende Gleitfrequenz abgestimmt. Die Anzeigen im Längs- und Seitkanal werden beiden Piloten aber vom 1. Halbkomplekt geliefert.

Falls ein Defekt im Kurs- oder Gleitkanal eintritt, werden alle Verbraucher automatisch auf den entsprechenden Kanal des 2. Halbkomplektes umgeschaltet. Der 2. Halbkomplekt stellt damit die Reserve dar.

### 5.4. Streckenflug nach vorgegebenem VOR-Azimut

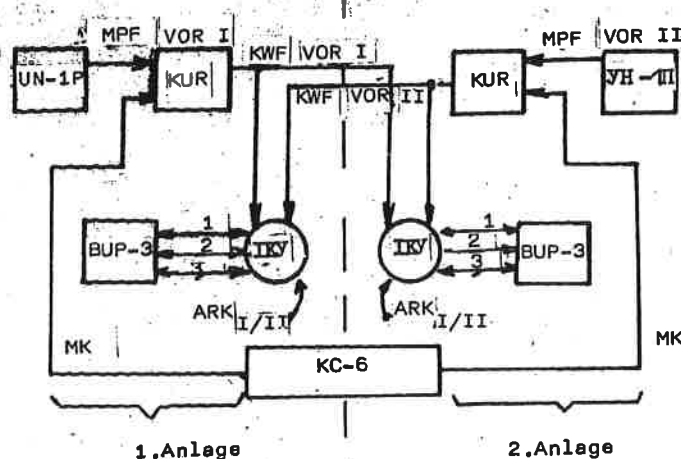
Hierzu wird der Azimutselektor als Geber benutzt. Zu Beginn des Streckenabschnittes wird der erforderliche Sollkurs am Selektor eingestellt. Der Unterschied zwischen eingestelltem Soll-Azimut und mit der Anlage gemessenem Ist-Azimut erscheint als Auslenkung des vertikalen Zeigers im NRP und stellt die Kursablage dar.

### 5.5. Signalisation von Ausfällen in der Anlage

Dies geschieht durch den Block BSO. Der Block der Ausfallsignalisation erhält Wechselspannungssignale mit Informationen über die Funktionstüchtigkeit von Kurs- und Gleitkanal aus den Blöcken UN-1P und GRP-20P und formt diese in Gleichspannungen um, die auf die Flaggen in den Anzeigegeräten und auf die Signallampen geleitet werden.

**Schema des Zusammenwirkens des Kurssystems "KC-6" und des Systems  
"Kurs-MP-1"**

Aus den Beispielen der IKU-Anzeige geht (s. auch " " Signalverarbeitung) hervor,  
daß der KWF gemäß der Beziehung:  $KWF = MPF - MK$  gebildet wird.



- 1:  $ARK_1$   
 1:  $ARK_I/VOR_I$   
 2:  $ARK_{II}/VOR_{II}$   
 3: MK
- } Signale aus dem jeweiligen Servoverstärker

**Anlage KVPQ - MII - 1:**

Geräteblöcke

1. Nav. Halbkomplex

Block A-PAMA (Box)  
 Kursempfänger KPH-100 II  
 Gleitempfänger GFH-20 II

Markerempfänger MPH-3 II  
 Auswerter YH-1 II  
 Block Ausfallsignalisation  
 BOO

2. Nav. Halbkomplex

Block A - PAMA (Box)  
 Kursempfänger KPH-100 II  
 Gleitempfänger GFH-20 II

Markerempfänger MPH-3 II  
 Auswerter YH-1 II  
 Block Ausfallsignalisation  
 BOO

Umschaltblock EK → Cockpit, unter Navi-Tisch  
 Verbindungsblock KVP (2x) → linker Geräteschrank,  
 Spant 4

Azimuthselektor OA } → Cockpit, Navigatorplatz  
 Frequenzwähler EV }  
 Anzeiger KKV-1 (2x) → Cockpit, linke u. rechte  
 Gerätetafel

Verstärkerblock EVH-3 (2x) → Cockpit unter Navi-Tisch  
 Betriebsartenwähler GPO → Cockpit  
 (RPO)

Einbauort

linker Geräteschrank,  
 Spant 4

linker Geräteschrank,  
 Spant 4

**Anlage KVPQ - MII-2**

Geräteblöcke

1. Nav. Halbkomplex

Block A - PAMA (Box)  
 Kursempfänger KPH-200 II  
 Gleitempfänger GFH-20 II

Markerempfänger MPH-3 IIM  
 Auswerter YH-2 II  
 Bereitschaftssignalblock  
 BOI

2. Nav. Halbkomplex

Block A - PAMA (Box)  
 Kursempfänger KPH-200 II  
 Gleitempfänger GFH-20 II

Markerempfänger MPH-3 IIM  
 Auswerter YH-2 II  
 Bereitschaftssignalblock  
 BOI

Umschaltblock EK } → Cockpit unter Navi-Tisch  
 Verstärkerblock EVH-3 }

Frequenzwähler EV } → Cockpit, Navigator  
 Kurselektor CK }

Anzeiger KKV-1 A } → Cockpit,  
 linke u. rechte Gerätetafel

Betriebsartenwähler GPC → Cockpit

Einbauort

linker Geräteschrank  
 Spant 4

linker Geräteschrank  
 Spant 4

## Doppler-Navigationsanlage "NAS-1B"

### 1. Verwendungszweck

Die Doppleranlage "NAS-1B" ist ein selbständiges Navigationssystem, welches zur automatischen Messung des Abdriftwinkels und der Weggeschwindigkeit sowie zur Berechnung des zurückgelegten Weges im rechtwinkligen orthodromen Koordinatensystem dient.

