NATIONALE VOLKSARMEE
OFFIZIERSHOCHSCHULE DER LSK/LV
"FRANZ MEHRING"

Die Funk-Funkmeßausrüstung des Flugzeuges L-39

(Studienmaterial für die Ausbildung von Flugzeugführern)

Erarbeiter: OSL Dipl.-Ing. Kreißig
- Lehrstuhl 72 -

Sektion Fliegerische Ausbildung
- 1983 -

Inhaltsverzeichnis

		Seite
0.	Vorbemerkungen	4
1.	Der Umfang der Funk-Funkmeßausrüstung	4
2.	Die Stromversorgung der Funk-Funkmeßausrüstung	4
3.	Die UKW-Funkstation RTL-11 A	6
3.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	6
3.2.	Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug	7
3.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	7
3.4.	Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild	8
3.5.	Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	12
4.	Die UKW-dm-Funkstation R-832 M	13
4.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	13
4.2.	Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug	14
4.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	14
4.4.	Arbeitsprinzip am Blockschaltbild	14
4.4.1.	Der Sender	16
4.4.2.	Der Empfänger	16
4.5.	Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	16
5.	Das Bordsprechgerät SPU-9	17
5.1.	Aufgaben	17
5.2.	Gerätesatz und Lage der Teile	17
5.3.	Arbeitsprinzip am Blockschaltbild	17
5.4.	Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	18
6.	Die Notfunkstationen R-855 U und R-855 UM	19
6.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	19
6.2.	Gerätesatz und Lage der Teile	19
6.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	22
6.4.	Inbetriebnahme und Bedienung	22
7.	Der automatische Funkkompaß RKL-41	23
7.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	23
7.2.	Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug	24
7.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	26
7.4.	Arbeitsprinzip am Blockschaltbild (BSB)	26
7.4.1.	Funktionsgruppen des Funkkompasses	26
7.4.2.	Die KWF-Bestimmung mit Hilfe des Kreuzrahmens und Goniometers	28
7.4.3.	Die Abstimmung des Überlagerungsempfängers	34
7.4.4.	Die Lautstärkeeinstellung	38
7.4.5.	Der Empfang von A_1-Signalen	38
7.5.	Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	39
8.	Der Funkhöhenmesser RW-5	40
8.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	40

8.2.	Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug	41
8.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	41
8.4.	Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild	41
8.4.1.	Die FM-Methode	43
8.4.2.	Die praktische Realisierung der Gleichung (15)	44
8.4.3.	Die Schaltung zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit	47
8.4.4.	Die Kontrolle des Frequenzhubes	48
8.4.5.	Die Eigenkontrolle	48
8.4.6.	Die Signalisation der gefährlichen Höhe	48
8.5.	Die Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	49
9.	Der Markierungsfunkempfänger MRP-56 P	50
9.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	50
9.2.	Gerätesatz und Lage der Teile	50
9.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	50
9.4.	Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild	50
9.5.	Die Inbetriebnahme des MRP-56 P	51
10.	Die Nahnavigationsanlage RSBN-5 S	51
10.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	51
10.2.	Gerätesatz und Lage der wichtigsten Blöcke im Flugzeug L-39	52
10.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	53
10.4.	Das Arbeitsprinzip der Nahnavigationsanlage	57
10.4.1.	Das Prinzip der Azimutmessung	57
10.4.2.	Das Prinzip der Entfernungsmessung	58
10.4.3.	Die prinzipielle technische Realisierung der Azimut- und Entfernungsmessung	60
10.4.3.1.	Der Sender und Empfänger	60
10.4.3.2.	Die Entfernungsbestimmung	62
10.4.3.3.	Die Azimutbestimmung	64
10.4.4.	Die autonome Azimut- und Entfernungsbestimmung	67
10.4.5.	Das Zusammenwirken des autonomen und korrigierten Betriebes im БИО	70
10.4.6.	Die Betriebsart "Durchstoßen der Wolken nach unten"	72
10.4.7.	Die Azimutselektion	74
10.5.	Das Arbeitsprinzip des Instrumentenlandesystems	74
10.5.1.	Das allgemeine Arbeitsprinzip eines Instrumentenlandesystems	75
10.5.2.	Die prinzipielle technische Realisierung der Betriebsart "Landung" und die Anzeige der gemessenen Werte	77
10.6.	Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	79

11.	Der Funkentfernungsmesser SRD-5 MK	80
11.1.	Aufgaben und kurze Charakteristik	80
11.2.	Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug	80
11.3.	Die wichtigsten taktisch-technischen Daten	83
11.4.	Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild	84
11.4.1.	Das Entfernungsmeßprinzip	84
11.4.2.	Das Zusammenwirken der einzelnen Blöcke	89
11.5.	Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	90
12.	Das Erzeugnis SRO-2	91
12.1.	Aufgaben	91
12.2.	Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug	92
12.3.	Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle	94

0. Vorbemerkungen

Das vorliegende Studienmaterial ist für die Ausbildung von Flugzeugführern vorgesehen.
Die Anlagen der Funk-Funkmeßausrüstung des Flugzeuges L-39 werden deshalb nur in dem dafür notwendigen Umfang beschrieben.
Für den studierenden Offiziersschüler bedeutet das, daß er das von ihm geforderte Wissen in konzentrierter Form, ohne belastendes Beiwerk vorfindet und die ihm zur Verfügung stehende Studienzeit effektiv zur Aneignung und Festigung der notwendigen Kenntnisse nutzen kann.
Das Studienmaterial soll außerdem den Flugzeugführer bei der Wiederholung und Festigung der Kenntnisse über die FFMA der L-39 nach längeren Flugpausen unterstützen.
Bei der Beschreibung der einzelnen Anlagen wird von der 10. Serie ausgegangen. Besonderheiten der 11. und 23. Serie werden an den entsprechenden Stellen behandelt.

1. Der Umfang der Funk-Funkmeßausrüstung

	10. Serie	11. Serie	23. Serie
UKW-Funkstation RTL-11	x	-	-
UKW-Funkstation R-832M	-	x	x
Bordsprechanlage SPU-9	-	x	x
automatischer Funkkompaß RKL-41 (Variante A4)	x	x	x
Funkhöhenmesser RW-5	x	x	x
Markierungsfunkempfänger MRP-56P/S	x	x	x
Nahnavigationssystem RSBN-5S	x	x	x
Funkentfernungsmesser SRD-5MK	x	x	-
Erzeugnis SRO-2	x	x	x

2. Die Stromversorgung der Funk-Funkmeßausrüstung

In diesem Studienmaterial soll nur ein allgemeiner Überblick über die Stromversorgung der FFA gegeben werden. Gründlich wird sie im Fach Elektro-Spezialausrüstung behandelt. Das Bild 1 zeigt im vereinfachten Blockschaltbild die Versorgung der FFA der L-39 (10. Serie) mit Gleich- und Wechselspannung. Ergänzend dazu muß darauf hingewiesen werden, daß bei Ausfall des Hauptgenerators der SRD-5MK und das RSBN-5S automatisch abgeschaltet werden. Fällt auch noch der Reservegenerator aus, wird zusätzlich noch das Kennungsgerät abgeschaltet. Das Kennungsgerät und das RSBN können von Hand /Schalter "Noteinschalten SRO (A 111)" und "Noteinschalten RSBN (A 109)" auf dem Hauptschaltpult/ wieder an das Netz angeschlossen werden.

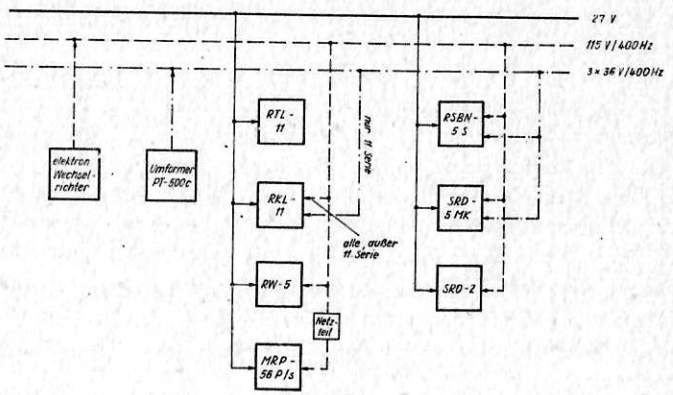


Bild 1 Vereinfachtes Blockschaltbild der Stromversorgung der Funk-Funkmeßausrüstung der L-39

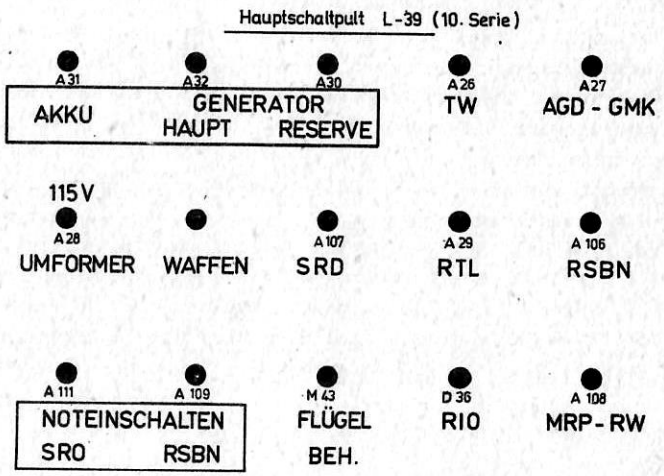


Bild 2 Das Hauptschaltpult des L-39

Der SRD-5MK wird außerdem bei teilweisem Ausfall des elektronischen Wechselrichters (Ausfall einer der 4 Endstufen) automatisch abgeschaltet. Das trifft in der 11. Serie auch für das Erzeugnis SRO-2 zu. Die Veränderungen der Ausrüstung der 11. und 23. Serie (s. Abschnitt 1) bringen auch Veränderungen in der Stromversorgung mit sich. Die Funkstation R-832M wird im Gegensatz zur RTL-11 außer mit 27 V Gleichspannung, auch mit 115 V/400 Hz Wechselspannung versorgt. Das zieht Konsequenzen für die Inbetriebnahme der FFA nach sich. Der elektronische Wechselrichter für die Erzeugung der 115 V/400 Hz ist in der 10. Serie, wenn alle Anlagen eingeschaltet sind, bis zur zulässigen Grenze (1000 W) belastet. In der 11. Serie kommt aber noch der zusätzliche Verbraucher R-832M hinzu. Der Wechselrichter kann also nicht alle Verbraucher gleichzeitig mit 115 V/400 Hz versorgen. Deshalb kann bei der 11. Serie entweder der SRD-5MK oder das RSBN-5S neben den anderen Anlagen gespeist werden.
Bei der 10. Serie ist auf Grund der maximal möglichen Belastung des Wechselrichters darauf zu achten, daß der SRD-5MK und das RSBN-5S am Boden nicht länger als 6 Minuten gemeinsam in Betrieb genommen werden. Bei der 23. Serie (ohne SRD-5MK) entfallen die Probleme bei der 115 V/400 Hz-Versorgung und damit auch die Einschränkung bei der Inbetriebnahme der Anlagen.

3. Die UKW-Funkstation RTL-11A

3.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Die UKW-Funkstation RTL-11A gewährleistet die Sprechfunkverbindung der beiden Besatzungsmitglieder des Flugzeuges mit den Besatzungen aller Kommandostellen und anderen Flugzeugen, die mit einer auf der gleichen Frequenz arbeitenden Funkstation ausgerüstet sind und sich im Bereich der maximalen Reichweite der Funkstation befinden.
Außerdem stellt die RTL-11A der L-39 die Bordsprechverbindung (SPU-Betrieb) zwischen den beiden Besatzungsmitgliedern des Flugzeuges bzw. mit Teilnehmern außerhalb des Flugzeuges über die Außenanschlüsse sicher. Bei Ausfall der Station kann für den SPU-Betrieb ein Reserveverstärker zugeschaltet werden (Schalter in der 2. Kabine).
In der RTL-11A werden außerdem sämtliche über die Kopfhörer auszugebenden akustischen Signale zusammengeführt.
Das sind:
- NF-Ausgangssignal (Kennungssignal) vom RKL-41,
- Kennungssignal vom RSBN-5S,
- akustische Signalisation von MRP-56P/S,
- akustische Signalisation des RW-5 beim Unterfliegen der vorgewählten gefährlichen Höhe,

- Erfassungssignal der Erzeugnisse 310A und 318,
- akustische Signalisation vom Überbelastungsgeber (ЛУН 17 22 2).

Die RTL-11 ist eine teiltransistorisierte UKW-Funkstation kleiner Leistung. Sie wurde in der CSSR entwickelt und wird seit Ende der 60-er Jahre in verschiedenen Flugzeugen eingebaut (L-29). Von den 601 möglichen Arbeitskanälen können 21 Kanäle in einem mechanischen Speicher des FBT vorabgestimmt werden. Die Sende- und Oszillatorfrequenz werden durch eine Frequenzaufbereitungsstufe quarzstabilisiert. Für den Betrieb benötigt die Station nur die Bordnetzgleichspannung 27 V. Für die Versorgung der Röhren mit Anodenspannung besitzt die Station einen Transverter. Die Baustufen der Station sind in mehreren Blöcken untergebracht und in Chassisbauweise ausgeführt.

3.2. Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug

Die Station besteht aus folgenden Blöcken und Bedienteilen:
1 Block A (HF-Stufen, ZF-Verst., Abstimmsystem),
2 Block B (NF-Verstärker, Transverter, Servoverstärker),
3 Block C (Frequenzaufbereitung),
4 Block ZM (Verteilerblock, Reserve-SPU),
5 Block OV FBT der 1. Kabine,
6 Block U FBT der 2. Kabine
7 Antenne,
8 2 Sendeknöpfe (an der Stirnseite jedes Drosselhebels),
9 3 SPU-Knöpfe (je Drosselhebel einer, einer am Steuerknüppel der 2. Kabine).

Die Unterbringung der Blöcke im Flugzeug ist im Bild 3 dargestellt. (Lage der Bedienteile, siehe Kabinenschema)

3.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

- Arbeitsfrequenz	100 ... 150 MHz
- Arbeitskanäle	601
- vorabstimmbare Arbeitskanäle	21
- Kanalumschaltzeit	≦ 6 s
- Sendeleistung	≧ 5 W
- Reichweite bei Zusammenarbeit mit der R-814 oder R-824	120 km bei H = 1000 m 230 km bei H = 5000 m 350 km bei H =10000 m
- ununterbrochene Arbeit d. Senders	maximal 20 min
- Stromaufnahme bei Empfang	4,3 A
bei Senden	6,0 A

nur = 27 V erforderlich

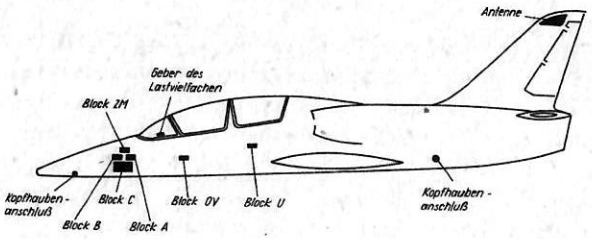


Bild 3 Lage der Teile der RTL-11A im Flugzeug

3.4. Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild

Die Station besteht aus einem Sender und einem Überlagerungsempfänger (Doppelsuper), mit der Besonderheit, daß einzelne Stufen (NF-Verstärker, Schwingstufe) sowohl im Sender als auch im Empfänger bestimmte Aufgaben erfüllen. Bei der Betätigung des Sendeknopfes (S) bzw. SPU-Knopfes (SPU) werden die einzelnen Funktionseinheiten entsprechend zusammengeschaltet. Das allgemeine Arbeitsprinzip des Senders und des Empfängers weicht nicht von dem im Thema "Grundlagen der Informationsübertragungstechnik" behandelten ab. Deshalb werden nur die wenigen Besonderheiten erläutert.

In der Betriebsart "Empfang" (SPU-Knopf und Sendeknopf sind nicht gedrückt) arbeitet die Frequenzaufbereitungsstufe als 1. Oszillator. Bei der Mischung des Oszillatorsignals f_o mit dem empfangenen Signal (wird senderseitig aus f_o + 16 MHz gebildet) muß als Differenzsignal ZF_1 = 16 MHz entstehen. Beim 2. Mischvorgang wird die ZF_2 = 1 MHz gebildet. Das demodulierte Signal gelangt über den NF-Verstärker, Relaiskontakt bzw. Umschalter "YKB-APK" (auf dem FBT, siehe Bild 4) zum Kopfhörer.

Charakteristisch für die Empfänger von Flugzeug-UKW-Funkstationen ist die Rauschsperre. Sie hat die Aufgabe, den Empfängerausgang für die Zeit, in der am Empfängereingang kein verwertbares Signal anliegt, von den Kopfhörern zu trennen.

Das ist deshalb notwendig, weil bei einem schwachen Eingangssignal durch die AVR die Verstärkung des gesamten Empfängers auf maximale Werte geregelt wird und dadurch am Empfängerausgang ein großes Rauschsignal entsteht. Dieses Rauschsignal würde in den Empfangspausen ständig in den Kopfhörern zu hören sein und den Flugzeugführer unnötig belästi

gen. Deshalb wird in den Empfangspausen der Empfängerausgang von den Kopfhörern getrennt.

Der Schalter selbst ist ein elektronischer Schalter, der dann anspricht, wenn die Eingangssignalamplitude einen bestimmten Wert, die Schaltspannung für die Rauschsperre U_S, unterschreitet.

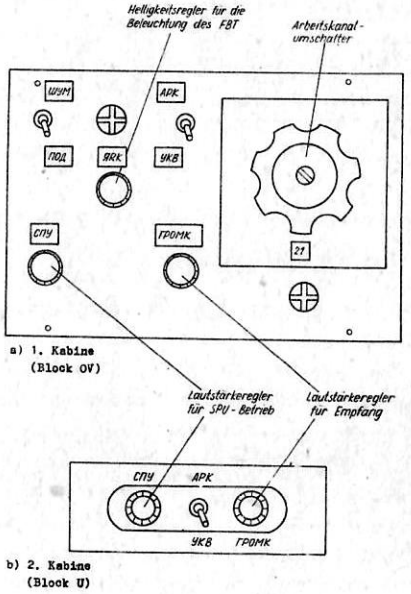


Bild 4 Frontplatten der Fernbedienteile der RTL-11

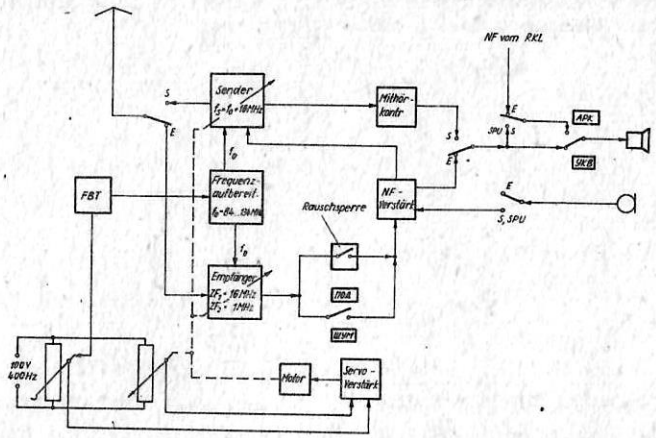
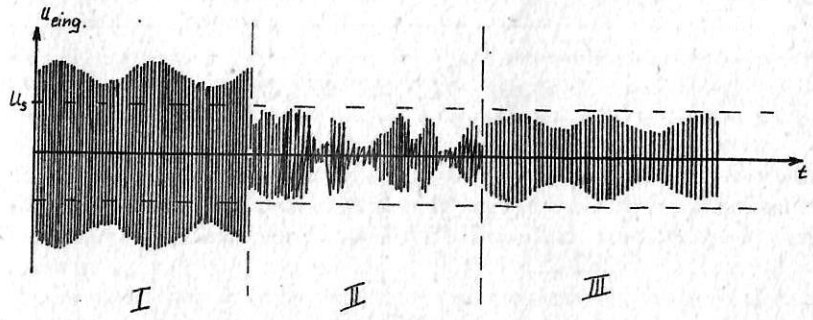


Bild 5 Vereinfachtes Blockschaltbild der RTL-11



u_s = Schaltspann der Rauschsperre

Bild 6 Zeitdiagramme von unterschiedlichen Eingangssignalen

Bereich I Signalspannung U_S Empfängerausgang zugeschaltet

Bereich II keine Nutzsignalspannung, Rauschspannung U_S Empfängerausgang abgeschaltet, Rauschsperre hat angesprochen

Bereich III Nutzsignalspannung U_S Empfängerausgang ist abgeschaltet, Rauschsperre hat angesprochen.

Die Schaltspannung ist einstellbar und wird bei Kontrollen in den Werkstätten oder Kontrollstaffeln nach einer festgelegten Technologie eingestellt. Dabei muß beachtet werden, daß die Rauschsperre nicht schon auf das Eigenrauschsignal des Empfängers anspricht. Damit wäre sie ja wirkungslos.

Wie aus Bild 6 ersichtlich, können Grenzfälle auftreten, bei denen die Signalspannung knapp unter der Schaltschwelle liegt. Das empfangene Signal ist aber durchaus noch zum Teil verwertbar (z.B. bei großen Entfernungen zur Gegenstation). Die Rauschsperre hat aber angesprochen, der Empfängerausgang ist abgeschaltet und der Flugzeugführer hört nichts mehr. Für diesen und ähnliche Fälle ist am FBT der Schalter "ШУМ" vorhanden, mit dem die Rauschsperre abgeschaltet werden kann. Somit können alle empfangenen Signale bis zum Kopfhörer gelangen, also abgehört werden.

Durch die Betätigung des Sendeknopfes wird die Station auf Sendebetrieb umgeschaltet. Dabei wird die Antenne vom Eingang des Empfängers auf den Ausgang des Senders umgeschaltet. Das Mikrofon des Flugzeugführers, der als Erster den Sendeknopf betätigt, wird an den Eingang des NF-Verstärkers angeschlossen. Bei Sendebetrieb arbeitet der NF-Verstärker als Modulationsverstärker. Die Kopfhörer der Kopfhaube werden an den Ausgang der Mithörkontrolle angeschlossen. Das Trägersignal des Senders wird durch Mischung des Signals von der Frequenzaufbereitungsstufe f_o mit einem 16 MHz-Signal und anschließender Selektion des Signals mit der Summenfrequenz gewonnen (siehe Blockschaltbild, Bild 5).

Bei Betätigung eines SPU-Knopfes werden die Mikrofone beider Kopfhauben an den NF-Verstärkereingang angeschlossen und der NF-Verstärker erfüllt seine 3. Aufgabe als Verstärker der Bordsprechanlage. Auf Grund der Mehrfachnutzung des NF-Verstärkers kann die Station nicht gleichzeitig den SPU- und Sendebetrieb sicherstellen.

Die Abstimmung der Station wird vom mechanischen Speicher (vorabgestimmte Arbeitsfrequenzen) des FBT gesteuert und erfolgt über 2 Wege.

a) Umschaltung der Quarzgeneratoren und Selektivverstärker in der Frequenzaufbereitungsstufe. Erzeugung des frequenzstabilisierten Signals f_o,

b) Abstimmung der HF-Verstärkerstufen des Senders und Empfängers auf

die Arbeitsfrequenz. Die Abstimmung erfolgt durch ein Nachlaufsystem mit einer Brückenschaltung (Prinzip siehe BSB, Bild 5).

3.5. Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Voraussetzung für die Inbetriebnahme ist, daß die 27 V-Bordnetzspannung anliegt. Die Station wird mit dem Hauptschalter "RTL" auf dem Hauptschaltpult (siehe Bild 2) in Betrieb genommen. Für die volle Betriebsbereitschaft (Senden, Empfang) benötigt sie wegen der teilweisen Röhrenbestückung ca. 30 s Anheizzeit. Der SPU-Betrieb ist sofort möglich.
Die Bedienelemente am FBT befinden sich bei der Inbetriebnahme in folgender Ausgangslage:

- Kanalwähler auf den befohlenen Arbeitskanal,
- Schalter "APK - YKB" in der Stellung "YKB",
- Schalter "ШУМ - ПОД" in der Stellung "ПОД",
- Regler am rechten Anschlag.

Der Übergang vom Empfang zum Sendebetrieb erfolgt durch Betätigung des Sendeknopfes. Es kann immer nur ein Besatzungsmitglied über den Sender sprechen, und zwar das, welches zuerst den Sendeknopf drückt. Der Arbeitskanal kann nur am FBT der 1. Kabine eingestellt werden. Sobald einer der 3 SPU-Knöpfe betätigt wird, geht die Station grundsätzlich in SPU-Betrieb über, auch wenn gleichzeitig ein Sendeknopf gedrückt ist. Es können beide Besatzungsmitglieder über SPU sprechen. Gleiches gilt auch für die Nutzung des Reserve-SPU, welches mit dem Schalter "SPU-Not" am Hauptschaltpult der 2. Kabine eingeschaltet werden kann.
Die Funkstation eines Flugzeuges muß vor jedem Flug auf ihre Funktionstüchtigkeit überprüft werden. Die Überprüfung der RTL-11 erfolgt in folgendem Umfang:

a) Durchführen einer Sprechprobe mit einer Gegenstation. Dabei ist auf eine ununterbrochene, laute und unverzerrte Mithörkontrolle zu achten. Das empfangene Signal muß laut, deutlich und nicht unterbrochen zu hören sein. Die Funkverbindung ist mit allen Gegenstationen aufzunehmen, mit denen während des bevorstehenden Fluges zusammengearbeitet werden soll.
Zu diesem Zweck müssen

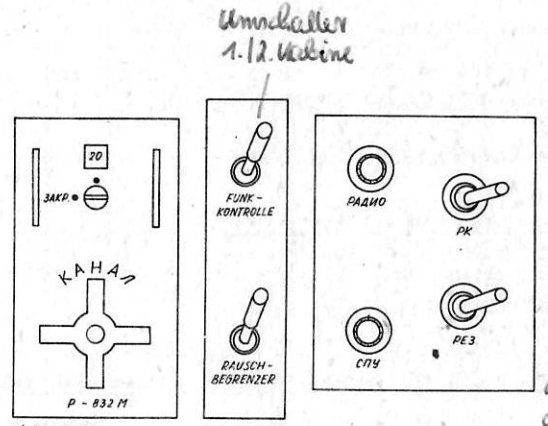
b) Kanalumschaltungen vorgenommen werden. Dabei ist darauf zu achten, daß die maximal zulässige Umschaltzeit nicht überschritten wird.

c) Es wird die Funktionstüchtigkeit der Rauschsperre überprüft. Dazu wird der Schalter "ШУМ - ПОД" am FBT auf "ШУМ" umgeschaltet. In den Kopfhörern muß ein Rauschen zu hören sein. Dabei kann der Lautstärkeregler "ГРОМК." betätigt werden und anhand der Lautstärkeänderung seine Funktionstüchtigkeit überprüft werden. Beim Zurückschalten des

Schalters "ШУМ - ПОД" auf "ПОД" muß das Rauschen sprunghaft verschwinden.

d) Der SPU-Betrieb wird durch eine Sprechprobe mit dem anderen Besatzungsmitglied kontrolliert.

e) Durch Betätigen des Helligkeitsreglers "ЯРК" wird die Beleuchtung des FBT kontrolliert und die Helligkeit den Bedürfnissen entsprechend eingestellt.



a) Kanalwähler
b) Umschalter 1. → 2. Kabine
- Schalter der Rauschsperre
c) FBT des SPU-9

Zu und Abschalten RKL-Signale

Schalter Res.-SPU

jede Kabine ein Endverstärker - alle Signale gehen darüber, wenn dieser Verst. ausfällt ist Ruhe - Durch Schalter Res. SPU wird der 2. Teiln. an den Verstärker des anderen geschaltet

- über Schalter „Boden-SPU" (2. Kab.) kann SPU separat in Betrieb genommen werden

Bild 7 Bedienelemente (FBT) der R-832M und des SPU-9

4. Die UKW-dm-Funkstation R-832M

4.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Ab der 11. Serie der L-39 ist an Stelle der RTL-11 die sowjetische Station R-832M eingebaut.
Sie erfüllt die gleichen Aufgaben wie die RTL-11 in der 10. Serie, außer daß der mögliche SPU-Betrieb nicht genutzt wird. Dafür ist das Bordsprechgerät SPU-9 eingesetzt.
Die R-832M ist eine moderne und sehr zuverlässige Station. In einem gemeinsamen Gehäuse sind alle Funktionseinheiten in Form von Steckbausteinen untergebracht. Die einzelnen Schaltungen sind auf doppelbeschichte-

ten Leiterplatten aufgebaut. Die HF-Stufen sind teilweise noch mit Röhren bestückt. Während des Fluges wird die Station durch von außen über einen Stutzen zugeführte Luft gekühlt.

4.2. Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug

Zum Gerätesatz des R-832 M gehören:

- Die Blöcke A, Б und B (Sender, Empfänger und Netzteil), in einem Gehäuse (Netzteil in der Grundplatte), untergebracht in der Bugluke hinten rechts.
- Die Antenne, Sendeknöpfe, SPU-Knöpfe, siehe 10. Serie,
- die Kanalwähler und Bedienelemente in beiden Kabinen auf dem linken Horizontalpulten (siehe Bild 7 und Kabinenschema).