### 2. Bestandteile und deren Aufgaben

#### 2.1. Antenne (Bl. 1)

Durch die Antenne erfolgt das Abstrahlen und der Empfang der von der Oberfläche reflektierten HF-Signale.

#### 2.2. Sender (Bl. 2)

Empfang der reflektierten Signale, ZF-Bildung und Verstärkung, Gleichrichtung und Gewinnung des Doppler-Frequenz-Spektrums, Gewinnung eines Signals für den Übergang in die Betriebsart "Speicher" bei Ausfall der Dopplerinformation.

#### 2.3. Elektronikblock (Bl. 3)

Verstärkung des Dopplerfrequenzspektrums, Erzeugung von Gleichspannungen, die dem mittleren Quadrat der Spektrumfrequenz entsprechen (je ein Kanal für ein Strahlenpaar!), Speisung der Ferrit-Antennenumschalter, Imitation der Dopplerfrequenzsignale, die zwei Werten der Weggeschwindigkeit und des Abdriftwinkels entsprechen, Bildung eines Signals für die Betriebsart "Speicher" bei Schräglage des Flugzeuges über  $12^\circ$ , Verknüpfung der Anlagenteile miteinander, Berechnung von  $\alpha$  und  $w$  mit 2.4.

#### 2.4. $\alpha$ - $w$ - Indikator (Bl. 4)

Errechnung der Werte für  $w$  und  $\alpha$  in Zusammenarbeit mit dem Rechenggerät des Elektronikblockes, Anzeige dieser errechneten Werte und Einspeisung in das Navigationsauswertegerät ANU.

#### 2.5. Stromversorgungsblock (Bl. 5)

Erzeugung folgender Spannungen:

- 300 V stab.  $\pm 1,5$  V, + 225 V stab.  $\pm 0,45$  V
- + 150 V stab.  $\pm 0,3$  V, - 150 V stab.  $\pm 0,3$  V

(zwei stabilisierte Heizspannungen 6,3 V)

#### 2.6. Bedienpult (Bl. 6) (s. Abb. "Bedienpult der Doppleranlage")

- Schalterstellung "AUS" (ВЫКЛ): Anlage ist ausgeschaltet
- Schalterstellung "EIN" (ВКЛ): alle Speisespannungen mit Ausnahme der Hochspannung für das Magnetron sind eingeschaltet (Lämpchen "EIN" leuchtet auf)
- Schalterstellung "Hochspannung" (ВЫСОКОЕ): die Hochspannung für das Magnetron wird zugeschaltet (Lämpchen "H" leuchtet auf)
- Schalterstellung "SPEICHER" (ПАМЯТЬ): Anlage geht auf die Betriebsart "Speicher" über
- Schalterstellung "FESTLAND" (СУША) oder "MEER" (МОРЕ)  
bei Stellung "MEER":  $w + 2,5\%$  Zuschlag
- Schalterstellung "KONSTROLLE 1" und "KONSTROLLE 2": Überprüfung der Betriebsbereitschaft bzw. der normalen Arbeitsweise.

#### 2.7. Kontrollgerät (Bl. 7)

Messung der Speisespannungen, der Diodenströme des Empfängers, der Magnetronleistung (Anzeige der proportionalen Spannung), der Spannung an der 2. Diode des Empfängers, Eichung am Boden.

## 2.8. Umschaltblock (Bl. 10)

## 2.9. Entfernungsindikator (Bl. 11)

Mit Hilfe des Knopfes "Zeiger" (СТРЕЛКА) können die Zeiger "C" und "B" von Hand eingestellt werden. In gedrückter Stellung des Knopfes wird der Zeiger "C" eingestellt und in herausgezogener Stellung der Zeiger "B".

## 2.10. Luftgeschwindigkeitsgeber DWS (Bl. 12)

Ermittlung der wahren Luftgeschwindigkeit  $v$  aus  $p$  stat. und  $p$  dyn. und Abgabe an den Auswerteblock ANU.

## 2.11. Windgeber (Bl. 13)

Eingabe der Werte des Windes bei selbständiger Arbeit von ANU. Dabei werden die Geschwindigkeit des Windes  $U$  (Knopf "U Wind" - МЕТРА), die Richtung des Windes  $V$  (Knopf B) und der Kartenwinkel  $\phi$  (Skala "YK") eingestellt.