4.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

- Arbeitsfrequenzbereich
  118 - 140 MHz mit 617 möglichen Arbeitskanälen
  265 mit 83,3 kHz Abstand
  441 mit 50 kHz Abstand
  (88 Kanäle stimmen überein)
  220 - 389,95 MHz mit 3400 möglichen Arbeitskanälen
- Im mechanischen Speicher des FBT können 20 Arbeitsfrequenzen gespeichert werden.
- Kanalumschaltzeit ≦ 4 s
- Sendeleistung ≧ 15 W
- Reichweite, siehe RTL-11 (wie bei UKW-Stationen üblich).
- ununterbrochene Arbeitszeit
  - des Senders maximal 20 Minuten
  - der Station 12 Std. bei einem Zyklus "S": "E" = 1 : 3
- Leistungsaufnahme

	Senden	Empfang
aus dem 27 V-Bordnetz	180 W	100 W
aus dem 115 V/400 Hz Netz	150 VA	150 VA

4.4. Arbeitsprinzip am Blockschaltbild

Die Mehrfachnutzung einzelner Stufen bei der R-832M ist noch stärker ausgeprägt als bei der RTL-11, so daß im Blockschaltbild (s.Bild 8) Sender und Empfänger nicht mehr als separate Funktionseinheiten erscheinen. Ihre prinzipielle Arbeitsweise ist aber so, wie sie im Grundlagenthema gelehrt wurde, erhalten geblieben. Neben der AM des Senders ist eine

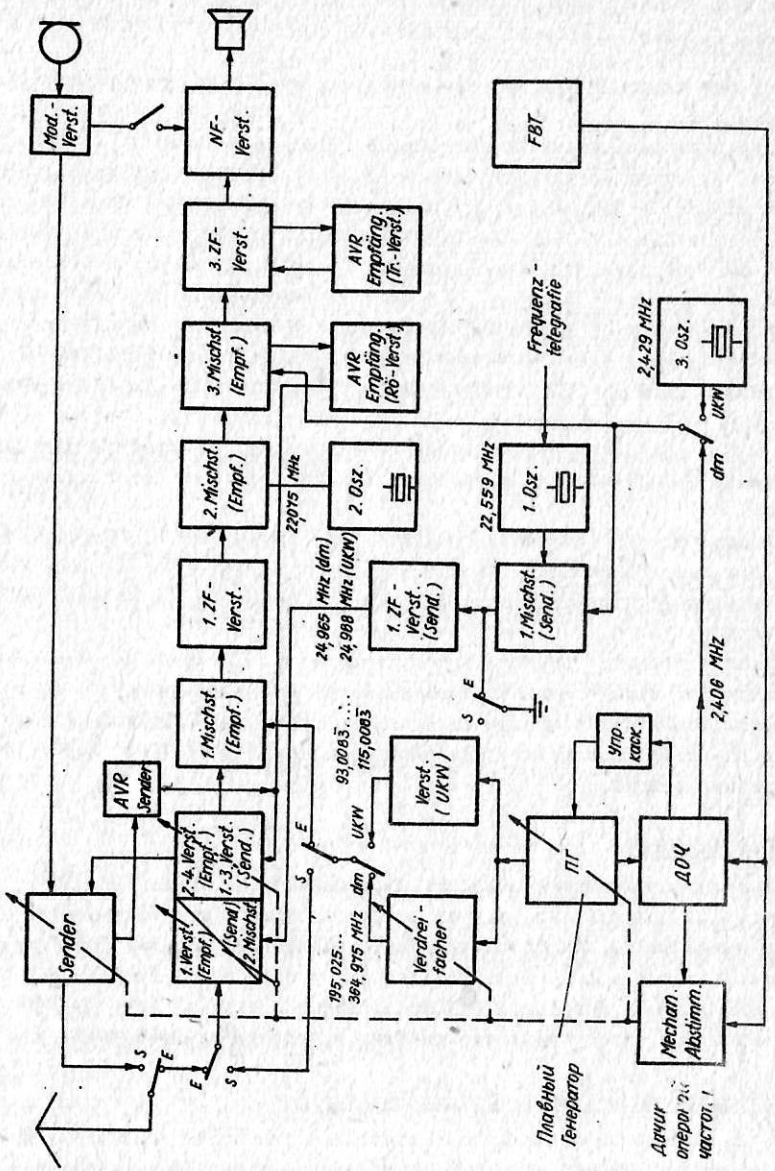


Bild 8 Vereinfachtes Blockschaltbild der R-832M

Frequenztastung möglich.

4.4.1. Der Sender

Nicht auf den ersten Blick ist die Erzeugung des Trägerfrequenzsignals zu überschauen.
Die eigentliche Quelle des Trägersignals befindet sich im ПГ (плавный генератор), einem durchstimmbaren Generator. Die Schwingfrequenz des ПГ wird mit Hilfe des Stützfrequenzgenerators ДОЧ (датик опероной частоты) stabilisiert. Das zur Stabilisierung benötigte Vergleichssignal wird im ДОЧ durch analoge Frequenzaufbereitung verschiedener quarzstabilisierter Signale erzeugt. Die Frequenz wird durch die Abstimmung bestimmt. Im ДОЧ wird die Differenzfrequenz der Signale des ПГ und ДОЧ gebildet. Über eine automatische Abstimmeinrichtung wird der ПГ so abgestimmt, daß die Differenzfrequenz 2,406 MHz beträgt. Gleichzeitig mit dem ДОЧ werden sämtliche HF-Verstärkerstufen der Station abgestimmt. Das eigentliche Trägersignal wird in der 2. Mischstufe des Senders erzeugt und durch die folgenden 3 Verstärkerstufen selektiert und verstärkt.
Neu ist auch die AVR des Senders. Bisher war die AVR nur in Empfängern üblich. Mit der AVR des Senders wird erreicht, daß der Sender über den gesamten Arbeitsfrequenzbereich mit annähernd gleichbleibender Sendeleistung strahlt.
Vereinfacht gegenüber bisherigen Stationen wurde die Mithörkontrolle. Das Signal wird direkt vom Modulationsverstärker abgenommen. Um aber die Kontrollfunktion weiterhin zu erhalten, wird das Mithörsignal nur dann zum NF-Verstärker weitergeleitet, wenn der Sender die geforderte Sendeleistung bringt.

4.4.2. Der Empfänger

Der Empfänger ist ein Dreifachsuper. Das Oszillatorsignal für die 1. Mischstufe ist das gleiche, wie es in der 2. Mischstufe des Senders verarbeitet wird. Der 2. Oszillator ist ein quarzstabilsierter Festfrequenzgenerator und als 3. Oszillatorfrequenz wird in dm-Wellen-Arbeitsbereich die im ДОЧ gebildete Differenzfrequenz genutzt bzw. im UKW-Arbeitsbereich von einem weiteren Festfrequenzgenerator geliefert.

4.5. Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Die Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle der R-832M weicht nur geringfügig von der RTL-11 ab. Deshalb sollen an dieser Stelle nur die Änderungen gegenüber der RTL-11 genannt werden.
Für die Inbetriebnahme ist Voraussetzung, daß neben der Bordnetzgleichspannung auch die Wechselspannung 115 V/400 Hz anliegt, d.h. der elektronische Wechselrichter eingeschaltet ist (Schalter "Umformer 115 V", A 28).

Die Nutzung der Station ist aus beiden Kabinen im vollen Umfang möglich. Dazu kann mit dem Schalter "Funkkontrolle" die Bedienbarkeit von einer Kabine zur anderen umgeschaltet werden. Die Umschaltung arbeitet nach dem Prinzip einer Wechselschaltung. Auf welche Kabine die Bedienbarkeit geschaltet ist, ist an dem beleuchteten Kanalwahlfenster zu erkennen.
Die Lautstärke des Ausgangssignals der R-832M läßt sich mit dem Regler "РАДИО" auf dem FBT des SPU-9 einstellen und der Rauschunterdrücker mit dem Schalter "RAUSCHBEGRENZER" von Hand abschalten (Stellung nach hinten). Der SPU-Betrieb wird vom SPU-9, einer separaten Bordsprechanlage, sichergestellt, so daß der Sendebetrieb der Funkstation und der SPU-Betrieb unabhängig von einander möglich sind.

5. Das Bordsprechgerät SPU-9

5.1. Aufgaben

Das SPU-9 übernimmt bei der 11. Serie die Sicherstellung der Sprechverbindung zwischen den Besatzungsmitgliedern bzw. nach außen und die Zusammenführung sämtlicher Signale, die über die Kopfhörer ausgegeben werden sollen. In der 10. Serie werden diese Aufgaben von der RTL-11 erfüllt.

5.2. Gerätesatz und Lage der Teile

- FBT in der 1. und 2. Kabine (siehe Bild 7),
- Verstärker,
- Block für die Zusammenführung der Sondersignale,
- SPU-Knöpfe am Drosselhebel der 1. und 2. Kabine und am Steuerknüppel der 2. Kabine,
- Schalter "Boden-SPU" auf dem Hauptschaltpult der 2. Kabine ≙ Reserve-SPU in der 10. Serie.

5.3. Arbeitsprinzip am Blockschaltbild

Für den Flugzeugführer geht es vor allem darum, zu wissen, welche Funktionen erfüllen die einzelnen Bedienelemente, was wird bei ihrer Betätigung ausgelöst.
Antwort auf diese Frage gibt das vereinfachte Blockschaltbild des SPU-9 (siehe Bild 9).
Der Verstärker des SPU-9 besteht aus 3 Verstärkerbausteinen, einem für beide Kabinen arbeitenden Vorverstärker und 2 Endverstärker, für jeden

Teilnehmer einen. Sollte einer der beiden Endverstärker ausfallen, dann kann der betroffene Teilnehmer mit dem Schalter "рез" seine Kopfhörer an den Ausgang des anderen Verstärkers anschließen. Dabei ist zu beachten, daß dann auch für ihn die entsprechenden Bedienelemente der anderen Kabine wirksam werden. Aus dem Blockschaltbild geht weiterhin hervor, daß nur über SPU der sprechen kann, der den SPU-Knopf drückt. Mit dem Regler "спу" kann die gewünschte Lautstärke eingestellt werden. Beachtenswert ist weiterhin, daß das Ausgangssignal der Funkstation immer an dem Verstärkereingang anliegt und das Kennungssignal vom Funkkompaß wahlweise noch zusätzlich zugeschaltet werden kann.

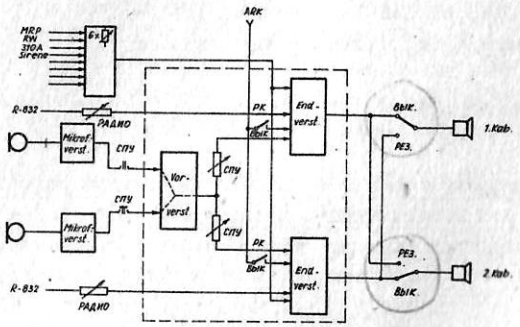


Bild 9 Vereinfachtes Blockschaltbild SPU-9

5.4. Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Das SPU-9 wird zusammen mit der R-832M mit dem Anlagenschalter "RTL" eingeschaltet.
Zur separaten Inbetriebnahme, z.B. wenn nur über die Außenanschlüsse gesprochen werden soll, ist der Schalter "Bodon-SPU" auf dem Hauptschaltpult der 2. Kabine vorhanden. (Muß beim Alleinflug eingeschaltet sein!).
Die Bedienung vor bzw. während des Fluges umfaßt die Betätigung des Sprechknopfes zum Sprechen, die Einstellung der Lautstärke des SPU-Betriebes mit dem Regler "спу", das Zu- bzw. Abschalten des Kennungssignals vom Funkkompaß RKL-41 und bei Notwendigkeit das Umschalten auf Reservebetrieb mit dem Schalter "рез".
Zur Kontrolle der Funktionstüchtigkeit des SPU-9 vor dem Flug ist eine

Sprechprobe mit gleichzeitiger Überprüfung und Einstellung des Lautstärkereglers durchzuführen. Es ist dabei auf eine unverzerrte, ununterbrochene und laute Verständigung zu achten.

6. Die Notfunkstationen R-855U und R-855UM

6.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Beide Stationen können im wesentlichen die gleichen Aufgaben erfüllen. Sie unterscheiden sich hauptsächlich im Aufbau. Die R-855U, die ältere von beiden, ist röhrenbestückt, die R-855UM volltransistorisiert.
Sie gehören strukturmäßig zur Rettungsausrüstung des Flugzeuges und haben folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Den Flugzeugführer nach Verlassen des Flugzeuges die Aufnahme einer zweiseitigen Sprechfunkverbindung oder Tastfunkverbindung auf der internationalen Notfrequenz 121,5 MHz zu ermöglichen.
- Die Abstrahlung eines Dauersignals zum Zwecke der Anpeilung der Station mit einem Funkkompaß (ARK-U2) zu gewährleisten.

Die Stationen können in folgenden Betriebsarten arbeiten:

	R-855U	R-855UM
- A 1 (getastet, unmoduliert)	x	x
- A 2 Handtastung	x	-
- A 2 automatische Tastung	-	x
- A 3 Dauerton	x	-
- A 3 Sprechfunk	x	x

6.2. Gerätesatz und Lage der Teile

(siehe Bilder 10 ... 14)

a) R-855U

- Sender-Empfänger mit Teleskopantenne	Unterbringung entweder im Sitz NAS-1 oder in der Kombination des Flugzeugführers
- Quecksilber-Zink-Batterie	Kombination des Flugzeugführers
- Speisekabel	
- Kopfhaubenkabel	

b) R-855UM

- Sender-Empfänger mit	Kombination des Flugzeugführers oder "Komar-2M"
. anschraubbarer Antenne (Kulikow-Antenne)	

. aufblasbaren Antennenträger im "Komar-2M"
. Langdrahtantenne

- Quecksilber-Zink-Batterie, sie wird immer in der Kombination des Flugzeugführers getragen.

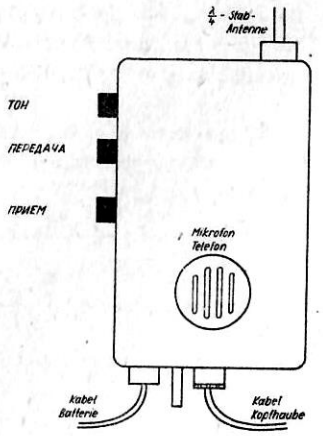


Bild 10 Frontplatte R-855U

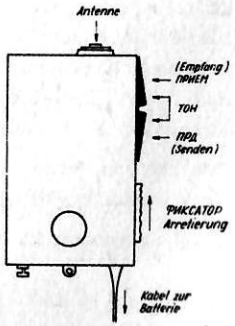


Bild 11 Frontplatte R-855UM

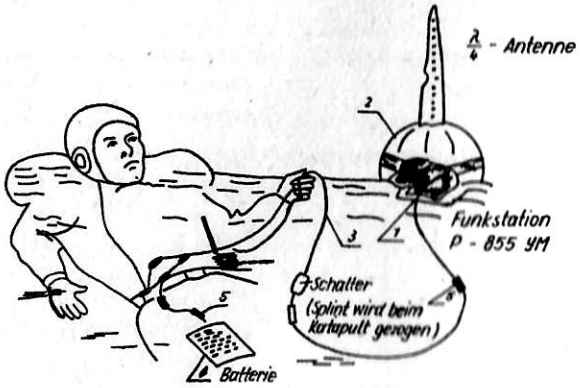


Bild 12 R-855UM in Verbindung mit dem System "Komar-2M"

Bild 13 Inbetriebnahme mit eigenem Mikrotelefon

Bild 14 Inbetriebnahme mit Kopfhaube

6.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

Tabelle 1

Technische Daten		R-855 U	R-855 UM
Betriebsfrequenz (Internationale UKW-Not-f) Q Nr. 259		121,5 MHz	
Übungsfrequenz (Kennzeichen roter Streifen) oder		121,7 MHz	
Senderleistung	P_{HF}	130 mW	
Modulation: AM	m	> 80%	>70%
Empfindlichkeit des Empfangs bei m = 50%/NF = 1000 Hz		25 µV	
NF-Ausgangsleistung	P_{NF}	10 mW	20 mW
Garantie-Lagerzeit der Quecksilber-Zink-Batterie		9 Monate	12 Monate
Gewicht mit Batterie		1,9 kg	
Temperaturbereich	Notfunkstation	-40°C- +50°C	-50°C-+50°C
(bei -Temperatur unter der Kleidung tragen ←--)	Batterie	-2°C- +50°C	
Betriebszeit (Zyklus S:E = 1:3)			nur Senden Tonsignal > 20 h
bei T	+20°C → +50°C	>30 h	>60 h
	+ 5°C	> 6 h	
	- 2°C → 0°C	>2,5 h	

Die Notfunkstationen sind wasserdicht, vibrations- und stoßfest und bleiben nach dem Eintauchen in Seewasser bis 1 m Tiefe voll betriebsfähig.

6.4. Inbetriebnahme und Bedienung

Voraussetzung für die Inbetriebnahme ist eine intakte Batterie, d. h. sie darf nicht überlagert sein und muß die notwendige Temperatur haben (siehe Tabelle 1).

Zur Inbetriebnahme des Empfängers muß die Taste "ПРИЕМ" gedrückt werden und zum Senden die Taste "ПЕРЕДАЧА" ("ПЕРЕД"). Beide können im gedrückten Zustand arretiert werden. Für den Sprechfunkverkehr kann das eingebaute Mikrofon/Telefon genutzt werden. Bei angeschlossener Kopfhaube wird automatisch auf die Mikrofone und Telefone der Kopfhaube umgeschaltet.

Der Sender der R-855 U kann außerdem mit einem Dauerton (Taste "ТОН" gedrückt) moduliert werden oder mit der Taste "ТОН" die Tonmodulation getastet werden (A2-Betrieb).

Tabelle 2

Reichweiten

sind im UKW (VHF)-Bereich abhängig von der Empfänger-Empfindlichkeit und der Antennenhöhe der Gegenstation (Flughöhe des Such-HS bzw. Flgz.).

R-855 U/UM	Gegenstation	Antennenhöhe	Reichweite
FF im Schlauchboot auf See	R-855 U/UM	0,5 m im Boot	> 3 km
	2,5-20 W-Station	4 m-Mast auf Schiff	> 5 km
	250 W-Station	8 m Mast auf Schiff	>10 km
FF im offenen Gelände	R-855 U/UM	0,5 m (FF liegend)	> 300 m
	R-855 U/UM	1,5 m (FF stehend)	> 800 m

zu Suchhubschraubern bzw. Flugzeugen (mit R-860/ARK-U2 bzw. R-802/R-832M)

Flughöhe	Sprechen über Land Peilung		Verb.	Sprechen über See Peilung		Verb.	Tonsignal über Land Peilung		Verb.	Tonsignal über See Peilung		Verb.
300 m	12	-	15	15	-	20	15	-	20	20	-	30
500 m	15	-	20	20	-	25	20	-	25	25	-	35
1000 m	25	-	30	30	-	35	30	-	35	30	-	55
2000 m	25	-	35	35	-	40	30	-	40	40	-	65
3000 m	30	-	45	40	-	50	35	-	50	50	-	75

Anmerkung:

Die zuverlässige Sprechfunkverbindung vom Hubschrauber/Flugzeug zum FF am Boden kann das 1,5 - 2fache betragen.

Bei der R-855 UM ist nur eine automatisch getastete Tonmodulation möglich. Dazu müssen Sende- und Empfangstaste gleichzeitig gedrückt werden.

7. Der automatische Funkkompaß RKL-41

7.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Der automatische Funkkompaß eines Flugzeuges ist ein wichtiges Navigationsgerät und hat die Aufgaben, den Winkel zwischen der Flugzeuglängsachse und der Richtung zu einem abgestimmten Sender, den Kurswinkel zum Funkfeuer (KWF), ununterbrochen zu messen und bei der L-39 auch ständig am KWF-Anzeigegerät anzuzeigen. Mit dem angezeigten KWF-

Wert kann der Flugzeugführer verschiedene navigatorische Aufgaben lösen, wie:

- Anflug eines Lang- oder Mittelwellensenders (Funkfeuer,
- Aufbau einer Blindlandung im OSP-System unter Nutzung anderer Navigationsgeräte,
- Bestimmung des eigenen Standortes,
- Kursbestimmung und Kurskorrekturen.

Der RKL-41 mißt den KWF mit Hilfe eines feststehenden Kreuzrahmens (Richtantenne) und eines Goniometers. Als Empfänger wird ein volltransistorisierter und teilweise mit integrierten Schaltkreisen bestückter Überlagerungsempfänger eingesetzt. Der Überlagerungsempfänger kann vom Fernbedienteil aus kontinuierlich im Frequenzbereich von 150 ... 1800 kHz abgestimmt werden. Bei Ausfall der Funkstation kann der Empfänger des RKL-41 als Notempfänger genutzt werden.

7.2. Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug

Zum automatischen Funkkompaß RKL-41 gehören folgende Anlagenteile:

1 Empfänger	Block P
2 Fernbedienteile (1. und 2. Kabine) Ansicht der Frontplatte, siehe Bild 16	Block O
2 Umschalter für Wahl "Fernfunkfeuer oder Nahfunkfeuer" (1. und 2. Kabine)	Block B
1 Rahmenantenne mit Korrektor für die Funkdeviation	Block A
1 ungerichtete Antenne	
1 Antennenanpassungstransformator	
2 KWF-Anzeigegeräte LUN 3615 (1. und 2. Kabine)	

Die Unterbringung der einzelnen Anlagenteile im Flugzeug L-39 ist im Bild 15 dargestellt.

Die genaue Lage der Bedienelemente und des Anzeigegerätes kann dem Kabinenschema entnommen werden.

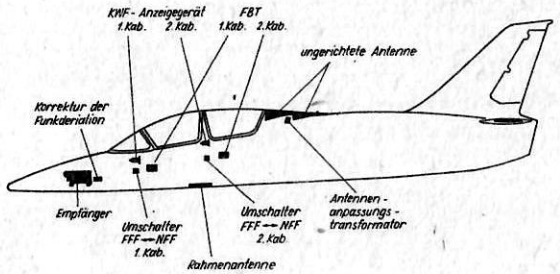


Bild 15 Lage der Teile des RKL-41 im Flugzeug

Umschalter Bandbreite Empfänger
Telefonie Bandbreite 6kHz
Telegrafie -"- 600 Hz ?

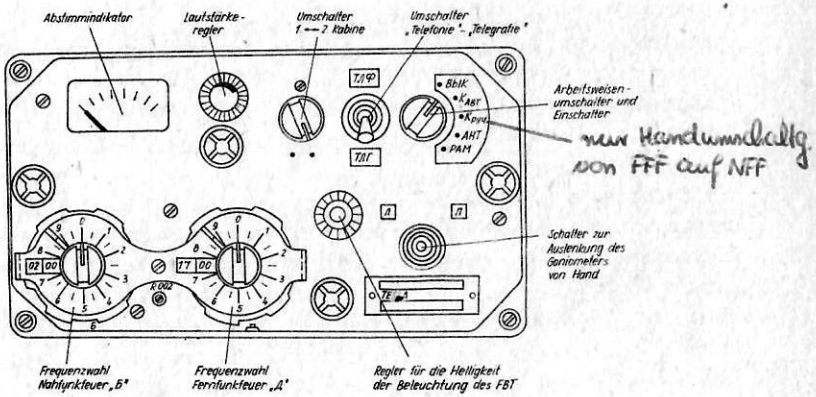


Bild 16 Frontplatte des Fernbedienteils (FBT) des RKL-41

7.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

- Arbeitsfrequenzbereich		f = 150 ... 1800 kHz
- Einstellgenauigkeit der Arbeitsfrequenz		
im Bereich von 150 ... 800 kHz	±	10 kHz
800 ... 1800 kHz	±	15 kHz
- KWF-Anzeigegenauigkeit		
Hauptkurse (0°, 180°)	±	0°
alle übrigen Kurse	±	3°
- mittlere Drehgeschwindigkeit des Zeigers des Anzeigegerätes bei Feldstärken >150 μVm^{-1}		$20^{\circ}\ s^{-1}$
- Einsatzhöhe		≤ 15000 m
- Stromaufnahme aus dem Bordnetz 27 V	≤	1,2 A
115 V/400 Hz - Netz	≤	0,18 A

7.4. Arbeitsprinzip am Blockschaltbild (BSB)

7.4.1. Funktionsgruppen des Funkkompasses

Das vereinfachte BSB, so wie es im Bild 17 dargestellt ist, soll dazu dienen, den Offiziersschüler (Flugzeugführer) beim Klarmachen und Aneignen der für ihn wichtigen Zusammenhänge und Vorgänge im RKL-41 zu unterstützen.

Die gesamte Anlage des Funkkompasses RKL-41 kann in verschiedene Funktionsgruppen unterteilt werden, wie:

- Der Überlagerungsempfänger,
- die Elemente der Fernbedienung (FBT, Handumschalter NFF-FFF, automatischer Umschalter NFF-FFF),
- Rahmenantenne mit Goniometer und Goniometersteuerung,
- Elemente der KWF-Anzeige (Geber und Empfänger des Übertragungssystems, Anzeigegeräte).

Der Überlagerungsempfänger, ein Doppelsuper, hat gegenüber dem im Thema "Grundlagen der Informationsübertragungstechnik" behandelten Überlagerungsempfänger zwei Besonderheiten, er hat zwei Eingänge und zwei Ausgänge.

Einen Eingang für das Signal von der Rahmenantenne (Goniometer) und einen für das Signal der ungerichteten Antenne, der Bezugsantenne. Beide Signale werden im Empfängereingangsteil additiv verknüpft und das Ergebnis wie ein Eingangssignal weiter verarbeitet (siehe Bild 18, Zeile 5).

Am Empfängerausgang entsteht neben dem üblichen Informationssignal,

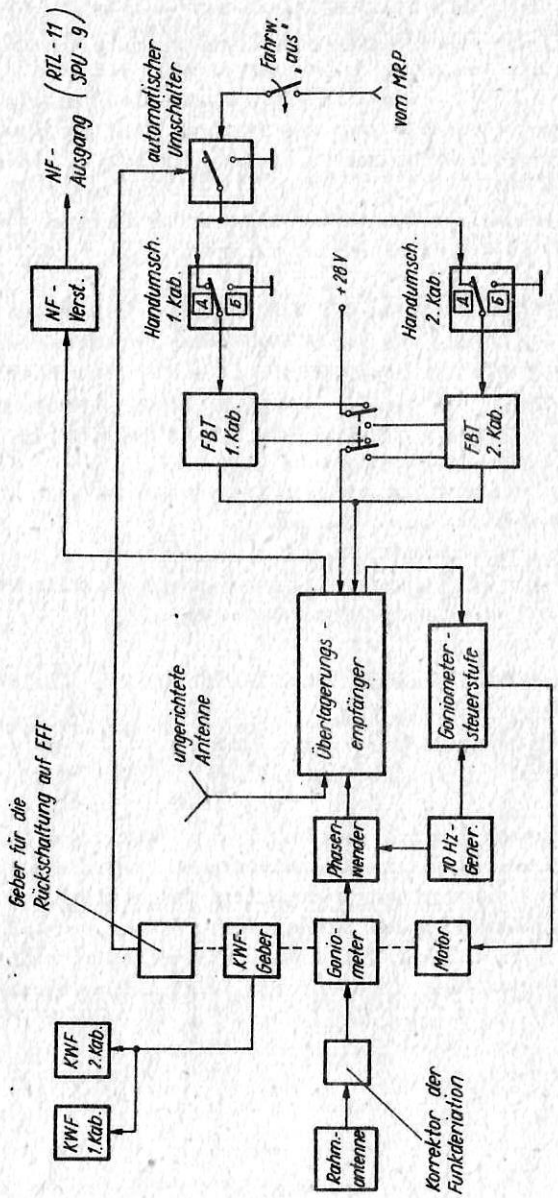


Bild 17 Vereinfachtes Blockschaltbild des RKL-41

welches über die Kopfhörer ausgegeben wird, noch das Steuersignal für die Goniometersteuerstufe.
Die Bedienung der Anlage, wie die Wahl der Arbeitsweise, die Abstimmung des Empfängers, die Handauslenkung des Goniometers, die Regulierung der Lautstärke des Ausgangssignals und die Wahl zwischen den Empfang von A_1 - oder A_2 / A_3 - Signalen (Telegr.-Telefon) erfolgt von einem der beiden Fernbedienteile aus, von welchem, kann an jedem Fernbedienteil mit dem Umschalter 1. und 2. Kabine (siehe Bild 16) gewählt werden.
Mit dem Arbeitsweisenschalter können verschiedene Baugruppen zu- und abgeschaltet werden. In der Arbeitsweise Kompaß (" $K_{ABT.}$ " und " K_{Pyr} ") arbeiten alle Baugruppen.
In der Stellung "AHT" arbeitet die KWF-Meßeinrichtung nicht und vom Empfänger wird nur das Signal von der Hilfsantenne verarbeitet. Die Anlage arbeitet als Überlagerungsempfänger. In der Arbeitsweise Rahmen ("RAM") wird anstelle des Signals der Hilfsantenne das Signal von der Rahmenantenne (Goniometer) verarbeitet. Die Anlage arbeitet als Peilempfänger (Empfänger mit Richtantenne).
Die Rahmenantenne in Zusammenhang mit dem Goniometer und seiner Steuerung sind die Hauptelemente zur KWF-Messung.
Sie sind die richtungsbestimmenden Elemente.
Vom Goniometer wird der KWF ausgegeben und durch ein elektrisches Übertragungssystem auf die Anzeigegeräte übertragen.