Bediengerät "NAS-1"



## 2.12. Kartenwinkelgeber (Bl. 14)

Manuelle Eingabe des Kartenwinkels (УГОЛ КАРТЫ)

## 3. Arbeitsprinzip

Die Wirkungsweise der Anlage beruht auf der Ausnutzung des Doppler-Effektes. Bewegt sich ein Beobachter mit der Geschwindigkeit  $w$  auf eine mit  $f_0$  strahlende Quelle zu, so erhöht sich die Anzahl der Wellenzüge, die in einer bestimmten Zeiteinheit wahrgenommen werden können.

Die Anzahl der zusätzlichen Schwingungen ist der Frequenz  $f_0$  der ausgestrahlten Schwingung und der Geschwindigkeit der Relativbewegung zwischen Sender und Beobachter  $w_r$  direkt proportional. Es gilt: Empfangsfrequenz ( $f_e$ ) = Sendefrequenz ( $f_0$ )  $\pm$  Dopplerfrequenz ( $f_D$ )

Annäherung: +, Entfernung: -!

Dopplerfrequenz  $f_D$ :

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{f_0}{c}$$

1.  $f_D = \frac{w_r}{\lambda}$  (allgemein!)  $\longrightarrow$  1)
2.  $f_D = \frac{w_r}{c} f_0$  (c: Lichtgeschwindigkeit)
3.  $f_D = \frac{w_r \cdot 2}{\lambda}$  (bei Reflexion)

Da die Geschwindigkeit des Flugzeuges in bezug auf den reflektierenden Erdoberflächenabschnitt gleich der Projektion der Weggeschwindigkeit auf die Strahlungsrichtung ist, gilt für  $w_r$ :

$$w_r = w \cos(\beta + \alpha) \cos(H)$$

(w: Weggeschwindigkeit des Flugzeuges,  $\alpha$ : Abdriftwinkel,  $\beta$

,  $H$ ): konstanter Winkel, die die Abstrahlungsrichtung der Schwingungen charakterisieren

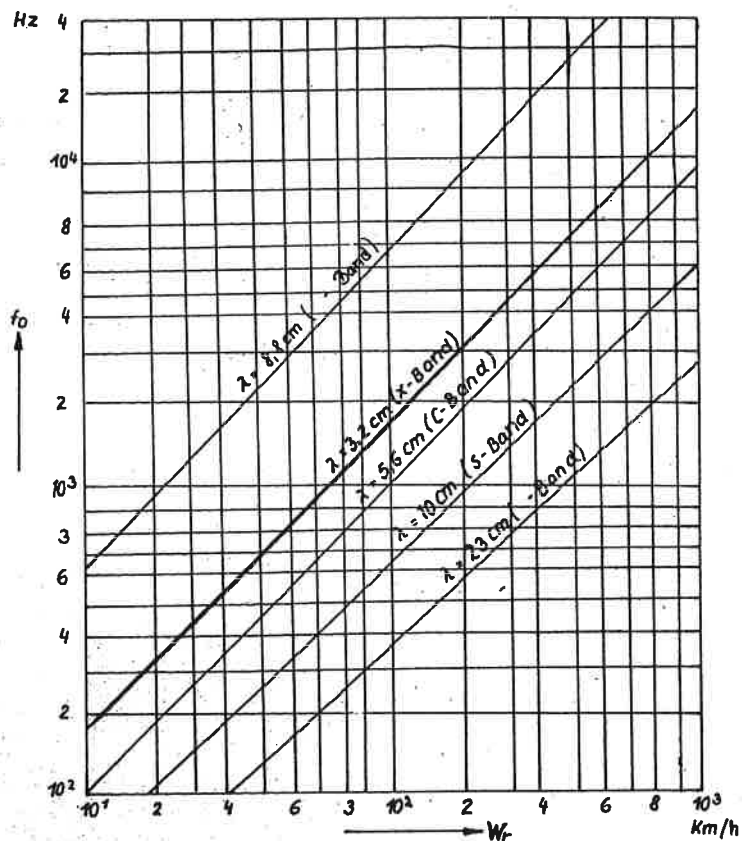
Damit erhält man für die Dopplerfrequenz den Ausdruck:

$$f_D = \frac{w}{\lambda} \cos(\beta + \alpha) \cos(H) \quad \text{s. Abb. "Formelableitung für die Dopplerfrequenz"}$$

Um die in dieser Gleichung enthaltenen beiden unbekannten Größen  $w$  und  $\alpha$  eliminieren zu können, werden zwei Gleichungen benötigt, die durch die Abstrahlung zweier Strahlenpaare unter verschiedenen Winkeln zur Flugzeuglängsachse erzielt werden. Die Strahlenpaare werden abwechselnd umgeschaltet und die Informationen damit abwechselnd auf den Eingang der Empfangsanlage gegeben (2 Kanäle).

Bei der Anlage "NAS-1" werden die Signale im Dauerstrichverfahren ausgesendet, da dieses Verfahren gegenüber dem Impulsverfahren eine Reihe von Vorteilen besitzt: Erhöhung der Empfindlichkeit der Empfangsanlage, Erhöhung der Eingangsleistung am Empfängereingang, Vereinfachung des Senderaufbaus etc.

1) siehe Abb.: " $f_D = f(W_r)$ ;  $\lambda$  = Parameter"

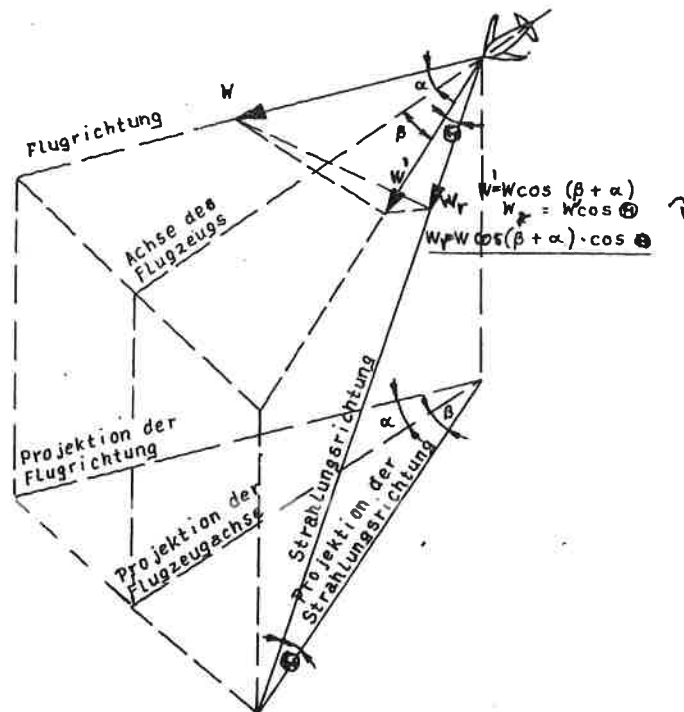


Doppelverschiebung  $f_D$  in Abhängigkeit von der Relativgeschwindigkeit  $w_r$  bei verschiedenen Wellenlängen  $\lambda$

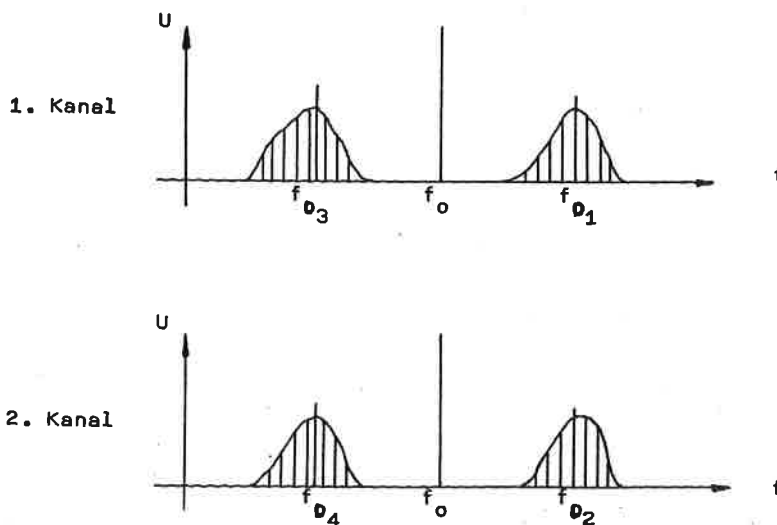
Um die Meßergebnisse für  $w$  und  $\alpha$  in eine geringere Abhängigkeit von Schräg- und Längsneigung zu bringen, werden vier Strahlen paarweise ausgesandt (rechts vorn und links hinten, danach links vorn und rechts hinten).

(Siehe Abb. "Richtung der Strahlen in den Antennen der Anlage")

Jeder Antennenstrahl liefert ein Spektrum von Signalen, die sich um die Frequenz  $f_0 \pm f_{\text{Dmittel}}$  gruppieren ( $f_{\text{Dmittel}}$ : mittlerer Wert der Dopplerfrequenz), da statt eines Punktes eine ausgedehnte Fläche als Reflexionsschicht wirkt. Bei der Berechnung wird dann der quadratische Mittelwert des Verschiebungsspektrums verwendet.