7.4.2. Die KWF-Bestimmung mit Hilfe des Kreuzrahmens und Goniometers

Der Kreuzrahmen des RKL-41 besteht aus zwei Ferritkernspulensystemen, die gegeneinander um 90° gedreht montiert sind.
Der prinzipielle Aufbau des Goniometers ist aus dem Bild 19 zu ersehen.
In den beiden Ferritkernspulensystemen des Kreuzrahmens wird durch die magnetische Komponente des elektromagnetischen Feldes eines Senders eine elektrische Spannung induziert, deren Amplitude und Phasenlage abhängig von der Richtung zum Sender sind.
(Siehe Rahmenantenne, Grundlagen Informationsübertragungstechnik.)
Die Richtungsabhängigkeit kann allgemein wie folgt mathematisch formuliert werden:

$$U_1 = U_o \cos \alpha \qquad (1)$$

$$U_2 = U_o \sin \alpha \qquad (2)$$

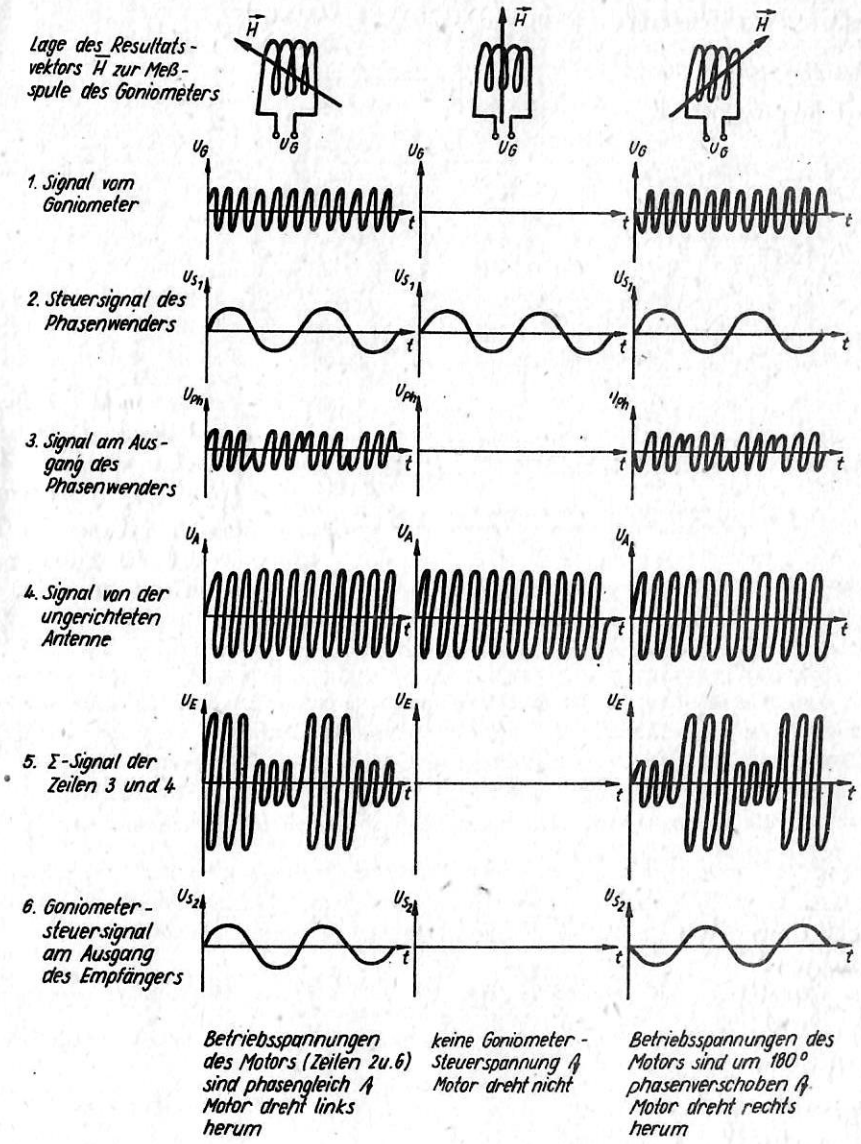


Bild 18 Zeitdiagramme verschiedener Signale innerhalb des RKL-41

Sender erzeugt je nach Standort in beiden Spulen unterschiedliche Spannungen – beide Spannungen werden auf die feststehenden Goniometerspulen gegeben – Aufbau Magnetfeld (vektoriell) Richtung gleich, Größe unterschiedlich (je nach Einfallsrichtung)
beide vektoriellen Größen sind phasen- und frequenzgleich

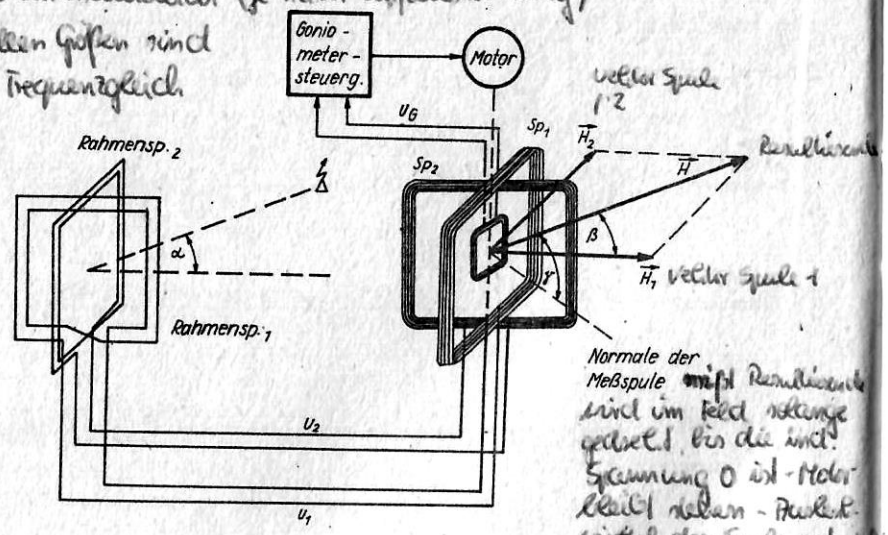
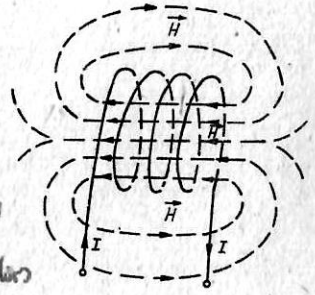


Bild 19 Kreuzrahmen mit Goniometer

Darin bedeutet U_0 die größtmögliche Spannung, wenn die Spulenfläche senkrecht vom magnetischen Feldvektor durchsetzt wird.
Die Spannungen U_1 und U_2 bewirken einen Strom durch die feststehenden Spulen des Goniometers ($Sp._1$ und $Sp._2$). Diese Ströme sind den Spannungen direkt proportional und bauen in den Spulen ein magnetisches Feld entsprechend Bild 20 auf.

Vorteile
- mech. Ausgleichung der Baukräfte geringer
- geringe Größe, Gewicht
- geringere klimatische Belastung der Antenne
- bessere Kompensation der Fehlerdeviation durch Drehung des Resultatsvektors



Der Betrag des magnetischen Feldvektors im Inneren der Spule ergibt sich aus

$$H = \frac{N \cdot I}{l_m} \qquad N = \text{Windungszahl}, \quad l_m = \text{mittlere Länge der Feldlinien} \tag{3}$$

Er ist also dem erzeugenden Strom direkt proportional.

$$H_{Sp} = f_1 (I) \tag{4}$$

Innerhalb der feststehenden Goniometerspulen werden also zwei aufeinander senkrecht stehende magnetische Felder aufgebaut. Beide Teilfelder überlagern sich, und der Ergebnisvektor ergibt sich aus der geometrischen Addition beider Teilvektoren. Da beide Teilvektoren senkrecht aufeinander stehen, ergibt sich für den Betrag des Ergebnisvektors

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2} \tag{5}$$

und für die Richtung, d. h. den Winkel zwischen Ergebnisvektor H und Teilvektor H_1,

$$\beta = \arctan \frac{H_2}{H_1} \tag{6}$$

In Abhängigkeit von den Beträgen und Vorzeichen der Teilvektoren H_1 und H_2 kann Vektor H jede Richtung annehmen, nämlich die, die der Richtung zum empfangenen Sender entspricht.
Das soll durch folgende mathematische Ableitung bewiesen werden.
Nach Bild 19 gilt für ß die Beziehung:

$$\tan \beta = \frac{H_2}{H_1} \tag{7}$$

Nach Gleichung (3) ist

$$H_2 = \frac{N_2 \cdot I_2}{l_{m_2}} \quad \text{und} \quad H_1 = \frac{N_1 \cdot I_1}{l_{m_1}}$$

Mit dem Ohmschen Gesetz können I_2 und I_1 durch

$$I_2 = \frac{U_2}{Z_2} \quad \text{und} \quad I_1 = \frac{U_1}{Z_1} \quad \text{ersetzt werden.}$$

Somit ergibt sich für die Gleichung (7)

$$\tan\beta = \frac{\frac{N_2 \cdot I_2}{l_{m_2}}}{\frac{N_1 \cdot I_1}{l_{m_1}}} = \frac{N_2 \cdot I_2 \cdot l_{m_1}}{N_1 \cdot I_1 \cdot l_{m_2}} = \frac{N_2 \cdot \frac{U_2}{Z_2} \cdot l_{m_1}}{N_1 \cdot \frac{U_1}{Z_1} \cdot l_{m_2}}$$

$$\tan \beta = \frac{N_2 \cdot Z_1 \cdot l_{m_1} \cdot U_2}{N_1 \cdot Z_2 \cdot l_{m_2} \cdot U_1} \qquad (8)$$

Werden für U_1 und U_2 die Beziehungen (1) und (2) eingesetzt, so ergibt sich für tan ß

$$\tan \beta = \frac{N_2 \cdot Z_1 \cdot l_{m_1} \cdot U_o \cdot \sin \alpha}{N_1 \cdot Z_2 \cdot l_{m_2} \cdot U_o \quad \cos \alpha} \qquad (9)$$

Unter der Bedingung, daß die beiden Spulensysteme der Rahmenantenne und die feststehenden Spulen des Goniometers gleich sind, heben sich in Gleichung (9) alle Konstanten auf und es wird

$$\tan \beta = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \tan \alpha$$

Wenn $\tan \beta = \tan \alpha$ ist, dann ist auch $\beta = \alpha$, was zu beweisen war. Es kann also über die Messung des Winkels ß der Winkel α und damit die Richtung zum Sender bestimmt werden.
Der Winkel ß wird mit einer beweglichen Spule im Inneren der feststehenden Goniometerspulen bestimmt (siehe Bild 19). In dieser Spule wird durch das resultierende magnetische Feld eine Spannung induziert, deren Betrag und Phasenlagen von der Stellung dieser Spule zum magnetischen Feldvektor $\vec{H}$ abhängig sind. Mit dieser Spannung wird die Goniometersteuerstufe angesteuert, die über einen Motor die bewegliche Spule so lange dreht, bis die induzierte Spannung 0 wird.
Und das ist der Fall, wenn die Spulennormale (Senkrechte auf die Spulenfläche) senkrecht zum Feldvektor $\vec{H}$ liegt, d. h., die bewegliche Spule hat eine exakt definierte Lage zum Vektor $\vec{H}$ und gibt somit Auskunft über den Winkel ß. Aber nicht eindeutig, sondern zweideutig, d. h., die induzierte Spannung u_G wird bei der Stellung $\vartheta = 90^o$ und $\vartheta = 270^o$ Null. Zur eindeutigen Richtungsbestimmung von $\vec{H}$ wird zusätzlich die Phasenlage von u_G ausgewertet, indem die Drehrichtung der Goniometermeßspule von der Phasenlage bestimmt wird und dadurch die Meßspule immer mit dem selben Minimum in Richtung des H-Vektors ausgerichtet wird.
Zur Bestimmung der Phasenlage von u_G ist ein Vergleichssignal mit konstanter Phasenlage notwendig. Dieses Vergleichssignal liefert die ungerichtete Hilfsantenne (offene Antenne). Beide Signale werden, wie im Abschnitt 7.4.1. schon erwähnt, additiv verknüpft, wobei sich bei Phasengleichheit die Momentanwerte beider Signale addieren und bei entgegengesetzter Phasenlage subtrahieren. Da der Phasenwinkel von U_R im Phasenwender zusätzlich noch im Rhytmus von 70 Hz zwischen 0° und

180° getastet wird, enthält das Signal nach der additiven Verknüpfung zusätzlich eine 70 Hz Amplitudenmodulation (siehe Bild 18, Z-eile 5). Die Demodulation des im Überlagerungsempfänger verarbeiteten Signals liefert deshalb neben dem Informationssignal des empfangenen Senders ein 70 Hz-Signal, dessen Phasenwinkel in Abhängigkeit von der Phasenlage von u_G mit dem Phasenwinkel des Signals vom Phasenwendergenerator übereinstimmt oder entgegengesetzt ist (siehe Bild 18, Zeile 6). Mit diesen beiden Signalen, dem 70 Hz-Ausgangssignal und dem Phasenwendersignal, wird nach entsprechender Verstärkung der Goniometermotor ein Einphasen-Wechselstrommotor, betrieben. Dieser dreht in Abhängigkeit von den Phasenbeziehungen der beiden Betriebsspannungen links- oder rechtsherum.
Auf der gleichen Achse mit der Goniometerspule liegt der Geber für das KWF-Übertragungssystem, d. h. die Stellung der Goniometermeßspule wird durch die Anzeigegeräte als KWF ausgegeben.
Würde man den KWF in der in diesem Abschnitt beschriebenen Art und Weise zur Anzeige bringen, dann würden Ungenauigkeiten in der Größenordnung bis ca. 20° auftreten. Ursache dafür sind Verzerrungen des empfangenen elektromagnetischen Feldes in der näheren Umgebung des Flugzeuges durch ein vom Flugzeug selbst aufgebautes Sekundärfeld. Dieses Sekundärfeld hat seine Ursache in den durch das Primärfeld vom Sender in der Flugzeugzelle induzierten Strömen, deren Größe von der Richtung des empfangenen Primärfeldes und der Art, Zustand und Gestalt der Zelle abhängig ist. Diese Verzerrungen werden als Funkdeviation ΔF bezeichnet. Sie ist durch die Gleichung

$$\Delta F = KWF - AFK \qquad (10)$$

definiert.
AFK = der durch die Verzerrungen zustandegekommene Kurswinkel zum Funkfeuer.
Die Abhängigkeit der Funkdeviation vom KWF ist im Bild 21 dargestellt.

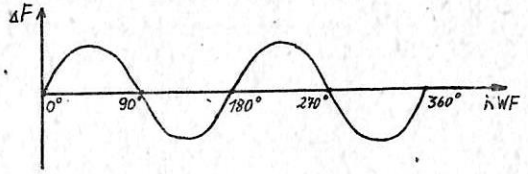


Bild 21 Die Funkdeviation in Abhängigkeit vom KWF

Alle Funkkompasse besitzen eine Einrichtung zur Kompensation der Funkdeviation. Das Meßprinzip mit feststehenden Kreuzrahmen und Goniometer gestattet eine sehr elegante Lösung der Kompensation der Funk-

deviation. Durch Einbau von Dämpfungsgliedern in die Verbindungsleitung vom Rahmen zum Goniometer wird der Betrag eines der beiden Teilvektoren $\vec{H}_1$ oder $\vec{H}_2$ im Goniometer verkleindert, was eine Drehung des Resultatsvektors $\vec{H}$ zur Folge hat. Die Größe des Drehwinkels bei konstanter Dämpfung ist veränderlich, sie ist vom Verhältnis der beiden Teilvektoren abhängig, d. h. im konkreten Falle, von der Richtung zum empfangenen Sender.

Kreuzrahmen und Goniometer sind konstruktiv so aufgebaut, daß durch ein Dämpfungsglied mit zwar einstellbarer aber sonst konstanter Dämpfung die Kompensation der Funkdeviation über den gesamten KWF-Bereich von 0 ... 360° erreicht wird. Die Kompensation der Funkdeviation des Flugzeuges wird periodisch kontrolliert, und bei fehlerhafter KWF-Anzeige außerhalb des Toleranzbereiches wird das Dämpfungsglied neu eingestellt.

7.4.3. Die Abstimmung des Überlagerungsempfängers

Die Abstimmung des Empfängers erfolgt durch eine Nachlaufsteuerung in Form einer Brückenschaltung (siehe Bild 22). Ein Brückenzweig befindet sich im Empfänger, der zweite im Fernbedienteil.

Das Widerstandsverhältnis des Brückenzweiges im FBT kann mit den Abstimmelementen verändert werden. Durch den Motor, der von der Brückenspannung gesteuert wird, wird das Widerstandsverhältnis des Brückenzweiges im Empfänger so lange verändert, bis das Brückengleichgewicht wieder hergestellt ist. Vom selben Motor werden über ein Getriebe die Drehkondensatoren zur Abstimmung des Empfängers verstellt, so daß jedem Widerstandsverhältnis der Brückenzweige eine Empfangsfrequenz zugeordnet werden kann. Der Brückenzweig zur Frequenzwahl ist viermal vorhanden, je FBT zweimal. Mit der Umschaltung FFF-NFF (Fernfunkfeuer-Nahfunkfeuer) kann einer der beiden des zugeschalteten FBT an die Brückenschaltung angeschalten werden, und nur dieser Zweig ist für die Abstimmung des Empfängers wirksam.

Die Umschaltung FFF-NFF kann von Hand mit dem Kippschalter Д - Б oder automatisch erfolgen. Der Flugzeugführer muß zur vorschriftsmäßigen Bedienung und Nutzung des RKL-41 den Umschaltvorgang kennen. Deshalb soll in diesem Fall die vollständige Schaltung (siehe Bild 23) der FFF-NFF-Umschaltung erläutert werden.

Die Umschaltung der beiden Brückenzweige im FBT wird durch die beiden Relais RE 001 und RE 002 realisiert.

Im Steuerstromkreis beider Relais liegt der Transistor Q 004. Es kann also nur ein Steuerstrom über beide Relais fließen, wenn Q 004 leitend ist, d. h. der Schalter PR 005 muß geöffnet sein. Sind die Steuerwicklungen der Relais stromlos, dann ist auf FFF geschaltet, fließt der notwendige Steuerstrom, dann ist auf NFF umgeschaltet.

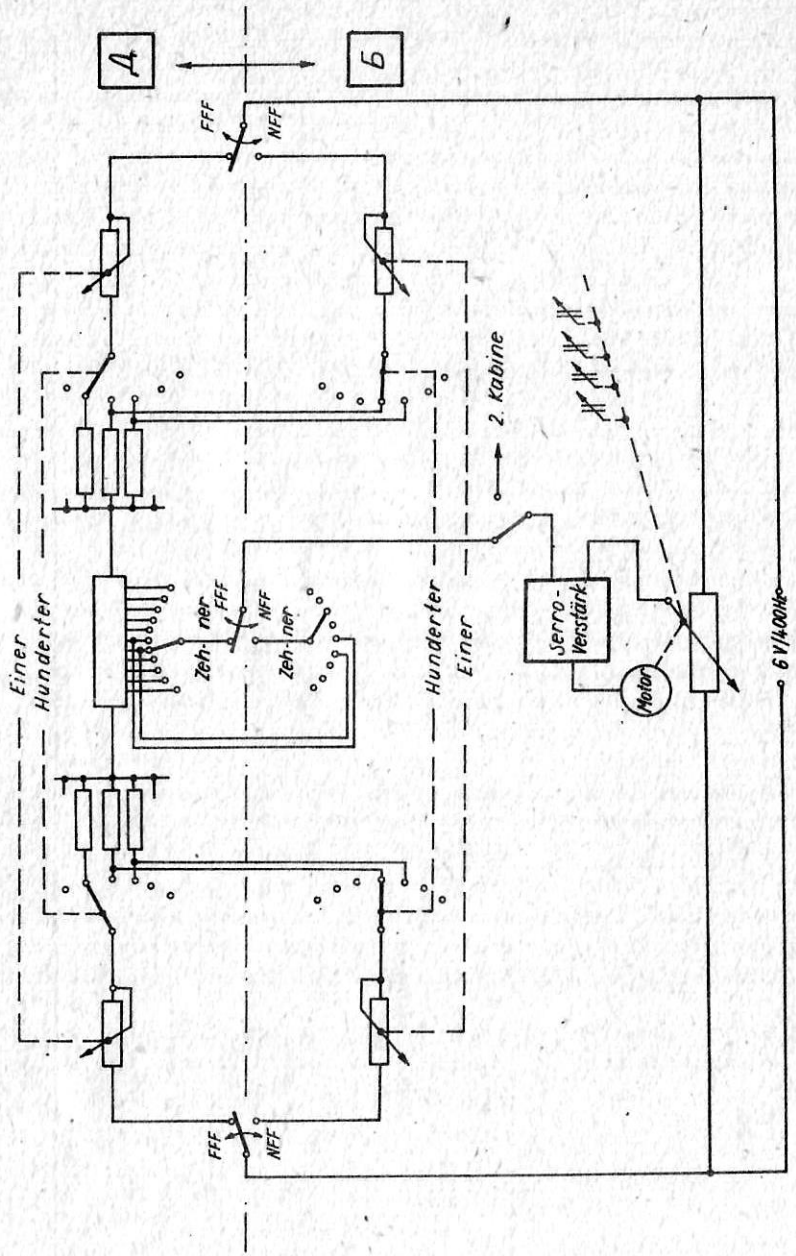


Bild 22 Brückenschaltung der Empfängerabstimmung

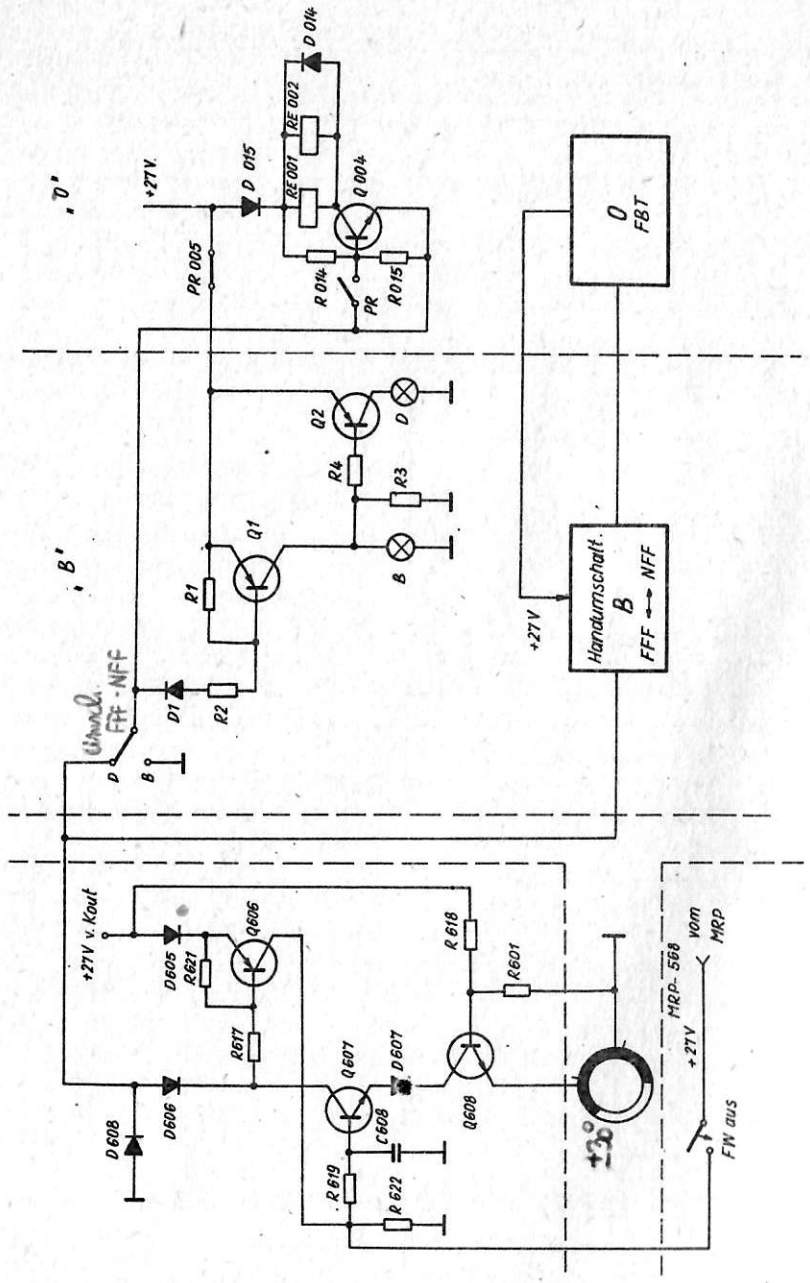


Bild 23 Die FFF - NFF - Umschaltung

FW ein bewirkt ein Umschalten auf FFF

Liegt die Betriebsspannung von + 27 V an der Schaltung an und ist Q 004 leitend, dann fließt der notwendige Relaissteuerstrom "vorausgesetzt, am Emitter von Q 004 liegt Masse an". Wenn nicht, ist der Steuerstromkreis stromlos. Die Zu- und Abschaltung von Masse am Emitter Q 004 kann einmal mit dem Kippschalter "Д" - "Б" oder in der Stellung "Д" durch den automatischen Schalter erfolgen. Die automatische Umschaltung ist also nur in der Stellung "Д" des Handumschalters wirksam. Sobald der Handumschalter auf "Б" steht, liegt Masse am Emitter von Q 004 an und der Empfänger wird auf die Frequenz abgestimmt, die an den Abstimmorganen von "Б" eingestellt ist.
Mit den Leuchtfeldern "Д" und "Б" am Handumschalter wird angezeigt in welcher Stellung sich die FFF-NFF-Umschaltung befindet. Liegt Masse am Emitter von Q 004 an, dann ist Transistor Q 1 leitend, das bedeutet die Lampe "Б" leuchtet und Transistor Q 2 ist gesperrt, d. h. die Lampe "Д" brennt nicht. Liegt kein Massepotential am Emitter von Q 004 an, dann ist Q 1 gesperrt und Q 2 ist leitend, d. h. Lampe "Д" brennt und Lampe "Б" ist aus.
Der automatische Umschalter hat die Aufgabe, zur Umschaltung auf NFF an den Punkt "Д" des Handumschalters Massepotention anzulegen und beim Zurückschalten auf FFF die Verbindung zu Masse zu unterbrechen. Die Verbindung zu Masse wird hergestellt über die Bauelemente D 606, Q 607, D 607, Q 608 und die Schleifkontakte am KWF-Geber (siehe Bild 23). Diese Schleifkontakte sind bei einem angezeigten KWF von $0 \pm 30^{\circ}$ geschlossen. Der Transistor Q 608 wird leitend, sobald an seiner Basis eine positive Spannung von $\geq 0{,}4$ V anliegt. Sie liegt an wenn der Arbeitsweisenschalter am FBT auf "K_{aBT}" steht. Das Signal vom MRP schaltet den Transistor Q 607 auf Durchgang. Dieses Signal wird aber an der Basis von Q 607 nur wirksam, wenn das FW ausgefahren ist und der Endschalter geschlossen ist. Nach Ausbleiben des Signals vom MRP wird der Transistor Q 607 weiterhin durch den Transistor Q 606 im leitenden Zustand gehalten und die Masseverbindung zum Punkt "Д" weiterhin gewährleistet. Beide Dioden Д606 und Д607 sind in Durchlaßrichtung geschaltet und sind kein Hindernis für die Masseverbindung zum Punkt "Д".

Für die automatische Umschaltung von FFF auf NFF ergeben sich somit folgende Bedingungen:

a) Der Arbeitsweisenschalter muß auf "K_{aBT}" stehen.

b) Der Handumschalter FF-NFF muß auf "Д" stehen.

c) Die KWF-Anzeigen müssen im Bereich von $0 \pm 30^{\circ}$ liegen.

d) Das Fahrwerk muß ausgefahren sein.

Sind diese Bedingungen erfüllt, wird die Umschaltung durch das Signal

vom MRP ausgelöst, was z. B. beim Landeanflug über dem FFF passiert. Die automatische Zurückschaltung auf FFF erfolgt theoretisch durch Unterbrechung der Masseverbindung zum Punkt "Д". Praktisch sind folgende Varianten möglich:

a) Die KWF-Anzeige wird auf einen Wert außerhalb des Bereiches $0^{\circ}\pm30^{\circ}$ ausgelenkt.

b) Der Betriebsartenschalter wird auf eine andere Betriebsart als "K_{eBT}" umgeschalten.

Das Ausschalten der Anlage und anschließendes Einschalten bewirken auch ein Zurückschalten auf FFF, diese Möglichkeit ist aber für den praktischen Einsatz nicht zu empfehlen. Für die automatische Zurückschaltung ist die Variante a) vorgesehen. Nämlich beim Überflug des NFF schlägt die KWF-Anzeige auf 180° um und dadurch wird die Rückschaltung auf FFF automatisch ausgelöst und der Empfänger wird auf die Frequenz abgestimmt, die mit den Abstimmelementen "Д" eingestellt ist.

7.4.4. Die Lautstärkeeinstellung

Die Lautstärke des Kennungssignals kann mit dem Lautstärkerregler am FBT nach Wunsch von jedem Besatzungsmitglied eingestellt werden. Dabei ist die Wirkung des Lautstärkereglers in den einzelnen Betriebsarten unterschiedlich, d. h. beim Umschalten der Betriebsarten ändert sich die Lautstärke. Es muß in diesem Zusammenhang darauf hingewiesen werden, daß in der Arbeitsweise "Rahmen" der Ausschlag des Zeigers des Abstimmindikators auch von der eingestellten Lautstärke abhängig ist. Das hängt damit zusammen, daß bei der Arbeitsweise "Rahmen" die Lautstärke durch Veränderung der Regelspannung der AVR geregelt wird und der Abstimmindikator ja nichts anderes als die Regelspannung der AVR anzeigt.