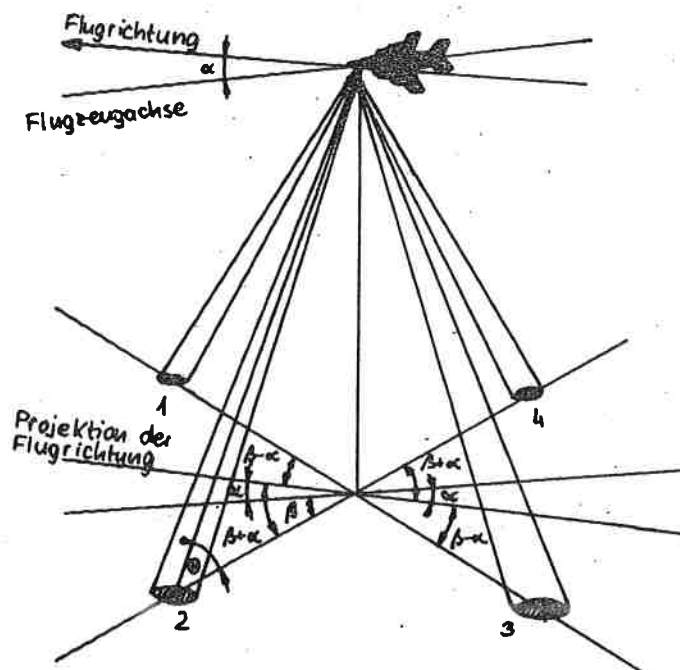


Zur Formelableitung für die Doppler-Frequenz



Jedes Strahlenpaar liefert also zwei Echospektren, die als Modulations-Seitenbänder aufgefaßt werden können.

Der Unterschied zwischen den Dopplerspektren beider Strahlrichtungen gibt eine Aussage über die Abdrift, während die Absolutwerte der Verschiebungen zur Weggeschwindigkeit weiterverarbeitet werden.



Richtung der Strahlen in den Antennen der Anlage

Bei Horizontalflug fallen die Spektren der Reflexionsflächen der Strahlenkeulen 1 und 3 dem Betrag nach zusammen. Sind gleichzeitig Quer- und Längsneigung vorhanden, dann verschieben sich beide Spektren symmetrisch gegenüber den Werten bei Horizontalflug. Es tritt jedoch eine gewisse Kompensation ein, da der quadratische Mittelwert aus beiden Spektren annähernd konstant bleibt. (Das gleiche gilt für die Strahlenkeulen 2 und 4.)

Bei Abdrift gleich Null sind die Mittelwerte aus 1 - 3 und 2 - 4 gleich! Aufkommende Abdrift stört die Symmetrie, und der gemessene Frequenzunterschied zwischen 1 - 3 und 2 - 4 wird zum Abdriftwinkel verarbeitet.

Die Ermittlung der quadratischen Mittelwerte der Spektren erfolgt im Frequenzmesser. Dieser gibt am Ausgang zwei Gleichspannungen  $A_1$  und  $A_2$  ab, die proportional den Frequenzwerten der beiden Strahlenpaare sind. Sie erscheinen am Ausgang wechselweise, synchron mit der Strahlumschaltung. Die Gleichspannungen gelangen zum Abdrift- und Geschwindigkeitsrechner. Durch Lösung der beiden nachfolgend hergeleiteten grundlegenden Dopplergleichungen liefert der Rechner aus den beiden Spannungen die Werte für  $w$  und  $\alpha$  in Form proportionaler Spannungen für die Anzeige und den Auswerteblock ANU. Bei Betrieb der Strahlen 1 - 3 beträgt die Gleichspannung  $A_1$  gemäß der Abb. "Richtung der Strahlen in den Antennen der Anlage":

$$A_1 = k \frac{2w}{\lambda} \cos(\beta - \alpha) \cos(H).$$

Bei Betrieb der Strahlen 2 - 4 ergibt sich für  $A_2$ :

$$A_2 = k \frac{2w}{\lambda} \cos(\beta + \alpha) \cos(H).$$

( $k$ : Proportionalitätsfaktor der Umwandlung des mittleren Quadrats der Frequenz in eine Gleichspannung)