7.4.5. Der Empfang von A_1-Signalen

A_1-Signale sind unmodulierte Signale, die im Rhythmus der Kennung getastet sind. Es gibt zwar kaum noch Funkfeuer, die diese Art der Signale abstrahlen, weil es durch die Signalpausen zu KWF-Anzeigeschwankungen kommen kann, aber beim RKL-41 ist der Empfang und Nutzung dieser Signale vorgesehen. Werden A_1-Signale mit einem normalen Überlagerungsempfänger empfangen, dann bringt die Demodulation kein Informationssignal, egal ob der Träger vorhanden ist oder nicht. Der RKL-41 kann zwar durch Auswertung des empfangenen Trägers des A_1-Signals den KWF zu den Sender bestimmen, aber mit dem normalen Überlagerungsempfänger kann die Kennung des Senders nicht abgehört werden, was aber

für die eindeutige Abstimmung unbedingt notwendig ist.
Deshalb wird der unmodulierte Träger des empfangenen Signals im Empfänger des RKL-41 nachträglich mit einem NF-Signal moduliert.
Nach der Demodulation ist dann dieses NF-Signal in der Zeit, wo der Träger empfangen und moduliert wird, vorhanden. Es ist also im Rhythmus des getasteten Trägers hörbar. Diese nachträgliche Modulation im Empfänger des RKL-41 wird mit dem Schalter "ТЛФ" - "ТЛГ" in der Stellung "ТЛГ" zugeschaltet.
Außerdem wird mit diesem Schalter die Bandbreite des Empfängers, konkret des ZF-Verstärkers umgeschaltet. In der Stellung "ТЛФ" beträgt sie 6 kHz und in der Stellung "ТЛГ" 3 kHz. D. h., in der Stellung "ТЛГ" ist die Trennschärfe des Empfängers besser als in der Stellung "ТЛФ".

7.5. Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Voraussetzung für die Inbetriebnahme ist, daß die Bordnetzgleichspannung und die Wechselspannung 115 V/400 Hz (außer 11. Serie) bzw. 36 V/400 Hz (11. Serie) anliegen und auf dem Nebenschaltpult der Sicherungsautomat ARK eingeschaltet ist.
Der RKL-41 wird mit dem Arbeitsweisenschalter am FBT in Betrieb genommen, indem dieser Schalter auf eine der möglichen Arbeitsweisen gestellt wird.
Zur Nutzung des Funkkompasses muß die Bedienbarkeit auf die eigene Kabine umgeschaltet werden. Mit dem Arbeitsweisenschalter wird die beabsichtigte Arbeitsweise und mit dem NFF-FFF-Umschalter die Arbeitsfrequenz gewählt.
Wenn notwendig, muß vorher die gewünschte Arbeitsfrequenz abgestimmt werden. Danach werden die FBT-Beleuchtung und Lautstärke den Bedingungen entsprechend eingestellt.
Der Flugzeugführer muß auch in der Lage sein, den Funkkompaß während des Fluges schnell und sicher auf eine neue Arbeitsfrequenz abzustimmen. Dazu sollte er sich einen festen Handlungsalgorithmus antrainieren. In der Praxis hat sich folgender Handlungsablauf bewährt:

a) Schaffung der Voraussetzungen zum Abstimmen
   - Zuschaltung der ARK-Kennung auf die Kopfhörer;
   - NFF-FFF-Umschalter in die entsprechende Stellung schalten;
   - Arbeitsweiseschalter in die Stellung "АНТ." bringen.

b) Abstimmung des Empfängers
   - Hunderter und Zehner der Frequenz an den entsprechenden Abstimmungselementen ("Д" oder "Б") am FBT einstellen;
   - Feinabstimmung in Richtung der abzustimmenden Einer drehen bis die Kennung des abzustimmenden Funkfeuers (oder Senders) deutlich

zu hören ist und der Zeiger des Abstimmindikators auf maximalem Ausschlag steht;

- Arbeitsweisenschalter auf "Kompaß" ("K_{pyr}" oder "K_{aBT}") umschalten und KWF-Anzeige kontrollieren (stabile Anzeige, richtiger Wert). KWF-Anzeige von Hand nach der anderen Seite auslenken und den Rücklauf kontrollieren;
- wenn vorgesehen, Handlungen in der anderen Stellung des NFF-FFF-Umschalters wiederholen. Dabei beachten, daß der Arbeitsweisenschalter wieder auf "*AHT*" umzuschalten ist.

c) Herstellung der Ausgangslage
- Kennung vom Funkkompaß abschalten;
- NFF-FFF-Umschalter in die vorgesehene Stellung bringen.

Vor dem Flug ist der Flugzeugführer verpflichtet, die Funktionstüchtigkeit des Funkkompasses zu kontrollieren. Die Kontrolle ist in folgendem Umfang durchzuführen:

a) Kontrolle der Abstimmung des FFF und des NFF (Kennung abhören, Zeiger des Abstimmindikators auf maximalen Anschlag) in der Arbeitsweise "Antenne". Dabei wird gleichzeitig die Handumschaltung, FFF-NFF überprüft.

b) In der Arbeitsweise "Kompaß" wird die stabile und richtige KWF-Anzeige sowie die Einlaufzeit des Goniometers kontrolliert. Dazu wird die KWF-Anzeige um einen Winkel von 120° oder 150° ausgelenkt und die Einlaufzeit überprüft. Diese Kontrolle ist in beiden Einlaufrichtungen durchzuführen.

c) Es wird die Funktionstüchtigkeit der Beleuchtung und der Lautstärkeregulierung überprüft.

8. Der Funkhöhenmesser RW-5

8.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Der Funkhöhenmesser RW-5 hat die Aufgabe, die Flughöhe des Flugzeuges über der Erdoberfläche im Bereich von 0 ... 750 m ununterbrochen zu messen und anzuzeigen. Durch eine Signaleinrichtung wird außerdem das Unterfliegen einer am Anzeigegerät einstellbaren Höhe (gefährliche Höhe) optisch und akustisch signalisiert.
Der Funkhöhenmesser ist im Prinzip ein Entfernungsmesser für kleine Entfernungen und arbeitet deshalb nach der Frequenzmodulationsmethode (FM-Methode), d. h., das Sendesignal ist frequenzmoduliert. Das Gerät ist außer der Senderöhre, einer Laufzeitröhre, voll transistorisiert bzw. mit integrierten Schaltkreisen bestückt. Der Zeiger des Anzeigegerätes wird über ein Folgesystem durch einen Motor mit Getriebe bewegt. Das bringt den Vorteil, daß rein technisch keine Anzeigeschwankungen möglich sind und vom Anzeigegerät immer der Mittelwert der gemessenen Höhe angezeigt wird. Zur ununterbrochenen Kontrolle der Funktionstüchtigkeit der Anlage ist eine spezielle Schaltung vorhanden, die einen Ausfall des Höhenmessers optisch signalisiert. Zur schnellen Kontrolle der Funktionstüchtigkeit des Funkhöhenmessers am Boden ist er mit einer Schaltung zur Eigenkontrolle ausgerüstet.

8.2. Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug

Zum Funkhöhenmesser RW-5 im Flugzeug L-39 gehören folgende Anlagenteile:

1 Sender-Empfänger	Block ПП - 5
2 Antennen (Trichterstrahler) (eine Sendeantenne, eine Empfangsantenne)	AP5-1
2 Anzeigegeräte (je eins in der 1. und 2. Kabine)	YB-5
1 Barometrischer Schalter für das Abschalten der Stromversorgung bei einer Flughöhe H ≥ 4300 m.	

Ihre Unterbringung im Flugzeug ist im Bild 24 dargestellt. Die exakte Lage des Anzeigegerätes (siehe Bild 25) und des Leuchtfeldes "gefährliche Höhe" ist aus dem Kabinenschema zu ersehen.

8.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

- Höhenmeßbereich		0 ... 750 m
- Höhenmeßgenauigkeit Flughöhe < 10 m		± 0,8 m
Flughöhe > 10 m		± 8 %
- Genauigkeit der Signalisation H = 2 ... 10 m		± 0,5 m
der gefährlichen Höhen bezogen auf die angezeigte Höhe H = 10 m		± 5 %
- Zeit der akustischen Signalisation des Unterfliegens der gefährlichen Höhe		3 .... 9 s
- Senderuhefrequenz		4300 MHz
- Frequenzhub Δf		50 MHz
- Hubfrequenz f_{m_1}		150 Hz
- Halbwertsbreite der Antennen $\alpha_{0,5}$		40° in allen Ebenen
- Maximaler Dauerbetrieb		6 Stunden
- Stromaufnahme aus dem Bordnetz 27 V		≤ 0,3 A
und 115 V/400 Hz-Netz		≤ 0,75 A

8.4. Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild

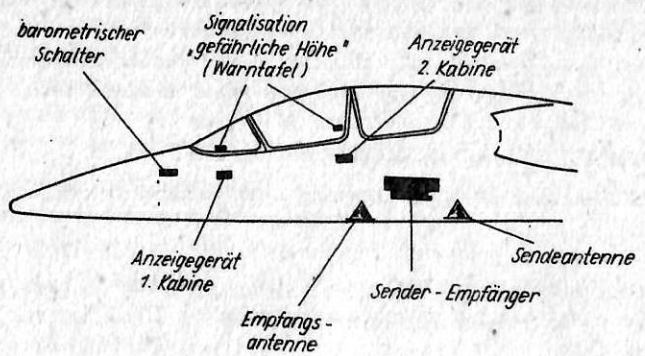


Bild 24 Lage der Teile des RW-5 im Flugzeug

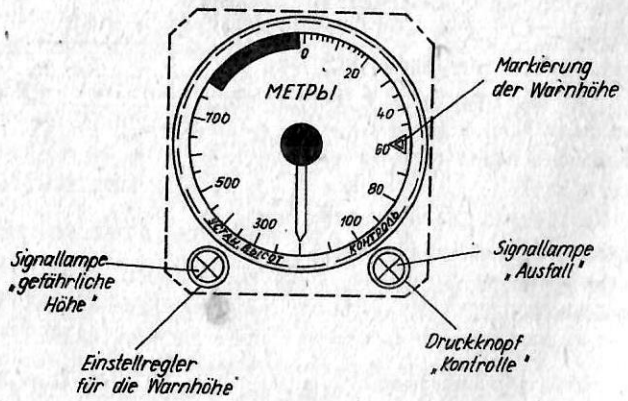


Bild 25 Frontplatte des Anzeigegerätes

8.4.1. Die FM-Methode

Die Höhenmessung beim RW-5 beruht ganz allgemein auf dem Echolotprinzip, d. h. es wird die Zeit gemessen, die das Sendesignal benötigt, um die Strecke Sendeantenne - Erdoberfläche - Empfangsantenne zurückzulegen. Unter der Bedingung, daß die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektromagnetischen Wellen im Meßraum konstant ist, kann nach der Beziehung

$$s = c \cdot t \qquad (11)$$

aus der gemessenen Zeit t die zurückgelegte Entfernung berechnet werden und damit die Flughöhe H bestimmt werden.

$$H = \frac{s}{2} = \frac{c}{2} \cdot t \qquad (11\ a)$$

Die Zeitmessung erfolgt beim RW-5 mit Hilfe der Frequenzmodulationsmethode (FM-Methode).

Das Sendesignal wird mit einem 150 Hz-Signal frequenzmoduliert. Die Frequenzänderung über die Zeit ist im Bild 26 dargestellt. Dieses frequenzmodulierte Signal wird von der Erdoberfläche reflektiert und mit einer von der Flughöhe abhängigen Zeitverzögerung Δt empfangen. Die durch die Zeitverzögerung zustandegekommene Frequenzdifferenz zwischen Sendesignal und empfangenen Signal ist der Verzögerungszeit direkt proportional. Die exakte mathematische Beziehung zwischen beiden Größen kann aus der Grafik des Bildes 26 abgeleitet werden.

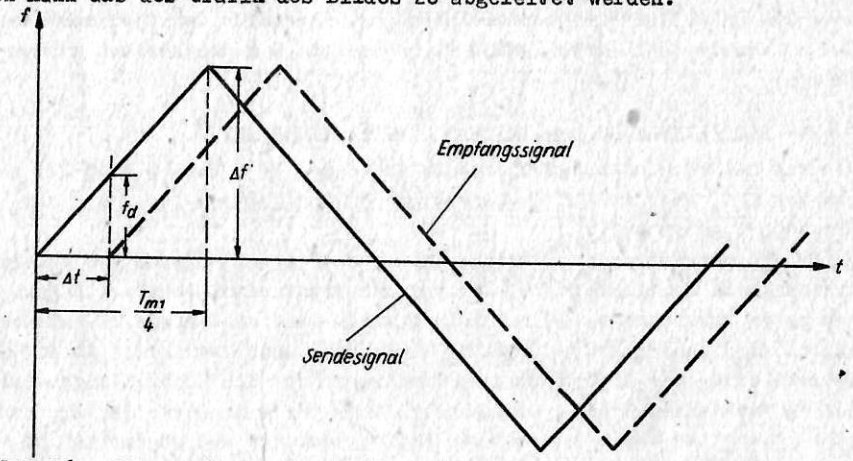


Bild 26 Die grafische Darstellung der Frequenz des Sendesignals und eines Empfangssignals in Abhängigkeit von der Zeit t

Durch Anwendung des Strahlensatzes ergibt sich die Beziehung

$$\frac{\Delta t}{f_d} = \frac{\frac{T_{m\,1}}{4}}{f} \qquad (12)$$

Nach Δt aufgelöst lautet die Gleichung

$$\Delta t = \frac{T_1 \cdot f_d}{4 \cdot \Delta f} = \frac{f_d}{4 \cdot \Delta f \cdot f_{m\,1}} \qquad (13)$$

Gleichung 13 für t in Gleichung (11) eingesetzt, ergibt für die durch das Signal zurückgelegte Wegstrecke S

$$S = \frac{c \cdot f_d}{4 \cdot \Delta f \cdot f_{m\,1}} \qquad (14)$$

und daraus für die Flughöhe H

$$H = \frac{c \cdot f_d}{8 \cdot \Delta f \cdot f_{m\,1}} \qquad (15)$$

Werden der Frequenzhub Δf und die Modulationsfrequenz $f_{m\,1}$ konstant gehalten, so ist die Flughöhe der Differenzfrequenz f_d direkt protortional und kann durch Messung der Differenzfrequenz bestimmt werden. Die Genauigkeit mit der die Höhe bestimmt wird, ist deshalb auch ganz entscheidend von der Erfüllung dieser Bedingung abhängig. Die Zeitmessung mit Hilfe der Frequenzmodulation hat gegenüber der Impulsmethode den entscheidenden Vorteil, daß Flughöhen bis 0 m ausgemessen werden können.

8.4.2. Die praktische Realisierung der Gleichung (15)

Wie aus dem vereinfachten Blockschaltbild des RW-5 (siehe Bild 27) zu ersehen ist, wird im 150 Hz-Generator das Modulationssignal mit der Frequenz $f_{m\,1}$ erzeugt.
Durch die automatische Δf-Nachstimmung wird die Amplitude des Modulationssignals so eingestellt, daß bei der Frequenzmodulation ein normgerechter Frequenzhub Δf realisiert wird. Das vom Sender erzeugte FM-Signal wird über den Richtkoppler an 3 Verbraucher verteilt. An die Sendeantenne, die Mischstufe des Empfängers und die Kontrollmischstufe der automatischen Frequenzhubnachstellung. Zur Mischstufe des Empfängers gelangt außerdem das von der Empfangsantenne empfangene reflektierte Signal.
In der Mischstufe werden beide multiplikativ verknüpft und wie bekannt entsteht dabei ein Signal mit der Differenzfrequenz f_d. Dieser Signalanteil wird durch den Differenzfrequenzverstärker (DF-Verstärker) ausgefiltert und verstärkt. Zur Verbesserung der Meßgenauigkeit des Funk-

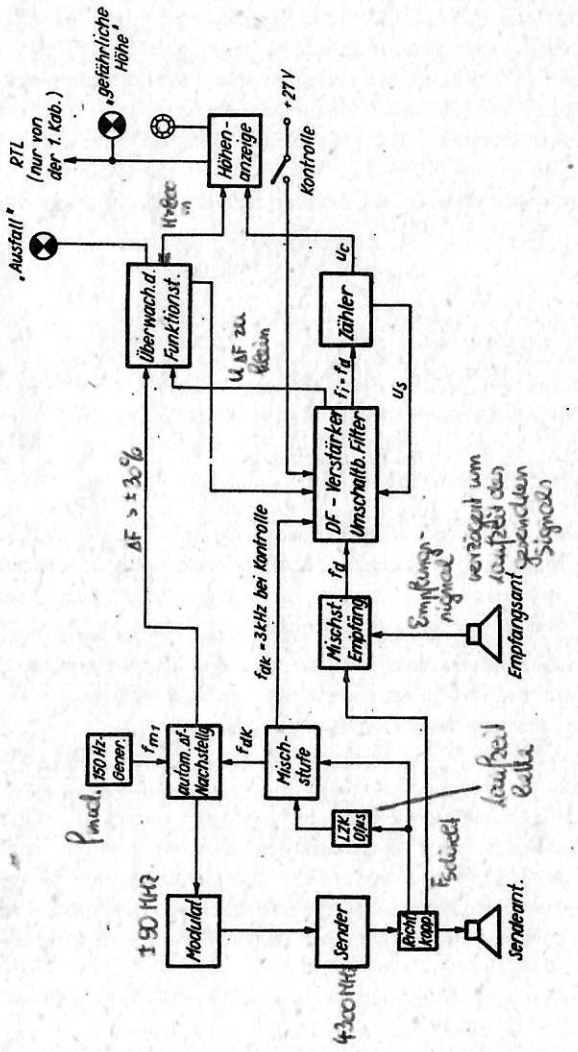


Bild 27 Vereinfachtes Blockschaltbild des RW-5

höhenmessers wird der Frequenzgang des DF-Verstärkers in Abhängigkeit von der gemessenen Flughöhe in 3 Studen umgeschaltet.
In Flughöhen < 20 m liegt die obere Grenzfrequenz des Verstärkers bei 10 kHz (≙ einer Meßhöhe von 50 m). In Höhen zwischen 20 m und 150 m wird sie auf 30 kHz umgeschaltet (≙ einer Meßhöhe von 150 m) und über 150 m werden die untere Grenzfrequenz auf 10 kHz und die obere auf 160 kHz (≙ einer Meßhöhe von 800 m) angehoben.
Zur näheren Erläuterung des Nutzens des veränderlichen Frequenzganges des DF-Verstärkers muß auf folgende Zusammenhänge hingewiesen werden. Auf Grund des Strahlungsdiagramms der Sendeantenne, das aus der Hauptkeule und den Nebenkeulen besteht, werden reflektierte Signale aus verschiedenen Richtungen empfangen (siehe Bild 28).

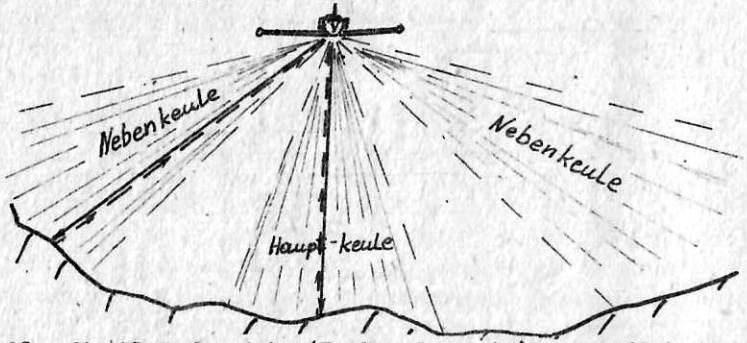


Bild 28 Strahlungsbereiche (Empfangsbereiche) der Funkhöhenmesser antennen

Nach der Mischung in der Mischstufe entsteht demnach kein monochromatisches Signal, sondern ein Frequenzgemisch mit einer Amplitudenverteilung, die von den Reflexionsbedingungen und der Lage des Flugzeuges gegenüber der Erdoberfläche abhängig ist.
Durch den veränderlichen Frequenzgang wird erreicht, daß im wesentlichen nur der Signalanteil weiter verarbeitet wird, der auf dem kürzesten Weg von der Erdoberfläche reflektiert wird, also der der Flughöhe entspricht. Im größeren Meßhöhenbereich kann sich außerdem bei Verringerung der Amplitude des reflektierten Signals der geringe, von der Sendeantenne zur Empfangsantenne direkt übergekoppelte Signalanteil störend auswirken. Durch Anheben der unteren Grenzfrequenz wird diese Störung unterdrückt.
Durch den veränderlichen Frequenzgang des DF-Verstärkers werden wesentliche Ursachen für Meßungenauigkeiten und Höhenanzeigeschwankungen, die durch sich ständig verändernden Reflexionsbedingungen (Erdoberfläche, Lage des Flugzeuges gegenüber der Erdoberfläche) bedingt sind,

ausgeschaltet.
Am Ausgang des DF-Verstärkers wird das verstärkte DF-Signal begrenzt und differenziert, wodurch Nadelimpulse mit einer Impulsfolgefrequenz $f_i = f_d$ entstehen. Durch den Zähler werden zur Bestimmung der f_d die Nadelimpulse pro Zeiteinheit ausgezählt und in eine der Zahl der Impulse proportionale Spannung umgewandelt. Der Zähler ist im Prinzip ein einfaches Integrierglied, bestehend aus einem Widerstand und einem Kondensator (siehe Bild 29).

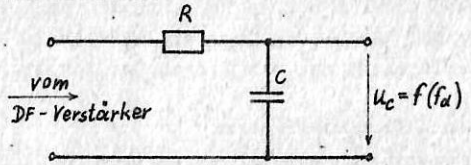


Bild 29 Prinzipielle Schaltung des Zählers

Die Beziehung $u_e = f(f_d)$ gilt aber nur, solange die Ladungsmenge der Nadelimpulse konstant ist, d. h. Amplitude und Länge der Nadelimpulse konstant sind. Das kann aber nur garantiert werden, wenn die Amplitude des empfangenen Signals den Normwert nicht unterschreitet. Ist dies der Fall, dann ist u_c nicht nur von f_d abhängig, sondern auch von der Amplitude des Eingangssignals, und das Meßergebnis wird verfälscht.
Die Ausgangsspannung des Zählers u_c wird im Höhenanzeigegerät verarbeitet. Mit ihr wird ein Nachlaufsystem angesteuert, das den Zeiger des Anzeigegerätes in die Lage dreht, die der u_c und damit auch der Flughöhe proportional ist (siehe Bild 30).

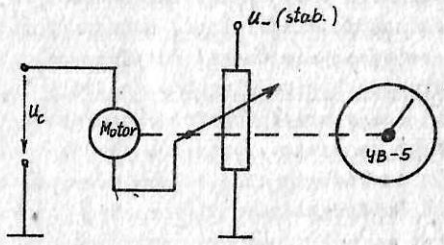


Bild 30 Prinzipielle Schaltung des Nachlaufsystems des Anzeigegerätes

8.4.3. Die Schaltung zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit

Um die Ausgabe von falschen Meßergebnissen auf ein Minimum zu reduzieren, werden der Frequenzhub und die Amplitude des empfangenen Signals ständig überwacht. Weicht der Frequenzhub um mehr als 30 % vom Normalwert ab, und wird die Amplitude des empfangenen Signals kleiner als

die für die Erzeugung einer konstanten Nadelimpulsamplitude notwendige Amplitude, dann wird der RW-5 durch die Stufe zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit auf "Ausfall" geschaltet. Es leuchtet die Lampe "Ausfall" am Anzeigegerät auf und der Zeiger des Anzeigegerätes wird nach rechts oberhalb von 750 m (schwarzer Sektor) gedreht.
Werden die Normwerte wieder erreicht, dann wird am Anzeigegerät die gemessene Höhe wieder ausgegeben und die Ausfallampe verlischt. Es ist also eine vollkommen normale und logische Erscheinung, daß bei Flughöhen > 800 m oder bei Längs- und Querneigungswinkeln $> 20^{\circ} \ldots 30^{\circ}$ die Ausfallampe aufleuchtet und der Zeiger ins schwarze Feld dreht.

8.4.4. Die Kontrolle des Frequenzhubes

Vom Richtkoppler gelangt ein geringer Anteil des Sendesignals direkt und über eine Verzögerungsleitung (LZK) mit einer zeitlichen Verzögerung von 0,1 μs zur Kontrollmischstufe der Frequenzhubüberwachung. Im Ergebnis der Mischung beider Signale entsteht ein Differenzfrequenzsignal mit $f_{d_K} = 3$ kHz, vorausgesetzt, der Frequenzhub stimmt.

Weicht er vom Normwert ab, wird auch $f_{d_K} \neq 3$ kHz sein.
Durch die automatische Frequenzhubnachstellung wird der Frequenzhub so eingestellt, daß $f_{d_K} = 3$ kHz ist.

8.4.5. Die Eigenkontrolle

Wird am Anzeigegerät die Knopflampe der Eigenkontrolle gedrückt, dann wird anstelle des Signals von der Empfangsmischstufe das Ausgangssignal der Kontrollmischstufe verarbeitet. Bei normgerechten Δf wird also am DF-Verstärkereingang ein Signal mit der Frequenz von 3 kHz anliegen und am Anzeigegerät eine Flughöhe von 15 m angezeigt werden. Wird dieser Wert in den gestatteten Toleranzgrenzen (Sektor auf der Skala des UW-5) nicht angezeigt, dann ist der RW-5 nicht einsatzbereit In dieser Kontrolle einbezogen sind alle Stufen außer der Sendeantenne Empfangsantenne und Empfangsmischstufe.

8.4.6. Die Signalisation der gefährlichen Höhe

Genau genommen wird signalisiert, sobald der Zeiger des Anzeigegerätes einen kleineren Wert als den von Hand eingestellten (Dreiecksmarke) anzeigt. Die Signalisation (optisch und akustisch) wird durch das Schließen eines Schleifkontaktes im Anzeigegerät ausgelöst. Die Kontaktbahn dieses Schleifkontaktes wird von Hand (Knopflampe am Anzeigegerät) eingestellt. Der Schleifer wird mit der Zeigerwelle verstellt. Optisch wird das Unterfliegen der gefährlichen Höhe durch die Knopflampe am Anzeigegerät und das Leuchtfeld auf der Havarietafel und akustisch

durch einen 3 ... 9 s dauernden 400 Hz-Ton in den Kopfhörern signalisiert. Die Steuerung der akustischen Signalisation erfolgt für beide Besatzungsmitglieder durch die Einstellung der gefährlichen Höhe in der 1. Kabine. Eine erneute Ausgabe der akustischen Signalisation erfolgt erst beim wiederholten Unterfliegen der eingestellten gefährlichen Höhe, d. h., die gefährliche Höhe mußte vorher wieder überflogen werden. Die optische Signalisation spricht beim Unterfliegen der in der jeweiligen Kabine eingestellten gefährlichen Höhe an und brennt so lange, wie die Höhenanzeige kleiner als die eingestellte gefährliche Höhe ist.

8.5. Die Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Sobald die Spannung im Gleich- und Wechselspannungsnetz (115 V/400 Hz) anliegt, kann der RW-5 mit dem Sicherungsschalter "MRP-RW" am Hauptschaltpult in Betrieb genommen werden.
Mit der Inbetriebnahme beginnt auch die Kontrolle, denn nach dem Einschalten muß sofort die Stufe der Überwachung der Funktionstüchtigkeit ansprechen, da der Sender erst nach der notwendigen Anheizzeit der Senderöhre strahlt. Es liegt also auch kein reflektiertes Signal am Empfängereingang an und die Ausfallampe muß aufleuchten, sowie der Zeiger ins schwarze Feld drehen. Nach 20 ... 30 s erzeugt der Sender die notwendige Signalleistung, die Ausfallampe muß verlöschen und der Zeiger am Anzeigegerät auf 0 m einlaufen. Reagiert der RW-5 nach dem Einschalten so wie beschrieben, dann ist die Schaltung zur Überwachung der Funktionstüchtigkeit und der Signalweg vom f_{m_1}-Generator über Modulator, Sender, Sendeantenne, Empfangsantenne, Empfangsmischstufe, DF-Verstärker, Zähler und Anzeigegerät in Ordnung. Mit Hilfe der Eigenkontrolle kann anschließend noch eine Aussage über die Genauigkeit der Messung getroffen werden. Bevor die Knopflampe der Eigenkontrolle gedrückt wird, wird eine gefährliche Höhe von 10 m eingestellt, um gleichzeitig mit der Eigenkontrolle die Signalisation der gefährlichen Höhe zu überprüfen. Solange der Zeiger bei 0 m steht, muß auch die Lampe (Leuchtfeld) "gefährliche Höhe" leuchten. Wenn bei Eigenkontrolle der Zeiger über die Marke der gefährlichen Höhe hinausdreht, muß die Lampe "gefährliche Höhe" verlöschen. Nach Beendigung der Eigenkontrolle, wenn der Zeiger die Marke "gefährliche Höhe" passiert, muß die optische und akustische Signalisation ausgelöst werden. Verlaufen alle Kontrollschritte positiv, dann ist der Funkhöhenmesser RW-5 einsatzbereit.
Die Eigenkontrolle kann zu jeder beliebigen Zeit widerholt werden. Die gefährliche Höhe wird entsprechend den Festlegungen bzw. eigenem Ermessen eingestellt.