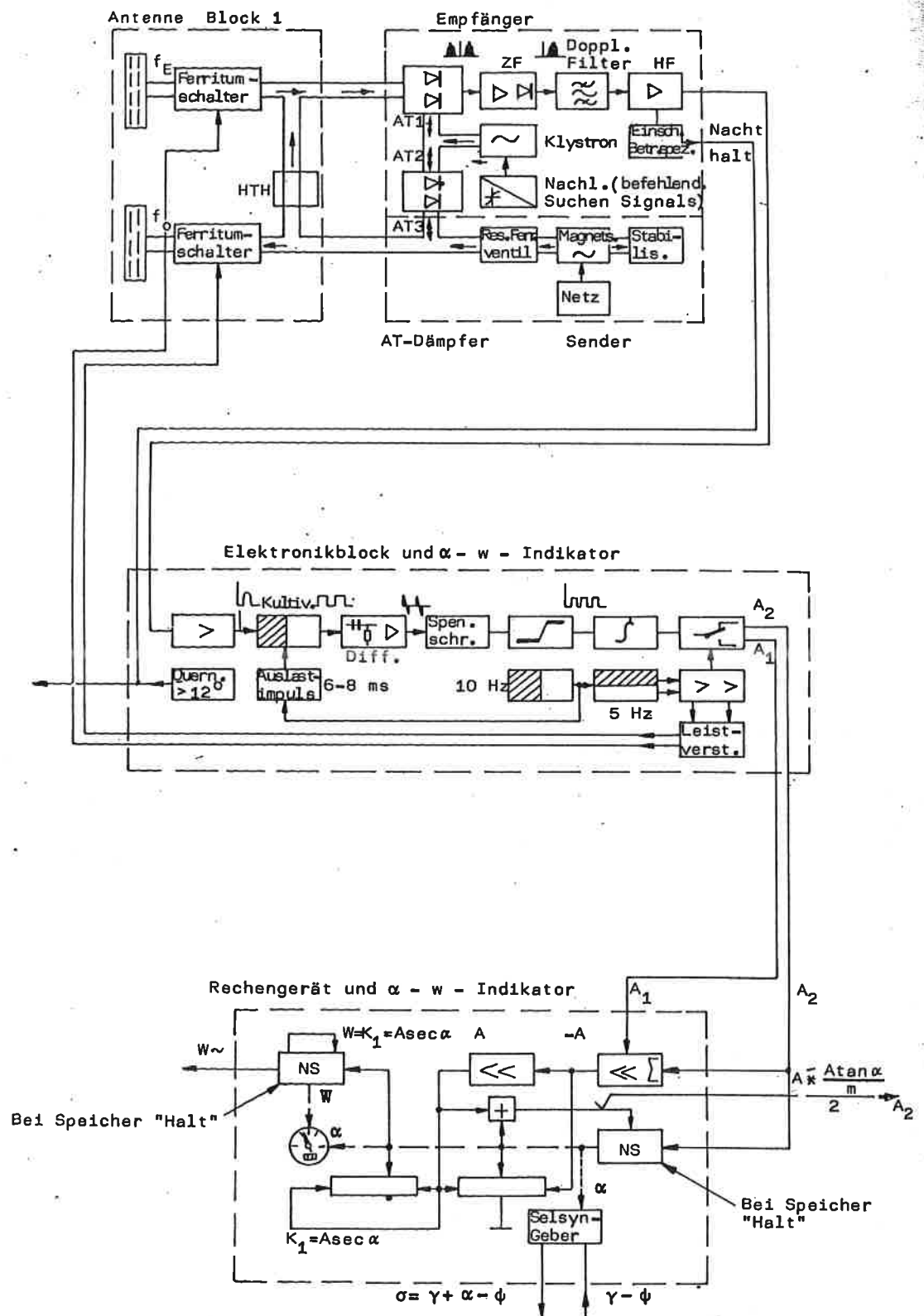


Bild 25 NAS-1: Sender, Empfänger, Antenne und Elektronikblock α - w - Indikator

Aus den beiden Gleichungen erhält man durch elementare Umformung (Additionstheoreme und Beziehungen bei trigonometrischen Funktionen!) die grundlegenden Dopplergleichungen:

$$\frac{A - \frac{A \tan \alpha}{m}}{2} = A_2 \quad \longrightarrow \quad \text{Blockschaltbild "Sender, Empfänger, Antenne und Elektronikblock, } \alpha\text{-w-Indikator"}$$

$$A \sec \alpha = \frac{w}{k_1}$$

$$(A = A_1 + A_2, m = \cos \alpha, k_1 = \frac{\lambda}{4 k \cos \alpha \cos \beta})$$

Mit Hilfe der gemessenen Werte für  $w$  und  $\alpha$  erfolgt im Block "ANU" die Berechnung des Weges im rechtwinkligen Koordinatensystem. Die Weggeschwindigkeit  $w$  wird in zwei Komponenten  $w_x$  ( $w_{\text{Längs}}$ ) und  $w_y$  ( $w_{\text{Quer}}$ ) zerlegt (s. Abb. "Winkelbeziehungen").

Es gilt:  $w_y = w \sin (\gamma + \alpha - \phi)$ : Abweichung (1)

$w_x = w \cos (\gamma + \alpha - \phi)$ : längs BOWL (2)

darin bedeuten:

-  $\alpha$ : Abdriftwinkel (YC: YTOH CHOC)

-  $\gamma$ : Kurswinkel (MK) - Winkel zwischen der Längsachse des Flugzeuges und mißweisend Nord (wird vom Kurssystem eingegeben)

-  $\phi$ : Kartenwinkel - Winkel zwischen der BOWL und mißweisend Nord (wird vom Navigator über den Kartenwinkelgeber eingegeben)

Durch Integration der Komponente  $w_{\text{Längs}}$  nach der Zeit (Integriermotoren) erhält man den Weg auf der BOWL: Anzeige durch den Zeiger "C" ( $S_{\text{Längs}} = \int_{t_0}^t w_{\text{Längs}} dt$ ).

Durch Integration der ermittelten Komponente  $w_{\text{Quer}}$  nach der Zeit erhält man die seitliche Ablage gegenüber der BOWL: Anzeige durch den Zeiger "B" ( $S_{\text{Quer}} = \int_{t_0}^t w_{\text{Quer}} dt$ ).

Damit die Abweichung Null bleibt, muß in der obigen Gleichung (1) das Argument  $\gamma + \alpha - \phi$  stets Null sein. Damit gilt:  $\gamma + \alpha = \phi$ . Um diese Beziehung einzuhalten, muß der Verhalte winkel =  $-\alpha$  gewählt werden (s. "Winkelbeziehungen").

Im Block "ANU" erfolgt während des normalen Betriebes eine kontinuierliche Speicherung der Werte der Windgeschwindigkeit indem die Differenz:

$$u_x = w_x - v_x \text{ und } u_y = w_y - v_y$$

gebildet wird.

( $w_{x/y}$ : Komponenten der Weggeschwindigkeit,

$v_{x/y}$ : Komponenten der Luftgeschwindigkeit)

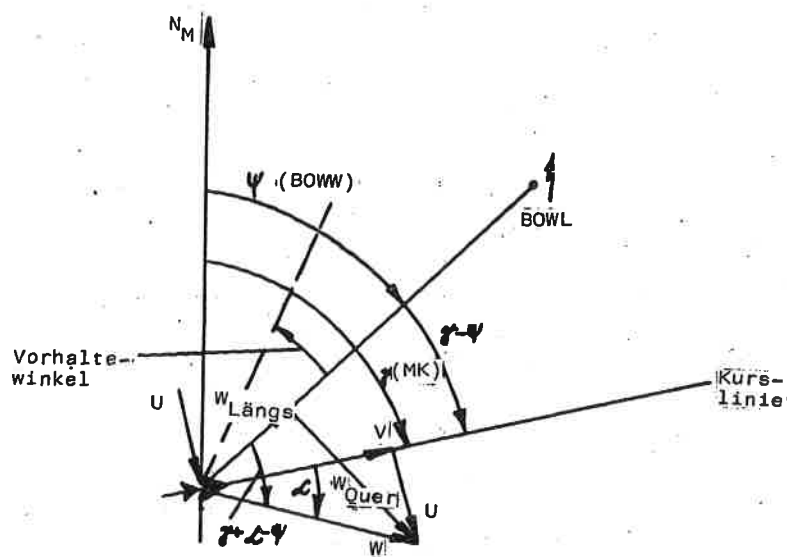
In der Betriebsart "Speicher" (automatische Umschaltung!) werden die Komponenten der Weggeschwindigkeit aus den gespeicherten Windkomponenten und den vom Luftdatensystem gelieferten Luftgeschwindigkeitskomponenten ermittelt. Trotz Ausfall der Dopplerinformation können somit der zurückgelegte Weg auf der BOWL und die Abweichung für einen Zeitraum von max. 30' mit hinreichender Genauigkeit angegeben werden.

Die Anzeigen für die zurückgelegte Flugstrecke und die seitliche Ablage können nur für den begrenzten Zeitabschnitt von (max. 30') verwendet werden, indem sich die Kennwerte des Windes (Geschwindigkeit und Richtung) geringfügig geändert haben.

Haben sich die Kennwerte des Windes stark geändert und ist noch immer keine Dopplerinformation vorhanden, muß der Schalter "TRASSA-ANU 1" auf "ANU" gestellt werden (Gerätetafel des Navigators).

Der Block "ANU" arbeitet jetzt mit dem Luftdatensystem und dem Windgeber ZW-1 zusammen! Die Komponenten für die Weggeschwindigkeit werden aus den am Windgeber vom Navigator eingestellten Komponenten der Luftgeschwindigkeit ermittelt (Abb. "Wirkschalbild ANU").

Abb. "Winkelbeziehungen"



- $\phi$  : Kartenwinkel (beabsichtigter orthodromer Wegwinkel:  
BOWL - eingestellt am 3YK )
- $\gamma$  : Magnetkurs-MK (vom System: KC-6 eingespeist)
- $\alpha$  : Abdriftwinkel (von NAS-1B)
- $U$  : Windkomponente (aus  $v$  und  $w$  ermittelt)
- $v$  : Luftgeschwindigkeit (Fahrt des Luftfahrzeuges in Längsachse durch System:  
DWS ermittelt)
- $w$  : Geschwindigkeit über Grund (von NAS-1B)
- $\theta$  : navigatorischer Windwinkel

Bei Flügen über dem Meer wird der rechte Schalter am Bedienpult auf "MEER" gestellt.  
(Auf Grund der geänderten Reflexionsbedingungen wird die Anzeige mit einem konstanten Wert von  $\approx 2,5$  % korrigiert.)

Beim Überfliegen des vorher festgelegten Ausgangspunktes der Strecke wird der Schalter "Zähler" eingeschaltet. (Links oberhalb Gerätetafel des Navigators)

Bei Querneigung des Flugzeuges im Bereich bis max.  $12^\circ$ , bei Defekten im Sende- und Empfangskanal sowie beim Flug über dem Meer mit einem Seegang unter 1 Ball (Fehlen von Reflexionspunkten!), d. h. allgemein bei Ausfall der Dopplerinformation schaltet die Anlage automatisch auf die Betriebsart "SPEICHER" um. Dabei leuchtet die Aufschrift "SPEICHER" am Anzeigegerät für  $w$  und  $\alpha$  auf.