9. Der Markierungsfunkempfänger MRP-56 P

9.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Der Markierungsfunkempfänger MRP-56 P ist, wie die Bezeichnung schon aussagt, eine Empfangsanlage, die die Aufgabe hat, den Überflug funktechnische markierter Punkte optisch und akustisch zu signalisieren. Markiert werden diese Punkte durch einen Sender(MRM), der über eine Richtantenne ein 75 MHz-Signal senkrecht nach oben abstrahlt. Fliegt das Flugzeug in den Strahlungsbereich des MRM ein, wird das abgestrahlte Signal vom MRP-56 P empfangen und die Signalisation ausgelöst Markierungssender sind z. B. an den Standorten der FFF und NFF aufgestellt.
Der MRP-56 P ist ein Festfrequenzgeradeausempfänger. Er ist seit Mitte der 50er Jahre in allen Flugzeugen eingebaut.

9.2. Gerätesatz und Lage der Teile

Zum Gerätesatz des MRP-56 P gehören folgende Anlagenteile:
- Geradeausempfänger,
- Antenne (verkürzter $\frac{2}{4}$-Dipol),
- Stromversorgungsblock (Netzteil),
- 2 Signallampen auf der Informationstafel der 1. und 2. Kabine.

Die Unterbringung der einzelnen Anlagenteile im Flugzeug ist aus dem Bild 31 zu ersehen.

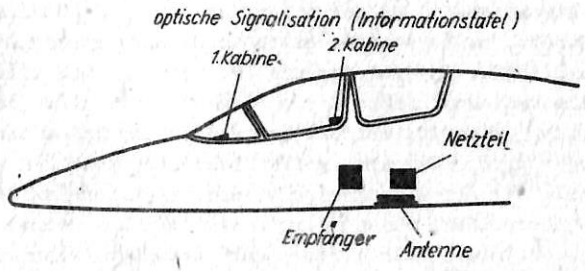


Bild 31 Gerätesatz und Lage der Teile des MRP-56 P

9.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

- Arbeitsfrequenz 75 MHz

9.4. Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild

Gegenüber den in Grundlagen der Informationsübertragungstechnik behandelten Geradeausempfänger hat der MRP-56 P folgende Besonderheiten:
a) Der NF-Verstärker ist als Selektivverstärker für 3 kHz ausgelegt.

b) Das durch die Demodulation gewonnene und verstärkte 3 kHz-Signal wird gleichgerichtet. Mit der gewonnenen Gleichspannung wird ein Relais angesteuert, welches die optische und akustische Signalisation zu- und abschaltet, sowie die automatische Umschaltung des Funkkompasses RKL-41 von FFF auf NFF auslöst.

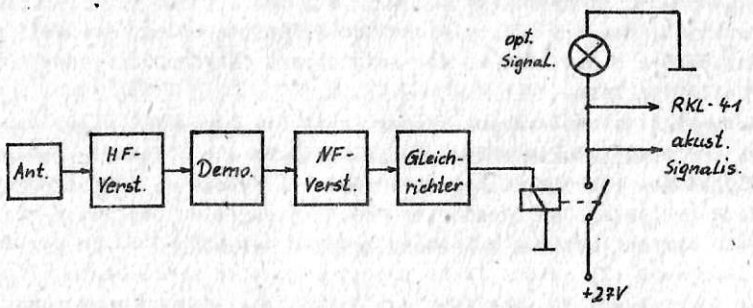


Bild 32 Blockschaltbild des MRP-56 P

Zum Zwecke der Kennzeichnung der Markierungssender wird die Amplitudenmodulation des Senders getastet. Außerdem kann das Informationssignal mit unterschiedlichen Frequenzen (400 Hz, 1200 Hz, 3000 Hz) aufmoduliert werden. Durch den selektiven NF-Verstärker des MRP werden nur Signale mit einer dieser Frequenzen verstärkt und nur auf diese Signale spricht der MRP an. Der MRP-56 P spricht also nur auf Signale an, die mit einem 3 kHz-Signal moduliert sind.

9.5. Die Inbetriebnahme des MRP-56 P

Unter der Voraussetzung, daß die Bordnetzgleichspannung und die Wechselspannung 115 V/400 Hz anliegen, wird der MRP-56 P zusammen mit dem RW-5 mit dem Sicherungsschalter "MRP-RW" auf dem Hauptschaltpunkt in Betrieb genommen und ist auf Grund der Röhrenbestückung nach 20...30 s einsatzbereit. Kontrollmöglichkeiten seitens des Flugzeugführers bestehen nicht.

10. Die Nahnavigationsanlage RSBN-5 S

10.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Das RSBN-5 S ist die erste Anlage dieser Art, die bei Jagdflugzeugen (Jagdbombern) bzw. bei Schulflugzeugen zur Ausbildung von Jagdfliegern Jagdbombenfliegern zum Einsatz kommt.
Durch 2 Rechnerblöcke erweitert, ist es als RSBN-6 S in allen modernen Jagdflugzeugen/Jagdbombern eingebaut.
Das RSBN-5 S ist eine sehr sinnvolle Kombination einer Nahnavigations-

anlage mit einem Instrumentenlandesystem. Die Nahnavigationsanlage ermöglicht die Messung des Azimuts und der Entfernung zu einer Bodenanlage RSBN-2 N oder RSBN-4 N (korrigierter Betrieb).
Das Instrumentenlandesystem arbeitet mit den Bodenanlagen PRMG-4 bzw. PRMG-5 zusammen und ermöglicht einen Landeanflug nach der Geräteanzeige bis zu einer Flughöhe von ca. 60 ... 50 m.
Für beide Anlagen wird die gleiche Sende-Empfangsanlage genutzt, so daß das RSBN-5 S entweder in der Betriebsart "Navigation" oder "Landung" arbeiten kann.
Die Nahnavigationsanlage ist außderdem in der Lage, mit Hilfe der Werte des Geschwindigkeitsvektors des Flugzeuges die Standortveränderung des Flugzeuges ständig zu berechnen und bei bekannten Ausgangswerten die Istkoordinaten des Standortes des Flugzeuges zu bestimmen. In diesem Fall spricht man vom autonomen Betrieb des RSBN-5 S, in der Fachliteratur auch als automatische Koppelnavigation bezeichnet.
In der Betriebsart "Durchstoßen der Wolken nach unten" wird durch einen Analogrechner in Abhängigkeit von der Entfernung zum Flugplatz (Standort des Drehfunkfeuers) die Sollflughöhe errechnet, die das Flugzeug beim Durchstoßen der Wolken nach unten bei einem festprogrammierten Gleitwinkel von ca. 5° einnehmen muß, und sie wird mit der Istflughöhe verglichen. Das Ergebnis des Vergleiches wird über ein Anzeigegerät (НПП) ausgegeben. Das RSBN-5 S kann damit folgende Aufgaben lösen:

a) Messung bzw. Berechnung des Azimuts Θ und der Entfernung Д zu einer Bodenanlage zum Zwecke der Standortbestimmung des Flugzeuges,
b) Messung der Abweichungen des Flugzeuges vom funktechnisch markierten Landepfad (durch ПРМГ-4 oder ПРМГ-5) eines Flugplatzes mit hoher Genauigkeit,
c) Berechnung der Sollflughöhe beim Vorlandemanöver zum Einnehmen der Sicherheitsflughöhe von 600 m und Ausgabe des Ergebnisses des Vergleiches mit der Istflughöhe.

10.2. Gerätesatz und Lage der wichtigsten Blöcke im Flugzeug L-39

Zur Anlage des RSBN-5 S im Flugzeug L-39 gehören folgende Blöcke:

- Vordere und hintere Antenne,
- Sender — СЗД-П
- Empfänger — СПАД-2И
- Meß- und Formierungsblock — БИО
- Fernbedienteil (1. Kabine)
- Hilfsfernbedienteil (2. Kabine)
- 2 Entfernungsanzeigegeräte — ППД - 2
- 2 Anzeigegeräte — НПП - 1485 МК
- Signalisations- und Begrenzerblock — БСиО

- Block für die Eichung der Anzeige bei "Landung" — ЩКП
- Höhengeber — ДВ - 30
- Höhenvorgeber — ЗДВ - 30
- Geschwindigkeitsgeber — ДВС - 5
- Temperaturgeber — П - 5

Die Unterbringung der Blöcke im Flugzeug L-39 ist im Bild 33 dargestellt. Die Ansicht der einzelnen Blöcke der Anlage im Bild 34.

10.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

- Arbeitsfrequenzbereich
  - Sender — 770 ... 812, 8 MHz, 88 Kanäle
  - Empfänger — 905,1 ... 932,4 MHz)) 40 Kanäle
  - und — 939,6 ... 966,9 MHz)
- Arbeitskanäle — 40
- Entfernungsmeßbereich — 0 ... 497 km
- Meßgenauigkeiten
  - Entfernung — ± 200 m ± 0,03 %
  - Azimut — ± 0,2°
- Anzeigegenauigkeiten
  - Entfernung — ± 200 m ± 0,03 %
  - Azimut — ± 1°
- Rechnergenauigkeit
  - Entfernung — ± 5 km ± 0,03 s (s = Flugweg)
- Reichweite
  - a) bei "Navigation" — Funkhorizont
  - b) bei "Landung"
    - mit der Kursfunkbake — H = 10 000 m — 180 km; H = 300 m — 20 km
    - mit der Gleitfunkbake — H = 1 000 m — 80 km; H = 300 m — 20 km
    - Entfernungsmessung — H = 10 000 m — 180 km; H = 1 000 m — 50 km

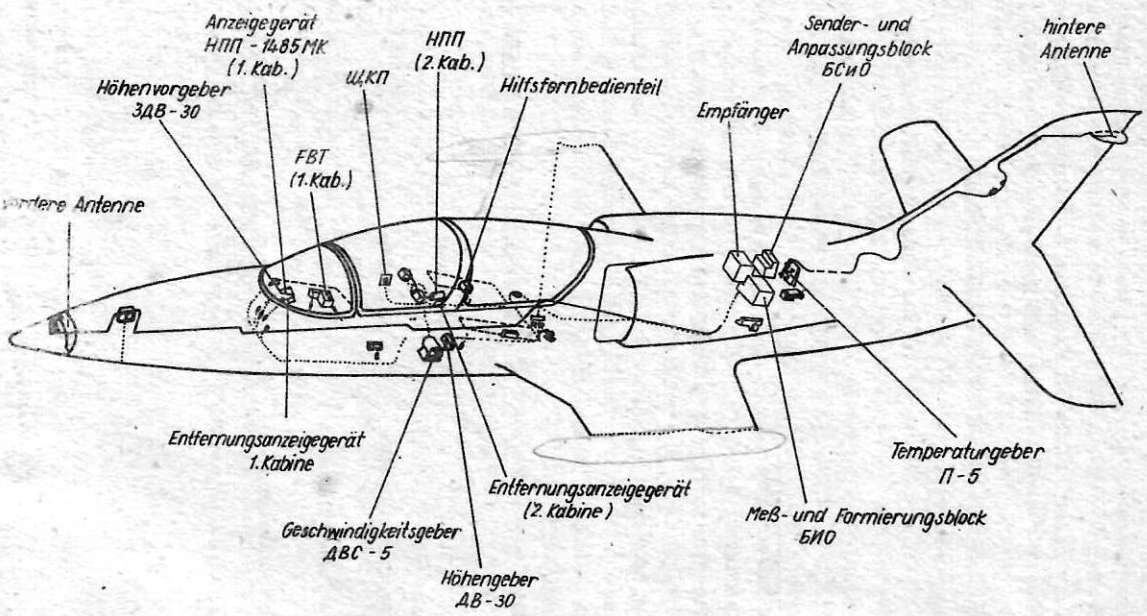


Bild 33 Lage der Teile des RSBN-5 S im Flugzeug L-39

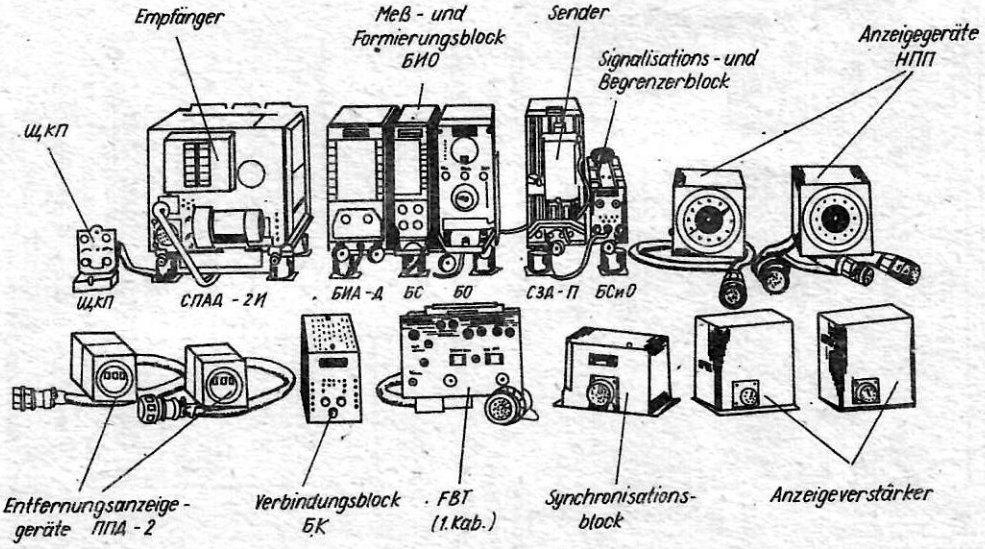
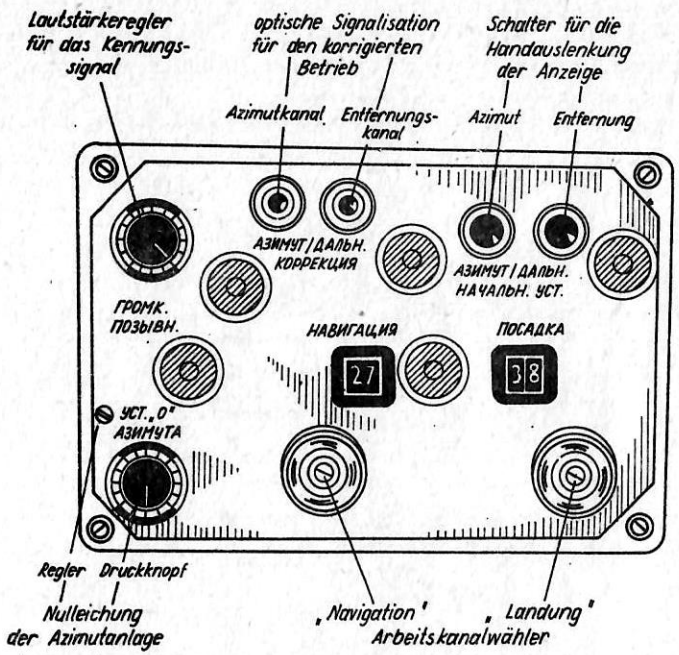
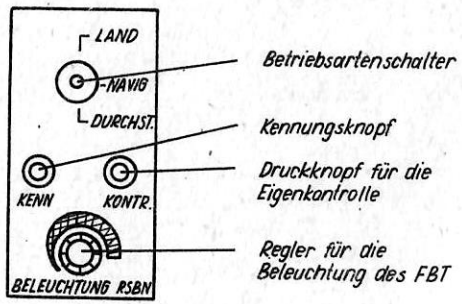


Bild 34 Ansicht der Blöcke des RSBN-5 S



a) Frontplatte des Fernbedienteils der 1. Kabine



b) Betriebsartenumschalter

Bild 35 Bedienelemente des RSBN-5S im Flugzeug L-39

- maximale Umstimmzeit 11 s
- Antennendiagramm , $\alpha_{0,5}$
  - vertikal + 45°
    - 65°
  - horizontal 360° (beide Antennen zusammen)
- Leistungsaufnahme 315 VA

10.4. Das Arbeitsprinzip der Nahnavigationsanlage

10.4.1. Das Prinzip der Azimutmessung

Der Azimut wird mit Hilfe eines Drehfunkfeuers, der Bodenanlage RSBN-2N oder RSBN-4N gemessen. Der Sender des Drehfunkfeuers ПМ-200 strahlt über eine Richtantenne ein Dauersignal ab (siehe Bild 36).

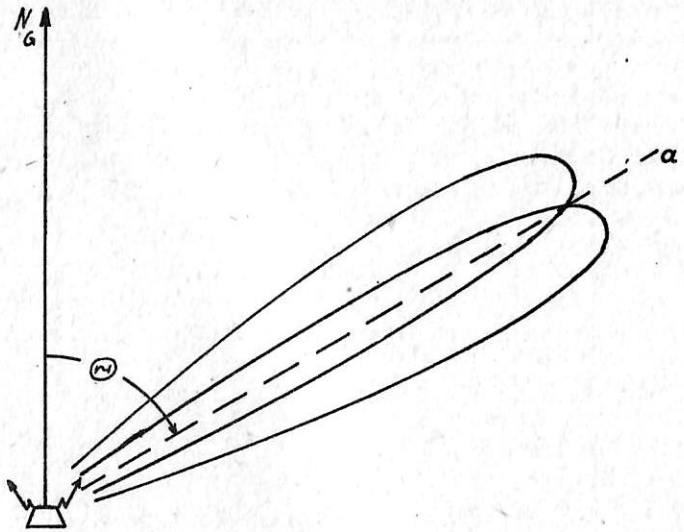


Bild 36 Prinzip der Azimutmessung

Das Richtdiagramm wird in der horizontalen Ebene mit konstanter Winkelgeschwindigkeit gedreht (eine Drehung um 360° dauert 0,6 s). Befindet sich die Flugzeugempfangsanlage in der Reichweite des Senders, dann wird sie für kurze Zeit, wenn die Antenne in Richtung des Flugzeuges strahlt, das Signal empfangen.
Am Empfängerausgang entsteht auf Grund der Strahlungscharakteristik (2 Keulen) ein Doppelimpuls. Das zwischen beiden Impulsen liegende Minimum ist sehr scharf ausgeprägt und dadurch zeitlich exakt erfaßbar. Seine zeitliche Lage entspricht dem Zeitpunkt, in welchem die Antennen-

achse a zum Flugzeug gerichtet ist (siehe Bild 36).
Von einem 2. Sender des Drehfunkfeuers werden mit Rundumstrahlungscharakteristik Bezugssignale in Abhängigkeit von dem Drehwinkel der Richtantenne gegenüber N_G abgestrahlt. Damit besteht in der Empfangsanlage des Flugzeuges die Möglichkeit, die Zeit zwischen dem Bezugssignal was z. B. abgestrahlt wird, wenn die Richtantenne in Richtung N_G strahlt und dem Doppelimpuls, der durch die Richtstrahlung erzeugt wird, zu messen. Da die Richtantenne mit konstanter Winkelgeschwindigkeit gedreht wird, ist der Drehwinkel von N_G bis in Richtung zum Flugzeug dieser Zeitdifferenz direkt proportional. Aus der gemessenen Zeitdifferenz kann also der Azimut Θ bestimmt werden (siehe Bild 36).

10.4.2. Das Prinzip der Entfernungsmessung

Die Entfernung vom Flugzeug zum Drehfunkfeuer wird mit Hilfe eines aktiven Sekundärstrahlers, des Entfernungsretranslators des RSBN- 2 N bzw. RSBN-4 N, gemessen. Der Entfernungsretranslator empfängt das vom Sender des RSBN-5 S abgestrahlte Entfernungsabfragesignal und strahlt seinerseits ein Antwortsignal ab, was vom RSBN-5 S wieder empfangen wird. Aus der Laufzeit der beiden Signale, d. h. aus der Zeitdifferenz vom Sendemoment bis zum Eintreffen des Antwortsignals am Flugzeug, kann der zurückgelegte Weg s und daraus die Entfernung zum Entfernungsretranslator ermittelt werden.

$$1\ \mu s \triangleq \text{einer Entfernung von } 150\ \text{m}.$$

Da die an verschiedenen Orten aufgestellten Entfernungsretranslatoren auf unterschiedlichen Frequenzen arbeiten, kann durch die Wahl der Frequenz der Abfragesignale ein ganz bestimmter Retranslator ausgewählt und zu diesem die Entfernung bestimmt werden. Vom Sender des RSBN-5 S werden in der Sekunde ca. 30 Abfragesignale abgestrahlt. In den Pausen zwischen den Abfragesignalen einer Bordanlage können vom Entfernungsretranslator bis zu 100 andere Bordanlagen bedient werden.
Dieser geschlossene Signalweg RSBN-5 S-Retranslator-RSBN-5 S kann auch vom Entfernungsretranslator beginnend durchlaufen werden. In diesem Fall arbeitet das RSBN-5 S als aktiver Sekundärstrahler auf die Bodenanlage aber nur, wenn das RSBN-5 S die Richtstrahlung des Drehfunkfeuers empfängt. Damit kann auch von der Bodenstation aus die Entfernung zu den Flugzeugen bestimmt werden, deren RSBN-5 S auf den Arbeitskanal der betreffenden Station abgestimmt ist. Die Zeitmessung und Bestimmung der Entfernung daraus erfolgt über ein Sichtgerät. Der Schreibstrahl des Sichtgerätes wird vom Mittelpunkt des Schirmes aus radial mit konstanter Geschwindigkeit in eine Richtung ausgelenkt, die der Stellung der Richtantenne des Drehfunkfeuers entspricht. Der Schreibstrahl des Sichtgerätes wird sonst dunkel getastet, außer wenn das Antwortsignal

vom RSBN-5 S empfangen wird (Bildschirm siehe Bild 37).

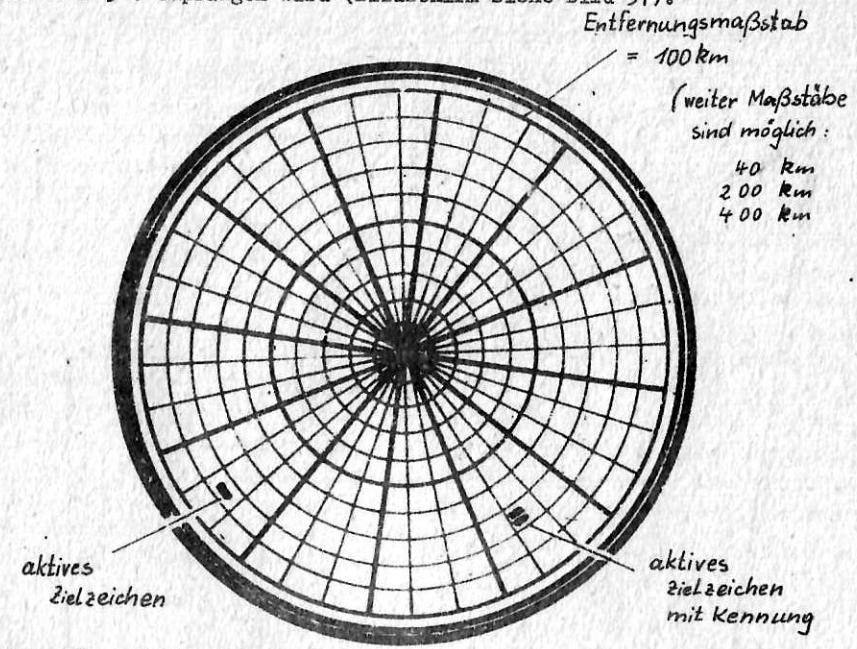


Bild 37 Sichtgerät der Bodenstation

Von jedem Flugzeug, dessen RSBN-5 S auf der Frequenz der betreffenden Bodenstation abgestimmt ist, wird auf dem Sichtgerät ein Zeichen geschrieben.
Um aus der Menge dieser Zeichen ein bestimmtes Flugzeug identifizieren zu können, besteht die Möglichkeit, das dazugehörige Zeichen zusätzlich zu kennzeichnen, indem der Flugzeugführer des betreffenden Flugzeuges den Knopf "Kennung" (1. Kabine, siehe Bild 35 b) drückt. In diesem Fall erscheint mit dem gleichen Azimut in einer um ca. 7,5 ... 15 km größeren Entfernung ein 2. Zeichen (siehe Bild 37).
Für die Bodenstation RSBN-2 N und RSBN-4 N existieren Tochtersichtgeräte, denen über drahtlose Übertragungskanäle die für den Betrieb und Anzeige notwendigen Informationen zugeführt werden. Die Tochtersichtgeräte können bis zu Entfernungen von 40 km zu den Bodenstationen aufgebaut werden.
Die prinzipielle Zusammenarbeit der Bordanlage RSBN-5 S mit der Bodenanlage RSBN-2 N oder RSBN-4 N ist in zusammengefaßter Form im Bild 38 a dargestellt.

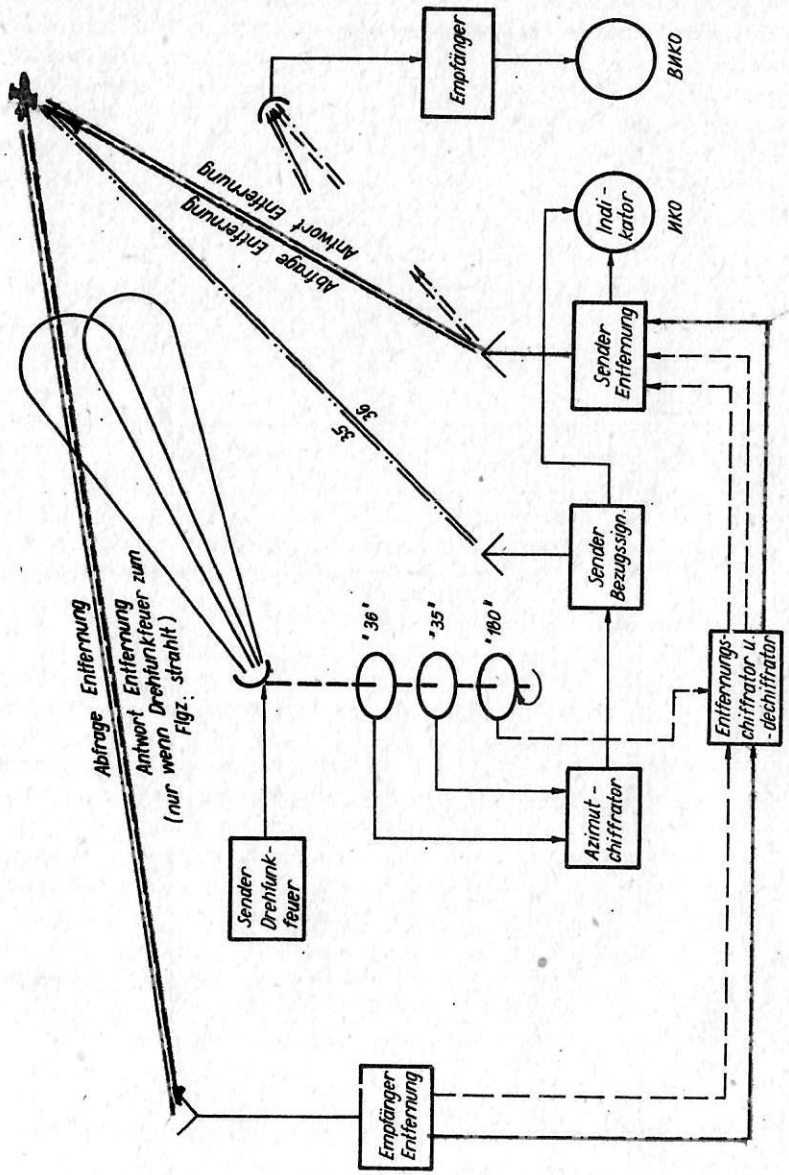


Bild 38 a Zusammenarbeit des RSBN-5 S mit den Bodenanlagen RSBN-2 N bzw. RSBN-4 N

10.4.3. Die prinzipielle technische Realisierung der Azimut- und Entfernungsmessung

10.4.3.1. Der Sender und Empfänger

Die Informationsübertragung von und zum RSBN-5 S erfolgt auf 3 unterschiedlichen Kanälen, dem Sendekanal im Frequenzbereich von 770 ... 812,8 MHz und den beiden Empfangskanälen im Frequenzbereich von 905,1 ... 932,4 MHz und von 939,6 ... 966,9 MHz. Der Sender kann auf 22 verschiedene Frequenzen abgestimmt werden. Zusätzlich sind für jeden Frequenzkanal 4 verschiedene Codierungen möglich (siehe Bild 39), so daß insgesamt 88 Arbeitskanäle zur Verfügung stehen. Beim RSBN-5 S werden davon aber nur 40 Kanäle genutzt (10 Frequenzen). Die Wahl des Arbeitskanals erfolgt am Fernbedienteil (siehe Bild 35 a). Auf jedem der beiden Empfangskanäle sind 40 Arbeitsfrequenzen mit einem Abstand von 0,7 MHz untergebracht. Sie sind mit den Arbeitskanälen identisch. Zur Erhöhung der Störfestigkeit werden auch hier die Signale noch zusätzlich codiert, und zwar so, daß im Abstand von 4 Arbeitsfrequenzen der gleiche Code wieder auftritt. Die Abstimmung erfolgt von den gleichen Bedienelementen aus wie beim Sender, d. h., jedem Sendekanal sind 2 Empfangsfrequenzen fest zugeordnet.

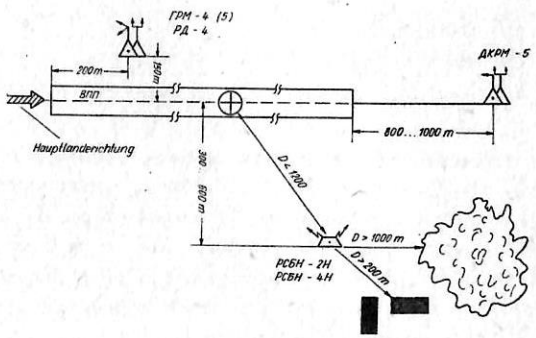


Bild 38 b Standortverteilung der Bodenanlagen RSBN-2 N bzw. RSBN-4 N und PRGM-4 bzw. 5

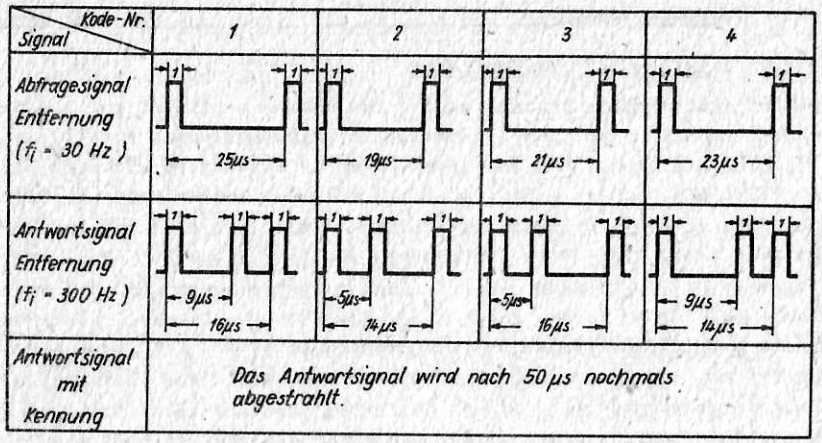


Bild 39 Codierung des Sendesignals des RSBN-5 S

Über die beiden Empfangskanäle werden bei der Betriebsart "Navigation" folgende Signale übertragen:

- Frequenzbereich 905,1 ... 932,4 MHz
  a) das Richtsignal des Drehfunkfeuers
  b) die Azimutbezugssignale des Drehfunkfeuers (35er- und 36er-Signale
- Frequenzbereich 939,6 ... 966,9 MHz
  a) das Entfernungsantwortsignal vom Boden
  b) das Entfernungsabfragesignal vom Boden
  Mit diesem Signal wird gleichzeitig die Kennung des Drehfunkfeuers übertragen.

Die Signaltrennung innerhalb der beiden Empfangskanäle ist durch die unterschiedliche Signalform (Mehrfachimpuls mit unterschiedlichem Abstand) möglich (siehe Bild 40).
Nach der Signaltrennung werden die Signale den entsprechenden Stufen zur Weiterverarbeitung zugeführt. Durch das Entfernungsabfragesignal von der Bodenstation wird der Sender direkt angesteuert und die Abstrahlung des Entfernungsantwortsignals ausgelöst.

10.4.3.2. Die Entfernungsbestimmung

Wie schon im Abschnitt 10.4.2. erläutert wurde, erfolgt die Entfernungsmessung über die Zeitdifferenzmessung zwischen Sendemoment des Entfernungsabfragesignals und des Eintreffens des Entfernungsantwortsignals vom Entfernungsretranslator. Diese Zeitdifferenz wird mit Hilfe eines Zeitmarkenzählers gemessen. Das Meßprinzip ist im Bild 41 dargestellt.

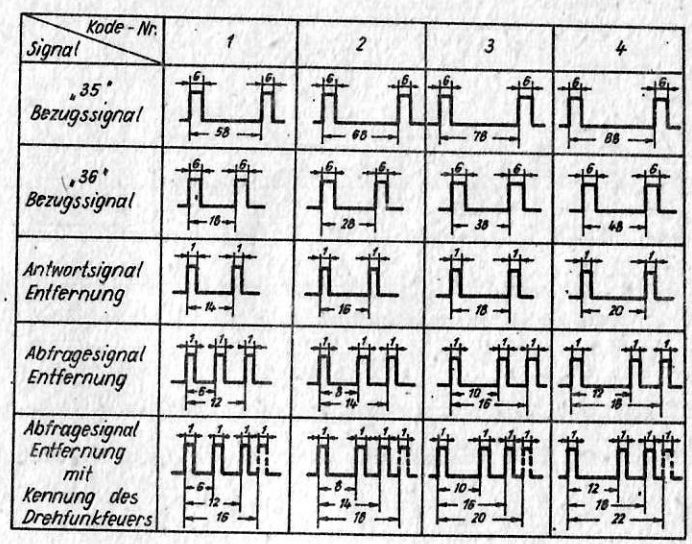


Bild 40 Codierung der Empfangssignale des RSBN-5 S in der Betriebsart "Navigation"

Durch den 30-Hz-Generator wird der Arbeitstakt der Entfernungsmeßeinrichtung bestimmt. Von ihm aus wird der Sender zur Abstrahlung des Entfernungsabfragesignals angesteuert und gleichzeitig die Verbindung zwischen dem Zeitmarkengenerator (quarzstabilisierter Impulsgenerator) und Zeitmarkenzähler (12-stufiger Dualzähler) geschlossen.
Diese Verbindung wird im Moment des Eintreffens des Entfernungsantwortimpulses wieder geöffnet. Damit hat der Zähler die Mengen der Zeitmarken ausgezählt, die vom Zeitmarkengeber in der Zeit von der Abstrahlung des Entfernungsabfrageimpulses bis zum Eintreffen des Antwortimpulses abgegeben wurden.
Der Zeitmarkengeber arbeitet mit einer Impulsfolgefrequenz $f_{i_{ZME}}$ = 959,338 kHz, d. h., der zeitliche Abstand von einem Impuls zum nächsten beträgt 1,042 µs ($T_{i_{ZME}}$). Zählt der Zähler z. B. von der Abfrage bis zur Antwort 10 Impulse aus, so bedeutet das, daß eine Zeitdifferenz von 10 . 1,042 µs = 10,42 µs auftrat. Da die abgestrahlte elektromagnetische Welle in 1 µs eine Entfernung von 300 m zurücklegt,

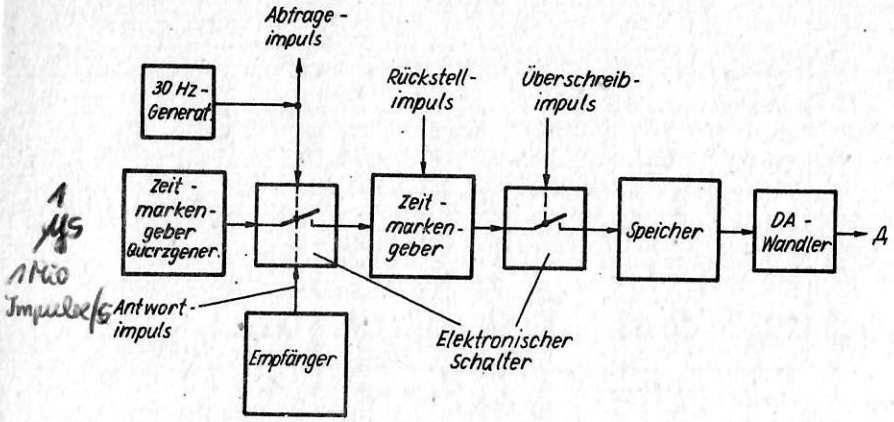


Bild 41 Blockschaltbild der Entfernungsmeßeinrichtung

haben in diesem Fall das Abfrage- und Antwortsignal eine Wegstrecke

$$s = c \cdot t = 300 \frac{m}{\mu s} \cdot 10{,}42\ \mu s = 3126\ m$$

zurückgelegt.
Das entspricht einer Entfernung D vom Flugzeug zum Retranslator von

$$D = \frac{s}{2} = 1563\ m.$$

Da der Zähler nur Impulse auszählen kann, ist auch nur eine digitale Zeitmessung, d. h., eine Zeitmessung in Schritten von 1,042 µs möglich. Damit kann rein theoretisch die Meßgenauigkeit nicht besser als 1,042 µs werden, was auf die Entfernungsbestimmung übertragen ca. 150 m bedeutet.
Nach jedem Meßvorgang wird der Zählerstand auf einen Speicher übertragen, der Zähler zurückgesetzt und damit für die nächste Messung vorbereitet. Der Speicherstand in Form einer Dualzahl wird durch einen Digital-Analog-Wandler (DA-Wandler) in eine proportionale Spannung umgesetzt und durch das Anzeigegerät ППА- 2 als Entfernung ausgegeben (siehe Bild 42).

10.4.3.3. Die Azimutbestimmung

Die Azimutbestimmung ist wie die Entfernungsmessung auf eine Zeitmessung zurückgeführt. Das Meßprinzip wurde im Abschnitt 10.4.1. beschrieben. Die Zeitmessung erfolgt in ähnlicher Art und Weise wie bei der Entfernungsmessung (siehe Bild 43).
Ein Dualzähler zählt ununterbrochen die Zeitmarken vom Zeitmarkengeber

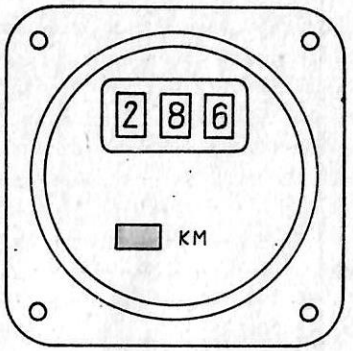
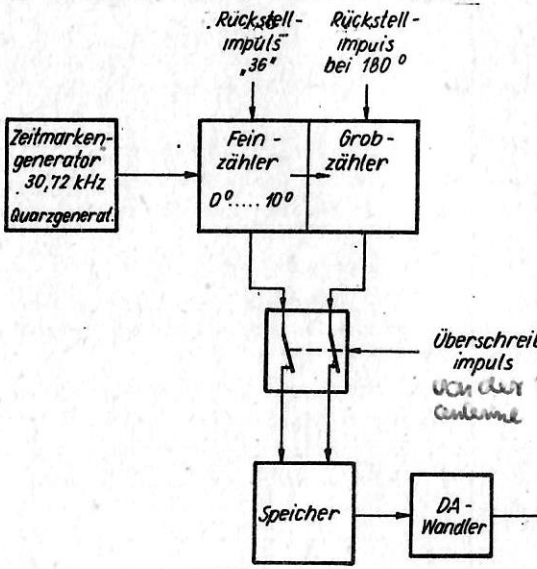


Bild 42 Frontplatte des Entfernungsanzeigegerätes ППА- 2

aus. Aus der Zeitmarkengeneratorfrequenz $f_{i_{ZMA}}$ = 30,72 kHz und der Drehgeschwindigkeit der Antenne des Drehfunkfeuers ergibt sich die Beziehung

1 Zeitmarke ≙ einem Drehwinkel = ω = 0,02°.

Die ersten neun Stellen des Zählers (Feinzähler) zählen die Zeitmarken für einen Winkelbereich von 0 ... 10° aus. Danach wird der Zähler auf 0 zurückgestellt und beginnt wieder von 0 an zu zählen. Der Rückstellimpuls wird gleichzeitig als 10° - Zählimpuls zum Grobzähler gegeben, so daß der Grobzähler die 10°-Schritte zählt.



2. Sender strahlt bei 0-Durchgang der Drehantenne ein N-Bezugssignal aus - Empfang im Fz-öffnen Zähler - bei Durchgang Azimutantenne durch Fz Zähler zu. Aus Zeit Berechnung Drehwinkel der Antenne

Bild 43 Vereinfachtes Blockschaltbild der Azimutmeßeinrichtung

Zur Realisierung der geforderten Meßgenauigkeit der Anlage wird der Feinzähler mit dem "36"er-Bezugsimpuls durch die Bodenstation synchronisiert. Der "36"er-Bezugsimpuls wird bei der Stellung der Antennenachse a des Drehfunkfeuers in Richtung N_G beginnend 36 mal pro Umdrehung gebildet, d. h. aller 10° wird ein "36"er-Bezugsimpuls abgestrahlt Die Synchronisation erfolgt dadurch, daß der empfangene "36"er-Bezugsimpuls als Rückstellimpuls für den Feinzähler genutzt wird. Somit zählt der Feinzähler synchron mit der Drehbewegung der Drehfunkfeuerantenne. Zur Information für den Grobzähler, bei welchem Zehner sich die Drehfunkfeuerantenne befindet, wird der zweite Bezugsimpuls, der "35"er ausgewertet. Der "35"er-Bezugsimpuls wird pro Antennenumdrehung 35 mal gebildet, und zwar wenn die Drehfunkfeuerantenne in Richtung N_G strahlt gleichzeitig mit dem "36"er. Da jeder weitere "35"er-Bezugsimpuls im Abstand von ca. $10{,}28^o$ zum Vorhergehenden abgestrahlt wird, vergrößert sich der zeitliche Abstand zwischen den "36"er und "35"er Impulsen immer mehr, bis sie nach einer vollen Antennenumdrehung zeitlich wieder zusammentreffen. Bei 180° liegt der 19. "36"er-Impuls zeitlich genau zwischen dem 18. und 19. "35"er-Impuls.
Diese Situation wird registriert und zur Synchronisation des Grobzählers genutzt.
Somit zählt der Zähler synchron zur Drehbewegung der Drehfunkfeuerantenne. Sobald die Drehfunkfeuerantenne mit ihrer Achse (siehe Bild 36) zum Flugzeug zeigt, d. h., am Ausgang des Empfängers des RSBN-5 S das Minimum des Doppelimpulses anliegt, wird der Überschreibimpuls für den Azimutkanal gebildet. In diesem Moment wird der Zählerstand auf den Speicher übertragen. Somit wird im Speicher der Winkel Θ in Form einer Dualzahl gespeichert. Über einen DA-Wandler wird der gemessene Azimut als Spannung ausgegeben (siehe Bild 43).
Auch die Azimutmessung erfolgt wie die Entfernungsmessung nicht kontinuierlich, sondern in Schritten mit einer Schrittweite von $0{,}02^o$. Deshalb kann theoretisch der absolute Meßfehler nicht kleiner als $\pm 0{,}02^o$ werden.
Durch eine Reihe von Schutzschaltungen ist gewährleistet, daß weder der Azimutmeßkanal noch der Entfernungsmeßkanal auf beliebige Impulse (Störungen) ansprechen und nur die zum laufenden Meßvorgang gehörenden Signale verarbeitet werden.
Sobald über die Meßkanäle die Entfernung und der Azimut gemessen werden, leuchten am FBT die dazugehörigen Signallampen "АЗИМУТ КОРРЕКЦИЯ" bzw. "ДАЛЬН. КОРРЕКЦИЯ " auf (siehe Bild 35). Verlöschen die Lampen dann ist das ein Zeichen dafür, daß der jeweilige Kanal in den autonomen Betrieb übergegangen ist.

10.4.4. Die autonome Azimut- und Entfernungsbestimmung

Unter autonomen Betrieb versteht man ganz allgemein die Berechnung der Standortkoordinaten des Flugzeuges mit Hilfe von Werten, die im Flugzeug ohne fremde Hilfe bestimmt werden können. In diesem Fall handelt es sich um die Richtung und den Betrag des Geschwindigkeitsvektors des Flugzeuges im erdparallelen Koordinatensystem. Die Genauigkeit der Berechnung hängt in erster Linie von der Genauigkeit ab, mit der diese Werte zur Verfügung gestellt werden können. Ausgangspunkt für die Berechnung ist die Beziehung für die zurückgelegte Wegstrecke S

$$S = v \cdot t \qquad (16)$$

Startet z. B. ein Flugzeug vom Flugplatz FP_1 (siehe Bild 44) und fliegt mit einem Azimut Θ_1 und einer Geschwindigkeit $v_1 = 500\ kmh^{-1}$ 15 min, so hat es nach Gleichung (16) einen Weg von

$$S_1 = 500\ kmh^{-1} \cdot 0{,}25\ h = 125\ km$$

zurückgelegt.

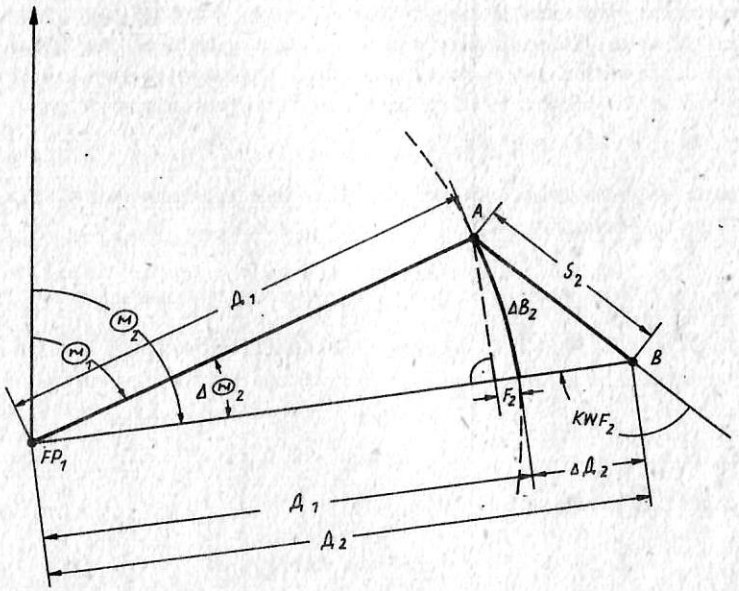


Bild 44 Autonomer Betrieb

Es befindet sich also nach 15 min in einer Entfernung $\Delta_1 = S_1$ vom Flugplatz FP_1. Wird der Flug mit konstanter Geschwindigkeit und Richtung fortgesetzt, dann bleibt die Berechnung des Standortes im Polar-

koordinaten recht einfach entsprechend Gleichung (16). In der Regel werden aber Geschwindigkeit und Richtung ständig geändert. Wird der Flug von Punkt A in eine neue Richtung zum Punkt B mit einer Geschwindigkeit v_2 fortgesetzt, so ergeben sich für den Standort des Punktes B folgende Koordinaten (siehe Bild 44).

a) Die Entfernung Δ_2

$$\Delta_2 = \Delta_1 + \Delta\Delta_2 \qquad (17)$$

$$\Delta\Delta_2 + F_2 = S_2 \cdot \cos(180^\circ - KWF_2) = -S_2 \cos KWF_2 \qquad (18)$$

Für S_2 entsprechend Gleichung (16) $v_2 \cdot \Delta t_2$ eingesetzt ergibt

$$\Delta\Delta_2 = -v_2 \cdot \cos KWF_2 \cdot \Delta t_2 - F_2 \qquad (19)$$

Wird der betrachtete Zeitraum immer kleiner gewählt, d. h. die Flugabschnitte mit konstanter Geschwindigkeit und Richtung werden immer kleiner, bis sie schließlich gegen 0 gehen (Grenzübergang $\Delta t \to 0$), was nichts anderes bedeutet, als daß sich die Fluggeschwindigkeit und Richtung ständig ändern können, dann geht auch der Fehler F gegen 0 (außerdem ist $F \ll v \cdot \cos KWF$) und kann vernachlässigt werden. Aus Gleichung 19 wird dann die Differentialgleichung

$$d\Delta = -v(t) \cos KWF(t)\, dt \qquad (20)$$

Durch beiderseitige Integration über den Zeitraum von t_1 bis t_2 erhält man Gleichung (21)

$$\int_{\Delta_1}^{\Delta_2} d\Delta = -\int_{t_1}^{t_2} v(t) \cos KWF(t)\, dt \qquad (21)$$

Die linke Seite der Gleichung ist lösbar und ergibt

$$\int_{\Delta_1}^{\Delta_2} d\Delta = \Delta_2 - \Delta_1$$

Damit lautet Gleichung (21)

$$\Delta_2 - \Delta_1 = -\int_{t_1}^{t_2} v(t) \cos KWF(t)\, dt \qquad (22)$$

Für die gesuchte Entfernung Δ_2 ergibt sich daraus

$$\boxed{\Delta_2 = \Delta_1 - \int_{t_1}^{t_2} v(t) \cos KWF(t)\, dt \qquad (23)}$$

Für die Berechnung von Δ_2 sind demnach folgende Informationen notwendig:

- Die Ausgangsentfernung Δ_1, die auch 0 sein kann (z. B. beim Start)
- der Betrag der Weggeschwindigkeit, d. h. der Geschwindigkeit des Flugzeuges gegenüber der Erdoberfläche,
- die Richtung der Bewegung des Flugzeuges, in diesem Fall der KWF, der im RSBN-5 S aus dem Azimut und dem GK berechnet wird.

$$KWF = 180^\circ + \Theta - GK \qquad (24)$$

b) Der Azimut Θ_2

Die Berechnungsmethode ist die gleiche wie bei der Entfernungsberechnung.

$$\Theta_2 = \Theta_1 + \Theta_2 \qquad (25)$$

Von Bild 44 läßt sich für $\Delta\widehat{\Theta}_2$ (im Bogenmaß) die Beziehung

$$\Delta\widehat{\Theta}_2 = \frac{\Delta B_2}{\Delta_1} \qquad (26)$$

ableiten.

Für kleine Werte von $\Delta\Theta_2$ ist die Näherung

$$\Delta B_2 = S_2 \cdot \sin(180^\circ - KWF_2) = S_2 \cdot \sin KWF_2$$

erlaubt.

Mit $S_2 = v_2 \cdot \Delta t_2$ wird dann

$$\Delta B_2 = v_2 \cdot \sin KWF_2 \cdot \Delta t_2 \qquad (27)$$

Durch Bildung des Grenzübergangs $\Delta t \to 0$ wird aus Gleichung (27)

$$dB = v(t) \sin KWF(t)\, dt \qquad (28)$$

Durch beiderseitige Integration über den Zeitraum von t_1 bis t_2 ergibt sich daraus

$$\Delta B = \int_{t_1}^{t_2} v(t) \sin KWF(t)\, dt \qquad (29)$$

Gleichung (29) für ΔB_2 in Gleichung (26) eingesetzt, ergibt

$$\widehat{\Theta}_2 = \frac{1}{\Delta_1} \int_{t_1}^{t_2} v(t) \sin KWF(t)\, dt \qquad (30)$$

Über die Beziehung $\widehat{\alpha} = \frac{\pi}{180^\circ} \cdot \alpha^\circ$ erhält man daraus für $\Delta\Theta_2$ in Grad

$$\Delta\Theta_2 = \Theta_2 - \Theta_1 = \frac{\Delta\widehat{\Theta} \cdot 180^\circ}{\pi} = \frac{180^\circ}{\Delta_1 \cdot \pi} \int_{t_1}^{t_2} v(t) \sin KWF(t)\, dt \qquad (31)$$

und daraus den Azimut für jeden beliebigen Zeitpunkt.

$$\Theta_2 = \Theta_1 + \frac{180^0}{Д_1 \cdot \pi} \int_{t_1}^{t_2} v(t) \sin KWF\,(t)\, dt \qquad (32)$$

Für die Berechnung des Azimuts sind die gleichen Informationen wie für die Entfernungsberechnung erforderlich.
Die Rechner zur Lösung der Gleichungen (23) und (32) bestehen aus einem Drehtransformator, der die Rechenoperation v(t) . sin KWF (t) bzw. v(t) . cos KWF (t) realisiert und einem Motor mit Untersetzungsgetriebe, der die Integration über die Zeit realisiert. Auf dem Drehtransformator wird primärseitig eine geschwindigkeits-proportionale Wechselspannung eingespeist. Zwei Sekundärspulen, die gegeneinander um 90° verdreht sind, werden gegenüber der Primärspule in Abhängigkeit vom KWF verdreht, so daß am Ausgang der Sekundärspulen eine Spannung entsteht, die dem Produkt v . sin KWF bzw. v . cos KWF proportional ist. Mit diesen Spannungen werden die Integrationsmotoren gespeist, die über Untersetzungsgetriebe die Geber für die Entfernung und den Azimut einstellen.
Wenn z. B. das Flugzeug auf einem Kreisbogen um den Bezugspunkt fliegt, dann bleibt die Entfernung konstant, d. h. $\Delta Д = 0$. Das trifft auch für die Gleichung (22) zu. Das bedeutet, dem Integrationsmotor wird keine Spannung zugeführt und sein Rotor dreht sich nicht. Der Geber bleibt in der vorher eingenommenen Stellung stehen und die Entfernungsanzeige bleibt konstant. Tritt eine Entfernungsänderung ein, dann wird der Motor in Abhängigkeit vom Vorzeichen der Änderung links- oder rechtsherum drehen, und über die Veränderung des Geberstandes kommt eine größere oder kleinere Entfernung zur Anzeige.
Die geschwindigkeitsproportionale Spannung wird vom ДBC-5 geliefert, also über das statisch-dynamische System erzeugt. Wie schon festgestellt wurde, hängt die Genauigkeit der errechneten Koordinatenwerte sehr wesentlich von der Genauigkeit der eingegebenen Größen ab. Sie hängt aber auch von der Integrationszeit ab, da der angezeigte Wert durch Addition des vorher berechneten Wertes mit dem Δ-Wert ermittelt wird und somit in jedem neu berechneten Wert zum Fehler des vorher berechneten Wertes der Fehler der Rechnung addiert werden muß.
Je länger also die Koordinatenwerte berechnet werden, um so ungenauer werden sie, außer wenn das Vorzeichen des Fehlers wechselt.

10.4.5. Das Zusammenwirken des autonomen und korrigierten Betriebes im БИО

Im БИО des RSBN-5 S werden die Standortwerte des Flugzeuges im Polarkoordinatensystem ununterbrochen berechnet (autonomer Betrieb).

Sobald die Zusammenarbeit mit einer Bodenanlage RSBN 2 N oder RSBN-4 N zustande kommt, werden die Standortkoordinaten bezüglich der Bodenstation gemessen und die berechneten Werte damit korrigiert, so daß die berechneten Werte mit der Genauigkeit der gemessenen ausgegeben werden. Sobald die gemessenen Werte ausbleiben (Verlöschen der Lampen "..., КОРРЕКЦИЯ"), werden ohne Unterbrechung die bis dahin berechneten und korrigierten Werte weiter ausgegeben.
So werden mögliche Unterbrechungen der Messung überbrückt und durch in Abständen erfolgende Korrektur der errechneten Werte auch bei längeren Flügen große Genauigkeit erreicht.
Der so ermittelte Azimut wird am NPP angezeigt, (siehe Bild 46).
Durch die Konstruktion bzw. Gestaltung des NPP wird durch das Anzeigegerät selbst die Gleichung (24) gelöst, so daß neben dem Azimut auch der KWF zum Drehfunkfeuer abgelesen werden kann (siehe Bild 46).

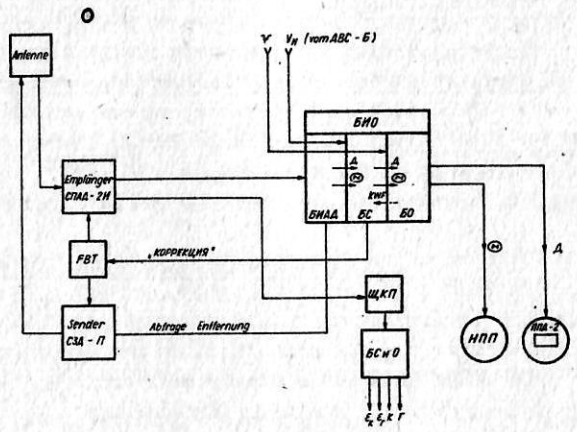


Bild 45 Vereinfachtes Blockschaltbild des RSBN-5 S

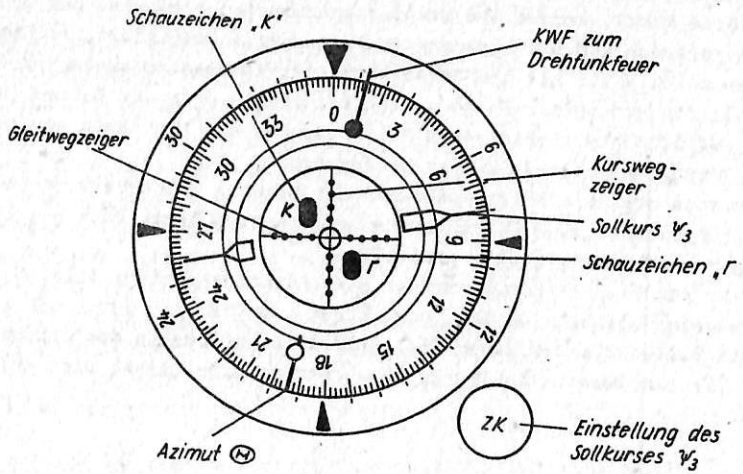


Bild 46 Frontplatte des НПП

10.4.6. Die Betriebsart "Durchstoßen der Wolken nach unten"

Aufgabe

Diese Betriebsart dient dazu, wie im Abschnitt 10.1. schon formuliert, Das Flugzeug im Flugplatzbereich zur Vorbereitung des Landeanfluges von der Reiseflughöhe nach einem festen Programm auf die Sicherheitshöhe von 600 m zu steuern. Das vertikale Profil dieser programmierten Flugetappe ist im Bild 47 dargestellt.

Wie diesem Bild zu entnehmen ist, besteht dieses Flugprogramm aus 3 Etappen.

1. Etappe = Flugbereich in einer Entfernung zum Drehfunkfeuer $D_M >$ 132 km ± 5 km. Es ist ein Horizontalflug in ca. 10 000 m Höhe programmiert.