#### 4. Technische Daten

Die Wegberechnung auf der Orthodrome kann bis zu einer Entfernung von 10 000 km bei einer Seitenabweichung bis  $\pm 1000$  km erfolgen.

Meßbereich der Weggeschwindigkeit: 300 bis 800 km/h.

Mittleres Quadrat des Fehlers von  $w$ : 0,5 % vom laufenden Wert

Meßbereich des Abdriftwinkels:  $\pm 20^\circ$



mittleres Quadrat des Fehlers von  $\alpha$  :  $20'$   
 max. Fehler bei der Wegberechnung:  $S = \pm 3 \%$   
 NF-Bandbreite des Empfangskanals: 1,7 bis 6,0 kHz  
 Sendefrequenz  $f_0 = 9350 \text{ MHz} \pm 30 \text{ MHz}$   
 Sendeleistung:  $\approx 5 \text{ W}$  (Dauerstrich)  
 Umschaltfrequenz der Strahlen: etwa 5 Hz  
 Betriebszeit bei Dauerbetrieb: 15 h  
 Stromaufnahme: Wechselstrom (115 V/400 Hz): 7,5 A  
 Gleichstrom (+27 V): 5,0 A

## 5. Einschaltung, Kontrolle und Bedienung

Vor dem Flug muß von der Besatzung überprüft werden, ob sich alle Schalter in den folgenden Stellungen befinden:

- a) der linke Schalter am Bedienteil in der Stellung "AUS"
- b) der rechte Schalter am Bedienteil in der Stellung "FESTLAND"
- c) der Schalter "TRASSA-ANU-1" an der Gerätetafel in der Stellung "TRASSA"
- d) der Schalter "ZÄHLER" ist ausgeschaltet und die Zeiger des Zählers (Bl. 11) sind auf Null gestellt
- e) am Kartenwinkelgeber ist der berechnete Kartenwinkel einzustellen
- f) Sicherung mit der Markierung "TRASSA" an der Navigatortafel einschalten.

Die Anlage wird eingeschaltet, indem der linke Schalter am Bedienteil in die Stellung "EIN" gebracht wird. (Das Lämpchen mit der Aufschrift "EIN" muß dabei für 1 bis 2 min. grün aufleuchten.)

Die Schalter am Bedienpult werden auf "SPEICHER" und "FESTLAND" gestellt. Durch den Imitator der Anlage werden die Dopplerfrequenzen 4,0 kHz erzeugt und in die Kanäle eingegeben. Am Anzeigegerät müssen etwa fünf Minuten nach dem Einschalten folgende Werte einlaufen:

- Abdriftwinkel:  $0^\circ \pm 30'$
- $w \approx 620 \text{ km/h} \pm 2 \%$

Dieses Arbeitsregime dient vorrangig für die Kontrolle des Niederfrequenzteiles der Anlage während des Fluges.

Die Kontrolle der Anlage am Boden kann in zwei Betriebsarten: "KONTROLLE 1" und "KONTROLLE 2" erfolgen, indem die entsprechenden Stellungen mit dem rechten Schalter am Bedienteil gewählt werden. Der Imitator der Dopplerfrequenzen dreht dabei folgende Werte nach:

- "KONTROLLE 1":  $w \approx 382 \text{ km/h} \pm 2 \%$  ( $f_D = 2,5 \text{ kHz}$ ),  $\alpha \approx 0^\circ \pm 30'$   
 "KONTROLLE 2":  $w \approx 705 \text{ km/h} \pm 2 \%$  ( $f_D = 4 + 5 \text{ kHz}$ ),  $\alpha \approx +13^\circ \pm 30'$

### Hinweise:

1. Bei der Funktionsprüfung am Boden darf der rechte Schalter am Bedienteil nur in die Stellungen "KONTROLLE 1" und "KONTROLLE 2" gebracht werden (dabei "Hochspannung" ein!). Das Einschalten der Betriebsarten "FESTLAND" oder "MEER" führt zum Ausfall der Kristalldioden beim gleichzeitigen Zuschalten der Hochspannung.
2. Zur Kontrolle des Blockes "ANU" werden die Schalter am Bedienpult auf "ВЫСОКОЕ" bzw. "КОНТРОЛЬ 2" und der Kippschalter "TRACCA-AHY-1" auf "AHY-1" gestellt. Dabei müssen sich die Zeiger "C" und "B" sowie die beiden entsprechenden Scheiben am Zählwerk bewegen.
3. Nach dem Start (Mindesthöhe 200 m) wird der linke Schalter am Bedienteil auf "HOCHSPANNUNG" gestellt (dabei muß das rote Lämpchen aufleuchten). Nach dem Einschalten der Hochspannung ist die Anlage betriebsbereit, und es werden kontinuierlich Werte für  $w_x$ ,  $w_y$  und  $\alpha$  angezeigt.