2. Etappe = Gleitflug von der Reiseflughöhe auf die Sicherheitshöhe mit einem konstanten Gleitwinkel von $4^o50'$ in einem Entfernungsbereich zum Drehfunkfeuer von
(21 ± 3) km $\leq D_M \leq (132 \pm 5)$ km.
Ist die Sicherheitshöhe erreicht, leuchtet auf der Informationstafel (1. und 2. Kabine) das Leuchtfeld "DURCHST. BEENDET" auf.

3. Etappe = Horizontalflug in der Sicherheitshöhe von 600 m im Entfernungsbereich $D_M \leq 21 \pm 3$ km.

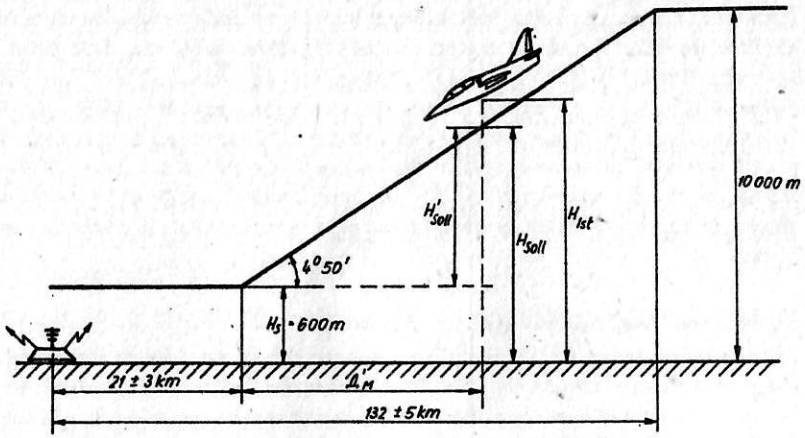


Bild 47 Vertikales Profil des Fluges in der Betriebsart "Durchstoßen der Wolken nach unten"

Die Umschaltung von einer Etappe zur anderen erfolgt in Abhängigkeit von der vom RSBN-5 S bestimmten Entfernung zum Drehfunkfeuer (autonom oder korrigiert). Zur Sicherstellung der 2. Etappe wird in Abhängigkeit von der angezeigten Entfernung die Sollflughöhe H_{Soll} berechnet. Die mathematische Gleichung dafür kann aus der Darstellung des Bildes 47 abgeleitet werden.

$$H_{Soll} = H'_{Soll} + H_s \qquad (33)$$

$$H'_{Soll} = D'_M \cdot \tan 4^o50' \qquad (34)$$

Mit $D'_M = D_M - 21$ km wird aus Gleichung (34)

$$H'_{Soll} = (D_M - 21 \text{ km}) \cdot \tan 4^o50' \qquad (35)$$

Gleichung (35) in Gleichung (33) eingesetzt, ergibt für die Sollhöhe

$$H_{Soll} = (D_M - 21 \text{ km}) \cdot \tan 4^o50' + H_S \qquad (36)$$

Zur Information des Flugzeugführers über die Lage des Flugzeuges zur programmierten Flughöhe wird die Differenz

$$\Delta H = H_{ist} - H_{Soll}$$

gebildet und mit dem horizontalen Zeiger des Kreuzzeigergerätes des NPP angezeigt. Der Ausschlag des Zeigers erfolgt in Richtung der Soll-

größe, also H_{Soll}. Ist das Schauzeichen " / " am NPP geschlossen (schwarz), dann wird die Entfernung zum Drehfunkfeuer gemessen (korrigierter Betrieb), ist es geöffnet (weiß), dann wird sie berechnet (autonomer Betrieb). Die Information über die Isthöhe liefert der Höhengeber ДВ - 30 in Zusammenarbeit mit dem Höhenvorgeber ЗДВ- 30. Mit letzterem werden die Auswirkungen der Druckänderungen am Landeflugplatz auf die Höhenmessung mit dem barometrischen Höhenmesser ДВ- 30 kompensiert, indem am ЗДВ - 30 der Platzdruck eingestellt wird. Nur wenn der richtige Platzdruck eingestellt ist, wird ΔH richtig ausgegeben.

10.4.7. Die Azimutselektion

In den Betriebsarten "Navigation" und "Durchstoßen" wird die Azimutanzeige mit der Stellung des Sollkurszeigers verglichen und ein der Größe und dem Vorzeichen der Abweichung proportionales Signal gebildet. Mit diesem Signal wird der vertikale Zeiger des Kreuzzeigergerätes des NPP angesteuert. Diese Anzeige ist sehr empfindlich, d. h. schon geringste Differenzen zwischen Sollkurs und Azimut führen zu einer Auslenkung des Zeigers des Kreuzzeigergerätes. Die Auslenkung des Zeigers erfolgt in Richtung des Sollkurses, wenn das Flugzeug mit einem KWF zum Drehfunkfeuer von 180° fliegt und der Sollkurs mit dem Azimut über einstimmt. Soll die Azimutselektion auch beim Anflug des Funkfeuers genutzt werden, dann muß der Sollkurszeiger auf den Wert $\psi_3 + 180°$ gestellt werden.

Die Steuerung der Azimutselektion erfolgt vom Anzeigegerät der 1. Kabine, angezeigt wird sie aber in beiden Kabinen. Damit die Anzeige in der 2. Kabine richtig gedeutet werden kann, muß die Stellung des Sollkurszeigers bekannt sein.

Da die Stellung des Sollkurszeigers der 1. Kabine von der 2. Kabine aus nicht zu sehen ist, besteht die Möglichkeit, den Sollkurszeiger des NPP der 2. Kabine in die gleiche Stellung wie in der 1. Kabine zu bringen. Dazu muß am FBT der 2. Kabine der Knopf "ABST. AZIMUT" gedrückt werden. Über das Selsinsystem wird dann der Sollkurszeiger der 2. Kabine in die Stellung entsprechend der 1. Kabine gebracht. Solange der Knopf "ABST. AZIMUT" gedrückt wird, leuchtet in der 1. Kabine auf der Informationstafel das Leuchtfeld "ABST. AZIMUT" auf.

10.5. Das Arbeitsprinzip des Instrumentenlandesystems

Das Instrumentenlandesystem des RSBN-5 S gestattet einen Landeanflug von Hand oder automatisch (mit Autopilot) bis zu einer Flughöhe von ca. 50 m. Da die L-39 keinen Autopiloten besitzt, trifft für sie nur der Landeanflug von Hand zu.

Durch die beiden Sender ГРМ (Gleitfunksender) und КРМ (Kursfunksender) der Bodenanlagen ПРМГ- 4 bzw. ПРМГ- 5 (Standortverteilung, siehe Bild 38 b) wird die Gleitlinie des Landeanfluges im Raum funktechnisch markiert.

Mit Hilfe des RSBN-5 S wird in der Betriebsart "Landung" die Abweichung des Flugzeuges von dieser markierten Gleitlinie ausgemessen und das Ergebnis mit dem Kreuzzeigergerät des NPP (siehe Bild 46) angezeigt.

Durch die Korrektur der Abweichungen von der Gleitlinie wird das Flugzeug auf den vorgegebenen Gleitpfad gesteuert und eine sichere Landung durch den Flugzeugführer ermöglicht.

10.5.1. Das allgemeine Arbeitsprinzip eines Instrumentenlandesystems

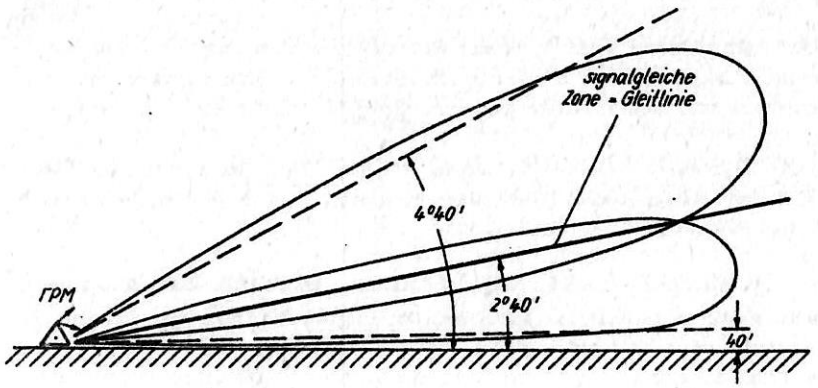
Die Sender der Bodenstation strahlen über eine Richtantenne mit zwei Vorzugsrichtungen in Richtung des zur Landung anfliegenden Flugzeuges (siehe Bild 48).

Die Signale der beiden Strahlungskeulen sind unterschiedlich moduliert, beim ГРМ die untere mit 2,1 kHz, die obere mit 1,3 kHz. Der Empfänger des RSBN-5 S ist auf die Arbeitsfrequenz der Bodenstation abgestimmt und empfängt beim Einflug des Flugzeuges in den Strahlungsbereich der Bodenstation über die vordere Flugzeugantenne, und nur über die, die Signale.

Nach der Demodulation der empfangenen Signale sind am Empfängerausgang 2 in der Frequenz unterschiedliche Signale vorhanden, ein Signal mit der Frequenz 1,3 kHz, das andere mit 2,1 kHz. Die Amplituden beider Signale sind abhängig von Lage des Flugzeuges im Strahlungsdiagramm. Fliegt das Flugzeug z. B. in die untere Keule ein, dann ist die Amplitude des 2,1 kHz-Signals größer als die Amplitude des 1,3 kHz-Signals und fliegt es in die obere Keule ein, dann sind die Amplitudenverhältnisse umgekehrt. Dazwischen muß es eine Stelle geben, wo die Amplituden der beiden Ausgangssignale gleich groß sind. Dieser Bereich wird als signalgleiche Zone bezeichnet. Sie ist sehr scharf ausgeprägt und läßt sich deshalb auch meßtechnisch sehr genau bestimmen, geringste Abweichungen von dieser Zone können registriert werden. Im Bild 48 ist die signalgleiche Zone durch die gestrichelte Linie angedeutet. Die Antenne der Bodenstation wird so aufgestellt, daß die signalgleiche Zone mit dem vorgegebenen Gleitpfad des Flugzeuges beim Landeanflug übereinstimmt.

Somit kann jede Abweichung des Flugzeuges vom festgelegten Landepfad durch das RSBN-5 S registriert und ausgegeben werden.

Nach dem gleichen Prinzip arbeitet auch der Kursfunksender (КРМ). Das Strahlungsdiagramm der Sendeantenne (siehe Bild 49) besteht ebenfalls



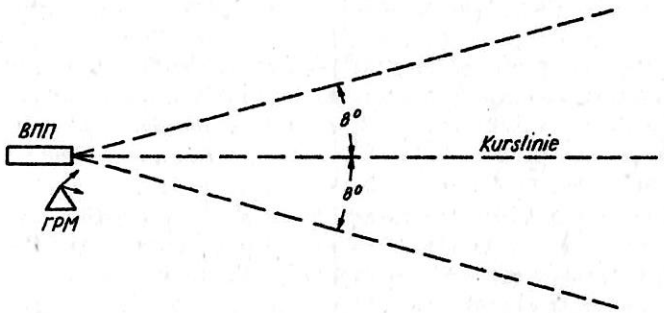


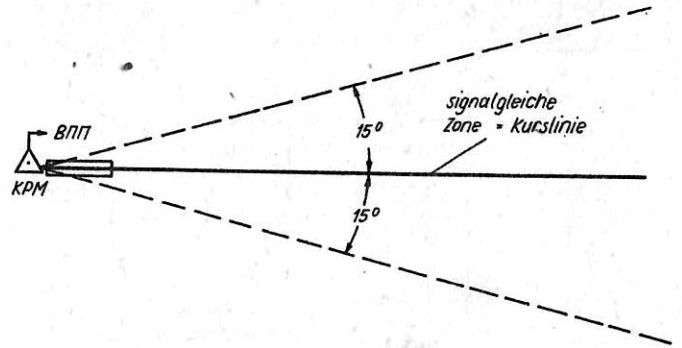
Bild 48 Strahlungscharakteristik des Gleitfunksenders

aus 2 Hauptkeulen, die aber in der horizontalen Ebene versetzt sind, so daß die signalgleiche Zone als vertikal liegende Ebene ausgebildet wird. Sie liegt genau in Richtung der verlängerten Landebahnmittellinie und markiert somit die Richtung des Landeanfluges. Es können damit auch die geringsten Abweichungen vom vorgeschriebenen Landekurs festgestellt und angezeigt werden.
Die wichtigsten Kennwerte der Antennendiagramme des ГРМ und des KPM können den Bildern 48 und 49 entnommen werden.
Mit Hilfe der Entfernungsmeßeinrichtung des RSBN-5 S und dem Entfer-

nungsretranslator РД- 4 bzw. РД - 5 (ДКРМ-5) wird bei der Betriebsart "Landung" die Entfernung zum Aufsetzpunkt gemessen und am ПП.Д- 2 angezeigt.

10.5.2. Die prinzipielle technische Realisierung der Betriebsart "Landung" und die Anzeige der gemessenen Werte

Wie schon im Abschnitt 10.1. erwähnt wurde, arbeitet das Instrumentenlandesystem des RSBN-5 S mit der selben Sende-Empfangsanlage wie die Navigationsanlage. Es stehen also 2 Empfangskanäle und ein Sendekanal zur Verfügung.
Auf dem Empfangskanal im Frequenzbereich von 905,1 ... 932,4 MHz arbeitet der Kursfunksender KPM und im Frequenzbereich von 939,6 ... 966,9 MHz der Gleitfunksender ГРМ und der Entfernungsretranslator РД .



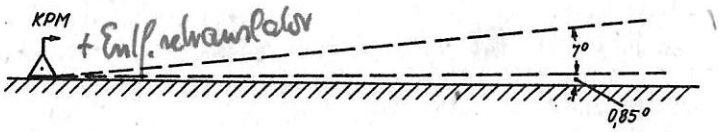


Bild 49 Strahlungscharakteristik des Kursfunksenders

Im Empfänger können demnach die beiden Signale vom KPM und ГРМ auf Grund der unterschiedlichen Arbeitsfrequenz getrennt werden. Die beiden Signale vom ГРМ und РД , die mit der gleichen Frequenz empfangen

werden, können durch ihre unterschiedliche Codierung getrennt werden. Die Signale vom PA sind Doppelimpulse, die vom ГРМ Einfachimpulse. Der gesamte Signalweg in der Empfangsanlage ist in vereinfachter Form im Bild 50 dargestellt.

Bei der Betriebsart "Landung" wird nur die vordere Antenne genutzt. Der Sender-Empfänger wird im Moment der Umschaltung auf die Betriebsart "Landung" auf die am FBT für diese Betriebsart eingestellte Arbeitsfrequenz (Arbeitskanal) abgestimmt.

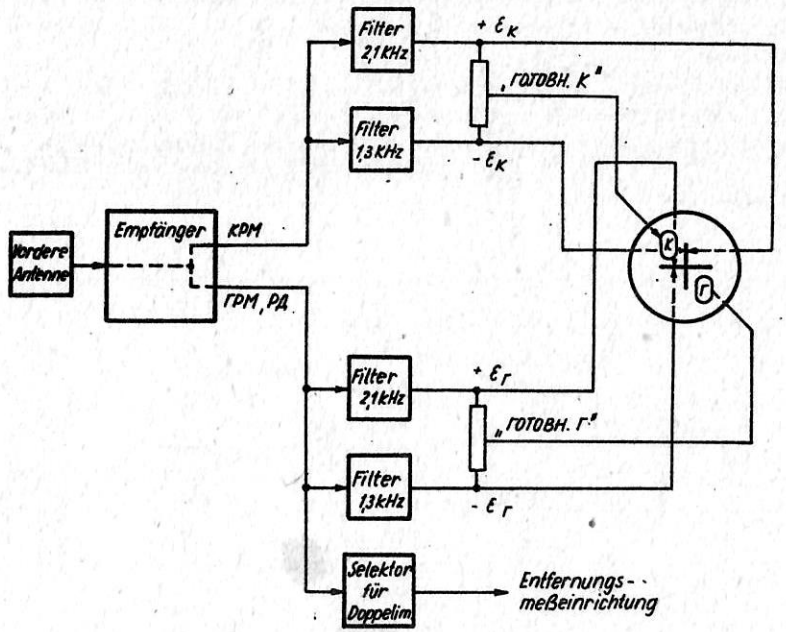


Bild 50 Vereinfachtes BSB des Instrumentenlandesystems

Sobald nach der Umstimmung auf die Arbeitsfrequenz der Bodenanlage ПРМГ die Signale des KPM und ГРМ empfangen werden, werden die Signale "ГОТОВНОСТЬ К " und "ГОТОВНОСТЬ Г" gebildet und die Schauzeichen "K" und " Г " am NPP geöffnet (siehe Bild 46).

Durch die Signale $+\varepsilon_K$ und $-\varepsilon_K$ wird der vertikale Zeiger des Kreuzzeigergerätes des NPP angesteuert. Sind beide Signale gleich groß, steht der Zeiger in der Nullage. Bei Abweichung des Flugzeuges von der signalgleichen Zone wird der Zeiger in die Richtung ausgelenkt, in der die Sollgröße, d. h. der markierte Gleitpfad liegt. In gleicher Art und Weise erfolgt die Ansteuerung des horizontalen Zeigers durch die Signale $+\varepsilon_Г$ und $-\varepsilon_Г$.

Die Anzeige des Instrumentenlandesystems ist sehr empfindlich und damit auch genau, so daß auch bei einer Auslenkung der Zeiger des Kreuzzeigergerätes des NPP bis zum 1. Punkt immer noch eine sichere Landung möglich ist.

Es ist also nicht erforderlich, bei jeder kleinen Abweichung der Zeiger des Kreuzzeigergerätes von der Nullage den Landeanflug des Flugzeuges sofort zu korrigieren.

10.6. Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Zur Inbetriebnahme des RSBN-5 S müssen die Wechselspannungen 115 V/400 Hz und 3 x 36 V/400 Hz zur Verfügung stehen. Die Spannung 115 V/400 Hz wird mit dem Hauptschalter des Wechselrichters "Umformer 115 V" zugeschaltet. Mit dem Hauptschalter des RSBN-5 S auf dem Hauptschaltpult wird der Umformer PT-500 C eingeschaltet, (wenn am Nebenschaltpult der Schalter vom "PT-500 C" eingeschaltet ist) und die Anlage in Betrieb genommen. Zur Nutzung der Anlage muß der Betriebsartenschalter (siehe Bild 35 b) in die vorgesehene Stellung gebracht werden und am FBT die Arbeitskanäle für die Betriebsarten "Navigation" und "Landung" eingestellt werden.

Bei der Nutzung des autonomen Betriebes ohne vorherige Funkkorrektur müssen die Anfangswerte des Azimutes und der Entfernung von Hand eingegeben werden.

Mit dem Knopf "3 K" am NPP wird der Sollkurszeiger in die gewünschte Stellung gebracht. Dabei ist zu beachten, daß das nur bei eingeschalteter Anlage möglich ist. Während des Fluges kann von der Bodenleitstelle die Weisung zur Abgabe der Kennung gegeben werden. Daraufhin muß der Knopf "KENN" (siehe Bild 35 b) gedrückt werden.

Entsprechend den Lichtverhältnissen in der Kabine kann die Beleuchtung der Bedienelemente mit dem Regler "Beleuchtung RSBN" eingestellt werden. Zur Kontrolle, ob das gewählte Drehfunkfeuer auch empfangen wird, kann die Kennung des Drehfunkfeuers abgehört werden. Dazu muß der Knopf "TON RSBN" gedrückt werden. Vor dem Start muß der Flugzeugführer die Funktionstüchtigkeit der RSBN-Anlage überprüfen. Der Sender-Empfänger und die Antennenanlage kann er nur durch die Zusammenarbeit mit einer Bodenanlage überprüfen, indem die Signalisationen "КОРРЕКЦИЯ АЗИМУТ" und "КОРРЕКЦИЯ ДАЛЬН." ansprechen und die richtigen Werte zur Bodenanlage angezeigt werden. Der Meßblock (БИО) kann durch die Eigenkontrolle überprüft werden. Wird dazu der Kontrollknopf gedrückt (siehe Bild 35 b), müssen ein Azimut = $177^{\circ} \pm 2^{\circ}$ und eine Entfernung = 291,5 ± 0,3 km angezeigt werden. Diese Kontrolle kann in jeder beliebigen Betriebsart durchgeführt werden.

11. Der Funkentfernungsmesser SRD-5 MK

11.1. Aufgaben und kurze Charakteristik

Der Funkentfernungsmesser hat die Aufgabe, die Entfernung zu einem Luftziel zu messen. Der SRD-5 MK ist eine Weiterentwicklung des SRD-1 M und wurde seit Mitte der 50er Jahre in verschiedenen Flugzeugen eingebaut. Die Blöcke sind in Chassibauweise aufgebaut und noch voll mit Röhren bestückt. Im Zuge der Entwicklung der Funkmeßtechnik ist der Funkentfernungsmesser durch andere Anlagen, die weit mehr Aufgaben erfüllen können, abgelöst worden, so daß er heute nur noch in wenigen Flugzeugen anzutreffen ist. Er sollte aber deshalb bei der Ausbildung von Jagdfliegern/Jagdbombenfliegern nicht unterschätzt werden bzw. nur nebenbei behandelt werden. Gerade bei der technischen Ausbildung besitzt der SRD-5 MK alle Möglichkeiten, die Offiziersschüler mit dem Arbeitsprinzip des Entfernungsmeßkanals auch eines modernen Bordfunkmeßgerätes vertraut zu machen. Deshalb wird auch bei der Typeinweisung der L-39 der SRD-5 MK im vollen Umfang gelehrt. Neben der Messung der Zielentfernung berechnet der SRD-5 MK die gestattete Schußentfernung für die Infrarotrakete und signalisiert, sobald die gemessene Zielentfernung im Bereich der gestatteten Schußentfernung liegt (Leuchtfeld "SCHUSSENTFERN."). Außerdem wird das Erreichen der Entfernung signalisiert, bei der der Angriff mit der Infrarotrakete auf das Ziel abgebrochen werden muß (Leuchtfeld "AUSGANG").

11.2. Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug

Zum SRD-5 MK gehören folgende Bereiche:

- Block 1	Antenne
- Block 2	Sender-Epfänger
- Block 3	Entfernungsmeßblock
- Block 4	Stromversorgungsblock
- Block 5	Block zur Berechnung der Annäherungsgeschwindigkeit
- Block 6	Block für die Eichung des Entfernungsmeßkanals
- Block 8	Vergleichsblock
- УД-1	Entfernungsanzeiger (1. und 2. Kabine)
- ВРД-2 А	Analogrechner
- ДВС-5	Luftgeschwindigkeitsgeber
- П-5	Temperaturgeber
	Lösetaste
	Hochspannungsschalter
	Signallampe für die Hochspannung

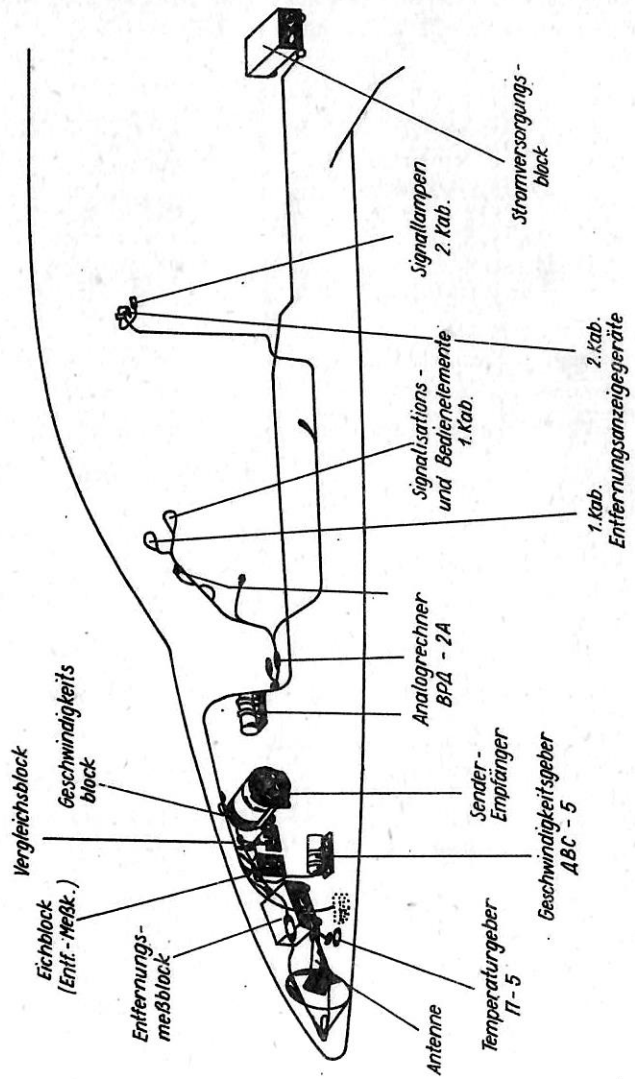


Bild 51 Lage der Teile des SRD-5 MK im Flugzeug L-39

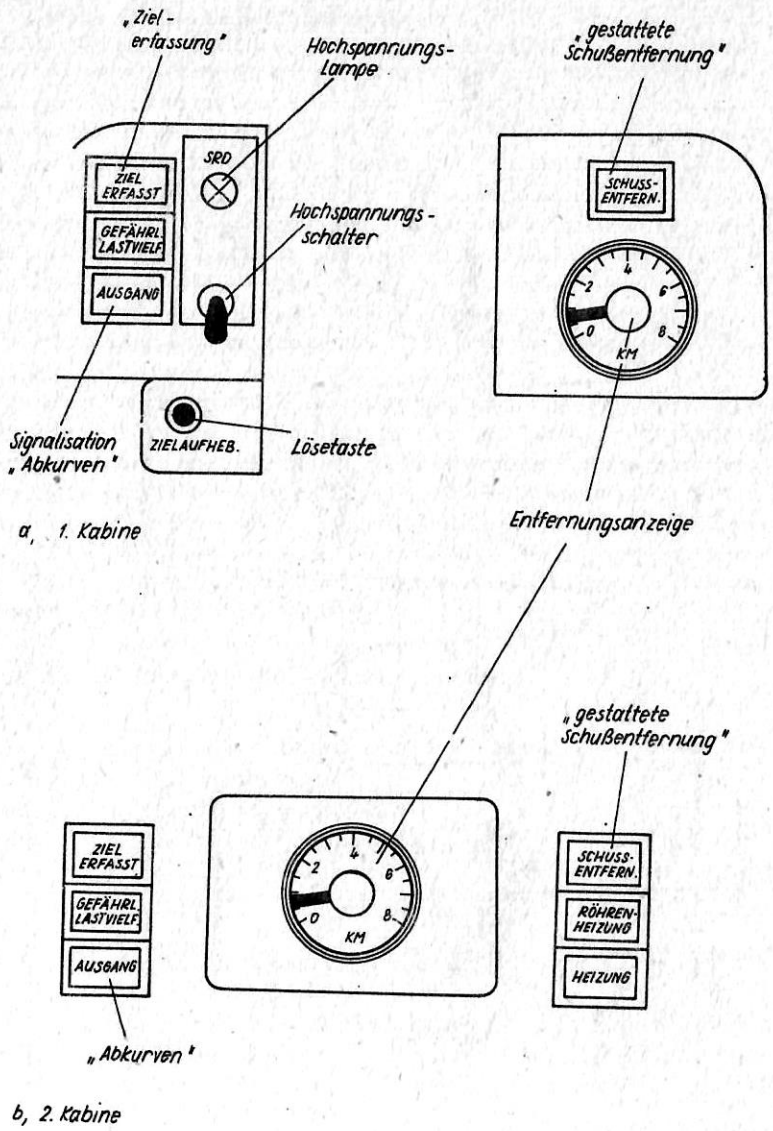


Bild 52 Bedien- und Signalisationselemente des SRD-5MK

Leuchtfelder für die Signalisation "ZIEL ERFASST", "AUSGANG" und "SCHUSSENTFERN.".

Die Lage der einzelnen Teile zeigt Bild 51, die genaue Lage der Bedien- und Signalisationselemente kann dem Kabinenbild entnommen werden. Die Beschriftung der Bedien- und Signalisationselemente ist aus dem Bild 52 zu ersehen.

11.3. Die wichtigsten taktisch-technischen Daten

Entfernungsmeßbereiche	
Bereich A	300 ... 3000 m (bei der L-39 nicht genutzt)
Bereich B	800 ... 8000 m
Meßgenauigkeit	
Bereich A	± 15 m
Bereich B	± 100 m

Die Entfernungsmessung ist möglich bei Annäherungsgeschwindigkeiten von $-100 \ldots +400\ ms^{-1}$

Genauigkeit der Berechnung der Annäherungsgeschwindigkeit	
Bereich A	$\pm 10\ ms^{-1}$
Bereich B	$\pm 35\ ms^{-1}$
kurzzeitige Entfernungsspeicherung	≥ 1 s
Entfernungsauflösevermögen	≤ 200 m
tote Zone	≤ 300 m
Sendefrequenz	9370 MHz
Impulsleistung	5 ... 7 kw
Impulslänge	0,5 µs
Impulsfolgefrequenz	800 Hz
Antennendiagramm (Bereich B)	
. Halbwertsbreite $\alpha_{0,5}$ in beiden Ebenen	$6^\circ \pm 40'$
. Neigung der Antennenachse gegenüber Flugzeuglängsachse	$+6^\circ$
Leistungsaufnahme	
. aus dem 115 V/400 Hz-Netz	410 VA
. aus dem 27 V-Netz	130 W
Zuschaltverzögerung für die Hochspannung	3,5 ... 4,5 min
maximale Betriebszeit	6 Std.

am Boden bei Temperaturen > 0° C ≤ 10 min
(außer wenn Seitenklappen am Bug geöffnet sind).

11.4. Das Arbeitsprinzip am Blockschaltbild

11.4.1. Das Entfernungsmeßprinzip

Der Funkentfernungsmesser SRD-5MK ist ein Funkmeßgerät, das nach der Impulsmethode arbeitet und die Zielentfernung durch Messung der Zeit, die das abgestrahlte impulsförmige Signal benötigt, um die Strecke Antenne-Ziel (Reflexion)-Antenne zurückzulegen, bestimmt. Das Luftziel wirkt als passiver Sekundärstrahler. Zur Messung dieser Zeit wird im Entfernungsmeßblock zu jedem Sendeimpuls ein Doppelimpuls erzeugt. Dieser Doppelimpuls wird bei jedem folgenden Sendeimpuls gegenüber dem Sendeimpuls zeitlich linear immer mehr verzögert. Bis nach ca. 800 Impulsen (≙ ca. 1 s) eine Verzögerungszeit von 56 µs erreicht ist. Danach wird der Vorgang abgebrochen und mit der Verzögerungszeit = 0 neu begonnen (siehe Bild 53). Dieser Betriebszustand wird als "Suchbetrieb" bezeichnet, denn durch den Doppelimpuls wird der Entfernungsbereich von 800 ... ca. 8000 m nach einem Zielimpuls abgesucht.
Sobald der im Entfernungsmeßblock gebildete Doppelimpuls zeitlich mit einem verwertbaren reflektierten Impuls zusammentrifft, wird die weitere Verschiebung des Doppelimpulses auf der Zeitachse abgebrochen und der Doppelimpuls mit vorerst konstanter Verzögerung weitergebildet.
Der reflektierte Zielimpuls wird vom Doppelimpuls erfaßt (Aufleuchten der Erfassungslampe). Im weiteren Verlauf der Messung wird der Zielimpuls vom Doppelimpuls begleitet, d.h., sollte sich die Zielentfernung verändern, was eine Verschiebung des reflektierten Impulses auf der Zeitachse zur Folge hätte, dann wird die Verzögerung des Doppelimpulses gegenüber dem Sendeimpuls um den gleichen Betrag verändert, so daß der Doppelimpuls ständig zeitgleich mit dem reflektierten Impuls gebildet wird (Betriebszustand "Begleiten"). Die Verzögerungszeit des Doppelimpulses gegenüber dem Zielimpuls ist also dann gleich der Laufzeit des Meßsignals von der Antenne (Sendung) über das Ziel und zur Antenne (Empfang) zurück und kann zur Bestimmung der Zielentfernung genutzt werden. Dazu wird in Gleichung (11a) für t die Verzögerungszeit eingesetzt und H gleich der Entfernung D gesetzt.
Die Verzögerungszeit des Doppelimpulses gegenüber dem Sendeimpuls liegt im Entfernungsmeßblock in Form einer Gleichspannung vor. Sie wird durch einen Sägezahnspannungsgenerator (langsame Säge) mit einer Impulsperiode bei Suchbetrieb von T_{i_1} = 1 s erzeugt (siehe Bild 54).

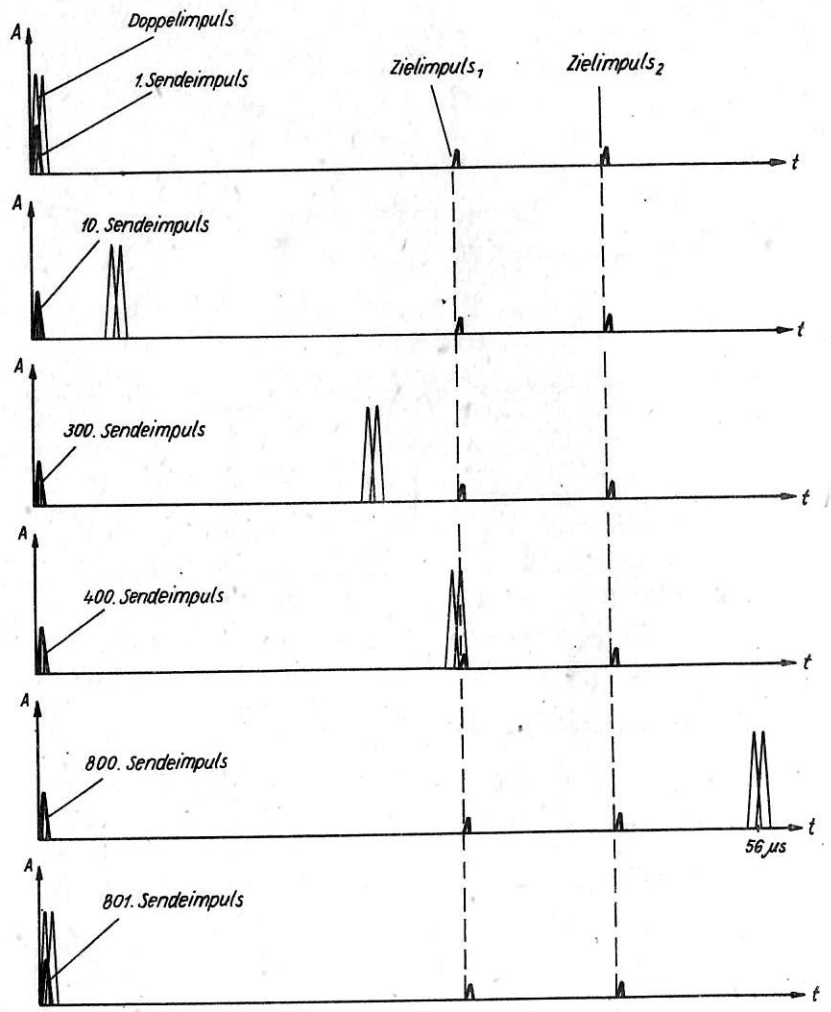


Bild 53 Zeitmessung mit einem verzögerten Doppelimpuls

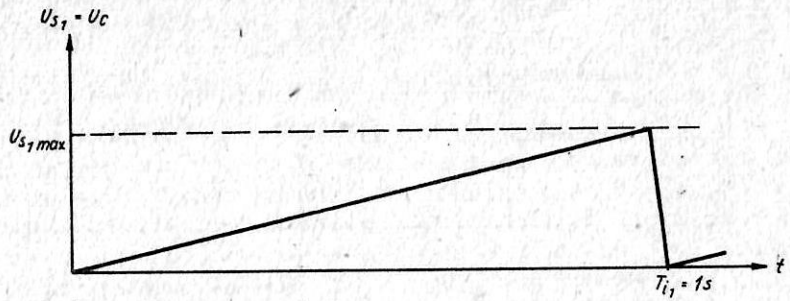


Bild 54 Sägezahnspannung mit $T_{i_1} = 1$ s

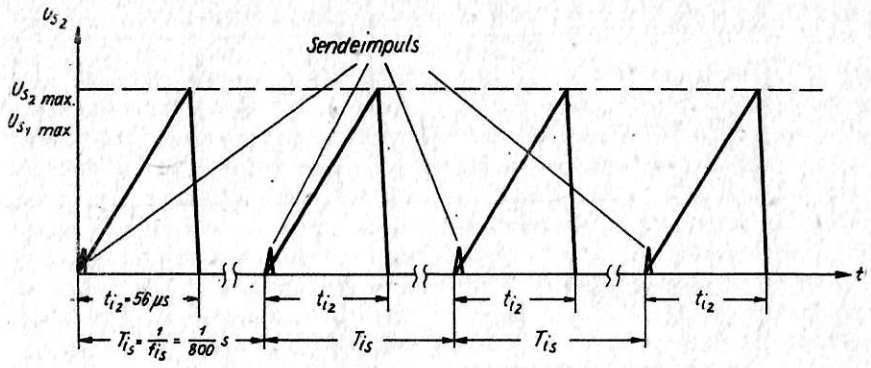


Bild 55 Sägezahnspannung mit $t_{i_2} = 56 \mu s$

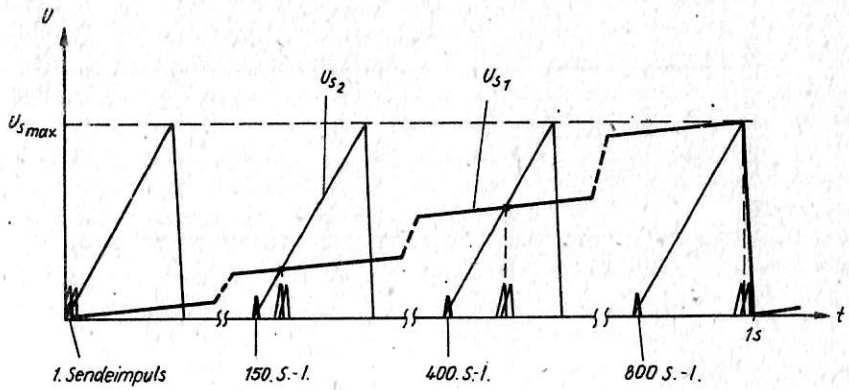


Bild 56 Realisierung der zeitlichen Verzögerung des Doppelimpulses gegenüber dem Sendeimpuls

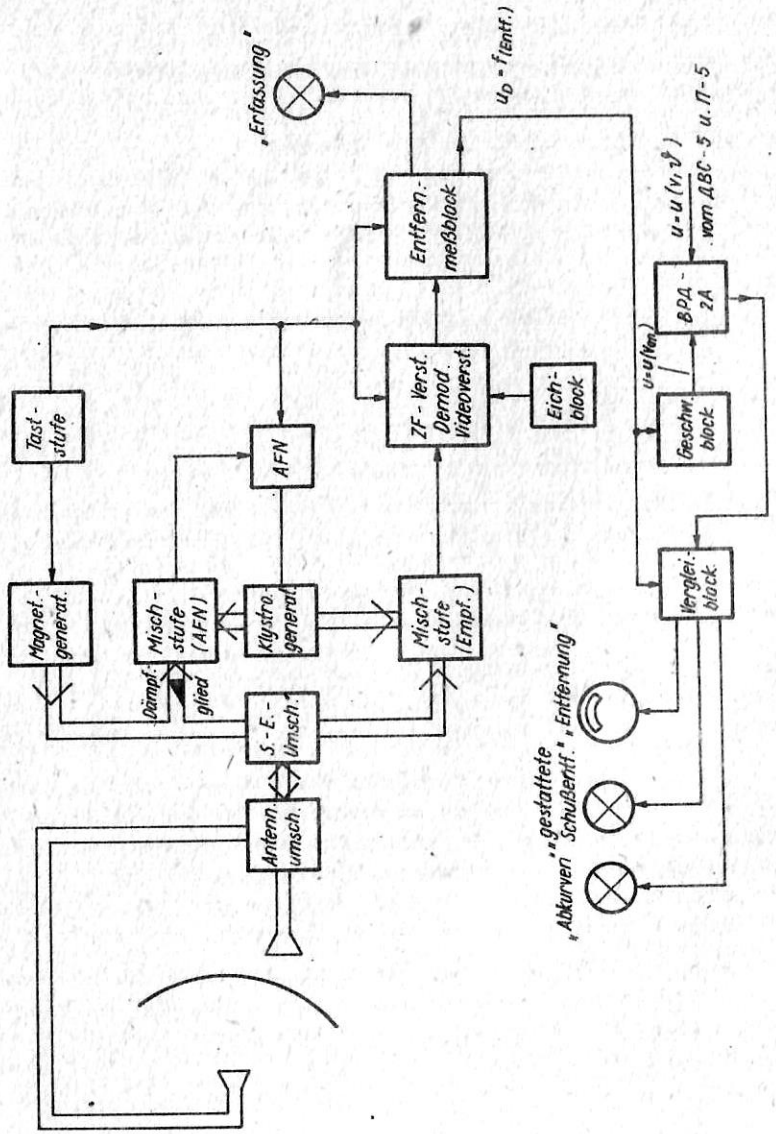


Bild 57 Vereinfachtes Blockschaltbild des SRD-5MK

Die sägezahnförmige Spannung U_{s_1} erzeugt man durch Aufladung eines Kondensators mit einem konstanten Ladestrom. Die Kondensatorspannung U_c steigt dann linear mit der Ladezeit an. Nach einer Ladezeit von 1 s wird der Kondensator sprunghaft entladen, so daß sich U_{s_1} entsprechend Bild 54 in Abhängigkeit von der Zeit ändert.
Zur Realisierung der Verzögerung des Doppelimpulses wird im Betriebszustand "Suchen" mit jedem Sendeimpuls eine zweite sägezahnförmige Spannung U_{s_2} mit einer Impulsdauer $t_{i_2} = 56\,\mu s$ erzeugt (schnelle Säge) (siehe Bild 55).
U_{s_1} und U_{s_2} werden in einer Spannungsvergleichsstufe miteinander verglichen und im Moment, wenn beide Spannungen gleich groß sind, wird der Doppelimpuls gebildet (siehe Bild 56). Aus der Darstellung des Bildes 56 ist zu ersehen, daß die Verzögerung des Doppelimpulses der Größe von U_{s_1} direkt proportional ist.
Wird ein Zielimpuls erfaßt, dann wird die Aufladung des Kondensators zur Erzeugung der U_{s_1} vorerst unterbrochen, die U_{s_1} bleibt konstant und damit auch die Verzögerungszeit des Doppelimpulses.
Im Betriebazustand "Begleiten" wird die U_{s_1} in Abhängigkeit von der zeitlichen Lage des Zielimpulses zum Doppelimpuls verändert. Fällt der Zielimpuls zeitlich mit dem ersten Impuls des Doppelimpulses (in der Darstellung der rechte) zusammen, so wird die U_{s_1} weiter vergrößert, indem der Kondensator weiter aufgeladen wird. Dadurch wird die Verzögerungszeit des Doppelimpulses weiter vergrößert und der Zielimpuls kommt immer mehr zwischen die beiden Impulse des Doppelimpulses zu liegen. Stimmt dagegen die zeitliche Lage des Zielimpulses mit dem 2. Impuls des Doppelimpulses überein, dann wird der Kondensator langsam entladen, die U_{s_1} sinkt also ab und die Verzögerung des Doppelimpulses wird geringer. Auch in diesem Fall kommt der Zielimpuls immer mehr zwischen die beiden Impulse des Doppelimpulses zu liegen. Man sagt auch, der Zielimpuls wird eingegabelt und bei Entfernungsänderungen mit einer Geschwindigkeit von $-100\ ms^{-1}$ ... $+400\ ms^{-1}$ begleitet. D.h., auch beim Zielbegleiten ist U_{s_1} der Verzögerungszeit des Doppelimpulses direkt proportional und diese wiederum entspricht der Laufzeit des Meßsignals, so daß U_{s_1} auch der Zielentfernung direkt proportional ist.
U_{s_1} wird vom Entfernungsmeßblock als entfernungsproportionale Spannung

U_D ausgegeben und für verschiedene Zwecke weiterverarbeitet.

11.4.2. Das Zusammenwirken der einzelnen Blöcke des Funkentfernungsmessers

Das für die Entfernungsmessung notwendige Meßsignal wird in einem Magnetrongenerator erzeugt. An die Anode des Magnetrons werden von der Taststufe gesteuerte Vidoeimpulse mit der $f_i = 800$ Hz und einer $t_i = 0{,}5\,\mu s$ angelegt. Das Magnetron schwingt im Rhythmus dieser Impulse. Sobald das vom Magnetron erzeugte Signal am Sende-Empfangs-Umschalter anliegt, wird der Weg zur Antenne freigegeben und das Signal über die Spiegelantenne (im Bereich B) abgestrahlt. Befindet sich im Strahlungsbereich der Antenne ein Ziel, wird an diesem ein Teil des abgestrahlten Signals reflektiert. Wenn der Sendeimpuls den Sende-Empfangs-Umschalter passiert hat, wird die Antenne wieder vom Sender weg auf den Empfängereingang zurückgeschaltet. Die nun auf die Antenne auftreffenden Signale werden zum Empfänger geleitet und wenn ihre Frequenz im Bereich der Empfängerarbeitsfrequenz liegt, auch verarbeitet. Als Empfänger wird ein Überlagerungsempfänger mit einer ZF = 30 MHz eingesetzt. Die Oszillatorfrequenz des Reflexklystrongenerators wird durch die AFN so eingestellt, daß die Differenzfrequenz mit dem Sendesignal immer 30 MHz ergibt. Dadurch ist der Empfänger ständig in der Lage, die vom Sendesignal reflektierten Anteile zu empfangen. Im ZF-Verstärker werden sie dann verstärkt, demoduliert und als Videoimpulse an den Entfernungsmeßblock ausgegeben. Dort wird, wie im Abschnitt 11.4.1. beschrieben, die Laufzeit gemessen und in Form einer proportionalen Gleichspannung U_D ausgegeben. Das Zielerfassen und -begleiten wird durch das Aufleuchten der Erfassungslampe angezeigt.
Im Geschwindigkeitsblock wird die Annäherungsgeschwindigkeit $v_{ann.}$ zum Ziel berechnet. Dazu wird die entfernungsproportionale Spannung U_D nach der Zeit differenziert, und man erhält eine der Annäherungsgeschwindigkeit proportionale Spannung U_v.

$$v_{ann.} = \frac{dD}{dt} \sim U_v = \frac{dUD}{dt}$$

Im Analogrechner WRD-2A werden die Annäherungsgeschwindigkeit und die Informationen über die Flughöhe, Fluggeschwindigkeit und Außentemperatur verarbeitet und im Ergebnis die Zone der gestatteten Schußentfernung berechnet. Diese wird als proportionale Gleichspannung ausgegeben. Im Vergleichsblock wird sie mit der Entfernungsspannung U_D verglichen.
Sobald die gemessene Entfernung in dem Bereich der gestatteten Schußentfernung zu liegen kommt, wird dies durch Aufleuchten des Leuchtfel-

des "SCHUSSENTFERN." signalisiert. Vom Vergleichsblock wird außerdem die Signalisation zum Abkurven (Leuchtfeld "AUSGANG") gesteuert. Das Leuchtfeld leuchtet bei einer Zielentfernung von 1000 ... 1159 m auf. Durch einen Maßstabswandler wird U_D in eine für die Ansteuerung des Entfernungsanzeigegerätes UD-1 benötigte Spannung umgewandelt und vom UD-1 bei Zielbegleitung zur Anzeige gebracht.

11.5. Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Unter Beachtung der Besonderheiten der Inbetriebnahme des SRD-5MK, die im Abschnitt 2 erläutert wurden, wird der Funkentfernungsmesser mit dem Hauptschalter "SRD" auf dem Hauptschaltpult in Betrieb genommen. Voraussetzung für die Inbetriebnahme ist, daß die Spannungen 115 V/400 Hz, 36 V/400 Hz und 28 V Gleichspannung am Gerät anliegen ("Umformer 115 V", "PT-500C" auf dem Nebenschaltpult sind eingeschaltet) und bei der 11. Serie das RSBN-5S nicht eingeschaltet ist. 3 ... 4,5 min nach dem Einschalten des Hauptschalters wird durch ein Thermorelais der Hochspannungsstromkreis geschlossen und die Betriebsbereitschaft des Funkentfernungsmessers ist hergestellt, d.h. außer dem Sender arbeiten alle Stufen. Mit dem Hochspannungsschalter links neben dem Visier (siehe Bild 52a und Kabinenbild) kann von Hand die Hochspannung an den Sender angelegt werden (Hochspannungslampe leuchtet, siehe Bild 52a) und über die Antenne werden dann die Meßsignale abgestrahlt. Mit diesem Schalter kann der Sender beliebig ein- und ausgeschaltet werden. Wird hingegen der Hauptschalter ausgeschaltet, muß bei jedem Einschaltvorgang das Thermorelais erneut ziehen, ehe der Entfernungsmesser arbeitsfähig ist.

Bei der Nutzung des Funkentfernungsmessers muß der Flugzeugführer beachten, daß die Zielentfernung nur dann gemessen werden kann, wenn sich das Zielflugzeug im Strahlungsbereich der Antenne befindet, d.h. im Bereich der Halbwertsbreite der Antenne. Dazu muß er die Lage des Antennendiagramms kennen (siehe taktisch-technische Daten) und Vorstellungen von den räumlichen Abmessungen haben (siehe Bild 58 und Tabelle 3), um das Flugzeug so zu steuern, damit das Ziel in den Strahlungsbereich der Antenne zu liegen kommt und dort bleibt.

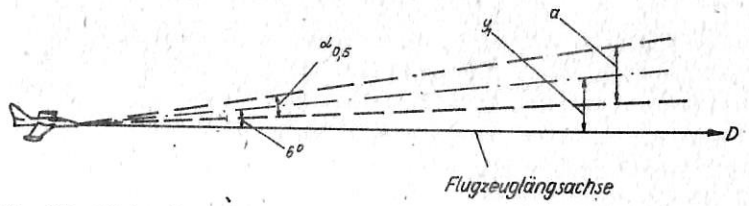


Bild 58 Räumliche Lage des Antennendiagramms des SRD-5MK

Tabelle 3

Entfernung	1000 m	2000 m	4000 m	6000 m	8000 m
	104 m	208 m	416 m	624 m	832 m

Auf Grund des Entfernungsmeßprinzips wird in der Regel immer das nächstliegende reflektierte Signal erfaßt werden. Das muß aber nicht in allen Fällen das Ziel sein. Wird vom SRD-5 MK ein anderes Flugzeug erfaßt, dann hat der Flugzeugführer die Möglichkeit, durch Drücken der Lösetaste "ZIELAUFHEB." (siehe Bild 52 a und Kabinenbild) den Doppelimpuls vom erfaßten Zielsignal zu lösen.

Daraufhin wird die Verschiebung des Doppelimpulses auf der Zeitachse fortgesetzt bis der Doppelimpuls mit dem nächsten reflektierten Signal zeitlich zusammentrifft und dieses erfaßt und begleitet. Dabei muß beachtet werden, daß die Lösetaste nur kurz gedrückt wird. Denn solange die Lösetaste gedrückt wird, arbeitet die Anlage im Suchbetrieb, und wird zu lange gedrückt, kann der Doppelimpuls schon über das zu erfassende Ziel hinaus verschoben sein und erfaßt das übernächste Ziel oder wenn keine weiteren vorhanden sind, wieder das ursprüngliche Ziel.

Zur Überprüfung der Funktionstüchtigkeit des SRD-5 MK vor dem Flug muß der Flugzeugführer folgende Kontrollen durchführen:

a) Zuschalten der Hochspannung (Aufleuchten der Signallampe),
b) Erfassen von markanten Erdzielen in verschiedenen Entfernungen. Dabei ist darauf zu achten, daß die Erfassungslampe stabil leuchtet und die Entfernung stabil angezeigt wird.
c) Kontrolle der Signalisation Abkurven bei Zielentfernungen $\leq$ 1000 ... 1150 m,
d) Kontrolle der Signalisation der gestatteten Schußentfernung, die am Boden in der Regel bei allen Entfernungen anspricht,
e) Kontrolle der Zielentfernungsspeicherung.
   Dazu wird bei Zielbegleitung die Hochspannung abgeschaltet. Danach muß mindestens 1 s die Erfassungslampe weiter leuchten und eine gleichbleibende Zielentfernung angezeigt werden.

12. Das Erzeugnis SRO-2

12.1. Aufgaben

Das Erzeugnis SRO-2 ist ein aktiver Sekundärstrahler und hat die Aufgaben, den Besatzungen von Funkmeßstationen die Möglichkeit zu geben, die georteten Funkmeßziele nach eigene und gegnerische zu unterscheiden. Dazu wird von der Funkmeßstation ein codiertes Abfragesignal abgestrahlt, das vom Erzeugnis SRO-2 empfangen und decodiert wird. Das am Empfängerausgang ankommende Signal löst im Sender die Abstrahlung

des codierten Antwortsignals aus, das die Identifizierung der eigenen Flugzeuge durch die Funkmeßstation ermöglicht.
Mit dem Antwortsignal kann durch Betätigung eines Schalters im Flugzeug ein Zusatzsondersignal (Notcode) abgestrahlt werden.

12.2. Gerätesatz und Lage der Teile im Flugzeug

Zur Anlage des Erzeugnisses SRO-2 gehören folgende Hauptblöcke:

- Block 5 - OM — Sender-Empfänger
- Block 8 — Fernbedienteil (siehe Bild 60)
- Block 13 - 3 — Sende-Empfangsantenne
- Blöcke 12 — Empfangsantennen
- Blöcke 19 - 21 — Sprengknopf (siehe Bild 60)
- Block 3 - 7 — Trägheitsauslöser

Die Lage der Blöcke im Flugzeug ist aus dem Bild 59 zu ersehen.

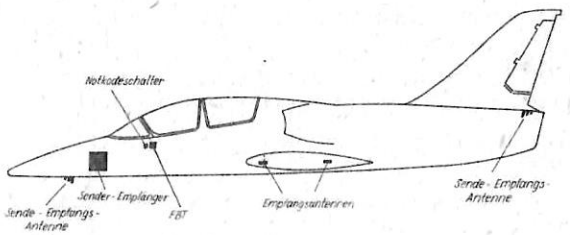
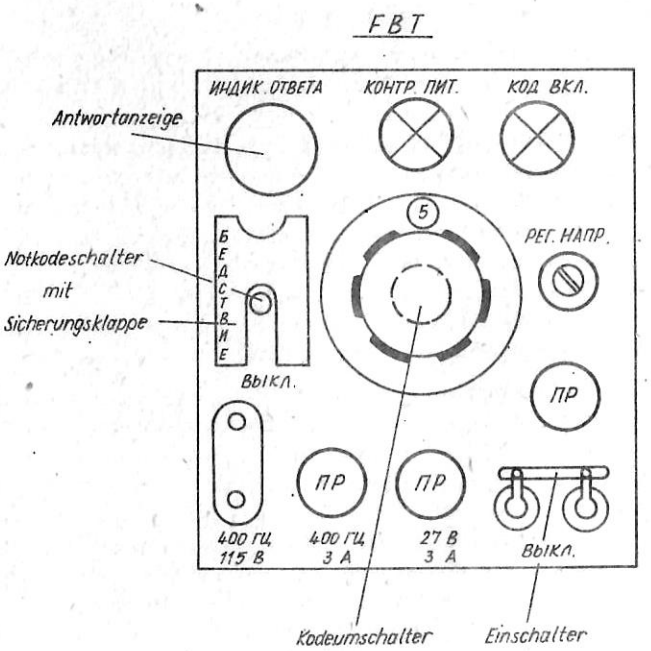


Bild 59 Lage der Teile des Erzeugnisses SRO-2 im Flugzeug L-39



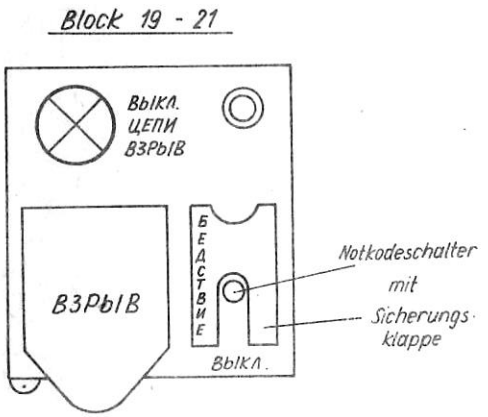


Bild 60 Frontplatte des FBT und des Blockes 19 - 21 des Erzeugnisses SRO-2

12.3. Inbetriebnahme, Bedienung und Kontrolle

Zur Inbetriebnahme muß die Spannung 115/400 Hz anliegen (Umformerschalter 115 V "ein") und auf dem Nebenschaltpult der Schalter "SRO" eingeschaltet sein.
Mit dem Einschalter "ПИТАНИЕ" am FBT wird die Anlage eingeschaltet. Dabei leuchtet am FBT die gelbe Lampe "КОД. ВКЛ." sofort auf. Nach einer Anheizzeit von ca. 30 s ... 2 min leuchtet die daneben liegende grüne Signallampe "КОНТ.ПИТАНИЕ" auf. Das ist ein Zeichen dafür, daß am Sender Hochspannung anliegt und damit das Gerät einsatzbereit ist.
Während der Nutzung des Gerätes muß der Flugzeugführer den befohlenen Code am FBT einstellen und in den lt. Dienstvorschriften festgelegten Situationen den Notcode einschalten (siehe Bild 60 Schalter "БЕДСТВИЕ")

Vor dem Start muß der Flugzeugführer die Funktionstüchtigkeit des Erzeugnisses SRO-2 überprüfen, denn es ist grundsätzlich untersagt, mit nichtintaktem Erzeugnis SRO-2 zu starten.
Im Rahmen der Kontrolle muß er überprüfen, daß der Notcodeschalter aus und gesichert ist (mit Cu-Draht mit Ø ≤ 0,2 mm), die beiden Signallampen leuchten, der vorgeschriebene Code eingestellt ist und die Codeumschaltung funktioniert. Beim Codewechsel muß während des Umschaltvorganges im Block 5 - OM die Signallampe "КОД. ВКЛ." verlöschen.

SP LK

- TTD FFM Geräte RKL, RSBN, RW
- JBN Bedieng. u. Kontrolle der Geräte
- Funkstation Rauschunterdrücker
  SPU-9 Reserveschalter

RKL ZW festhaltender Rahmen u. Goniometer
Kompensation der Funkdeviation durch Widerstände

RW-5 Frequenzmodul. als Meßmethode
Prinzip, Signalisation Überwachg der E.b.

BBN Entf. und Azimutmeßprinzip
autonomer Betrieb
BA Durchstoßen
PRMG Abeibprinzip