

65.90/II d

**Technische Grundlagen**  
für  
**Übermittlungsgerätemechaniker**

Band II

Gültig ab 1. Januar 1977

(Antworten zu den Fragen im Text)

## 1. Was wissen Sie schon über Halbleiterdioden?

Antworten zu den Fragen a bis f (Seite 2)

- a) Der Halbleiter ist ein Festkörper, dessen Leitfähigkeit zwischen derjenigen eines Leiters und der eines Nichtleiters liegt. Der Widerstandswert des Halbleiters ist temperaturabhängig.
- b) Die meisten Halbleiterdioden bestehen aus Germanium oder Silizium.
- c) Die Halbleiterdiode benötigt keine Heizspannung. Sie ist viel kleiner als die Röhrendiode und weist kein Anlaufstromgebiet auf.
- d) In der Germaniumdiode fliesst in Sperrrichtung ein nicht zu vernachlässigender Sperrstrom. In Sperrrichtung gepolt stellt die Diode einen messbaren Widerstand dar. Sperrstrom und Sperrwiderstand sind temperaturabhängig. Der Sperrstrom und die Temperaturabhängigkeit sind für Siliziumdioden bedeutend geringer als für Germaniumdioden.
- e) Als «Defektelektron» wird eine Elektronenfehlstelle, das heisst, ein fehlendes Valenzelektron im Kristall bezeichnet. Es bewegt sich unter dem Einfluss eines elektrischen Feldes in entgegengesetzter Richtung wie ein Elektron.
- f) Unter «Valenzelektron» versteht man ein Elektron der äussersten Schale eines Atoms. Die Anzahl der Valenzelektronen bestimmt die chemische Bindung gleicher oder verschiedenartiger Atome untereinander.

### *Bewertung:*

Der Begriff des Halbleiters sollte Ihnen bekannt sein; wir haben diesen zu Beginn des Kurses definiert. Die richtige Beantwortung der restlichen Fragen setzt bereits recht gute Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Halbleitertechnik voraus. Falls Sie schon einiges über die Physik der Halbleiterdiode gehört haben, wird Ihnen dieses Wissen beim weiteren Studium von Nutzen sein. Wer ohne Vorkenntnisse an das neue, umfangreiche Stoffgebiet herantritt, der sollte bedenken, dass es oft vorteilhafter ist, sich in ein neues Gebiet einzuarbeiten, wenn man nicht mit Halbwissen belastet ist. Halbwissen führt des öfteren zu falschen Vorstellungen und zu einer vorgefassten Meinung. Wer die vorgängigen Lektionen gewissenhaft durchgearbeitet hat, der ist gut gerüstet, um das anspruchsvolle Gebiet der Halbleitertechnik in Angriff zu nehmen.

## 2. Repetitionsaufgaben zu «I. Die Halbleiterdiode»

Antworten zu den Fragen a bis s (Seite 36)

- a) Valenzelektronen sind die Elektronen in der äussersten Schale eines Atoms. Die Anzahl der Valenzelektronen bestimmt die Wertigkeit und das chemische Verhalten des Atoms. Bindungen zwischen Atomen werden durch die Valenzelektronen aufrecht erhalten.
- b) Eigenleitfähigkeit ist die Leitfähigkeit von reinem Halbleitermaterial. Sie wird durch Elektronen verursacht, die infolge der temperaturbedingten Schwirrbewegungen der Atome aus der Valenzbindung ausgebrochen sind.
- c) Das Defektelektron – auch Loch genannt – ist eine bewegliche Elektronenfehlstelle. Es entsteht durch das Fehlen eines Valenzelektrons im Halbleiter. Elektrisch verhält es sich wie ein positiver Ladungsträger mit der gleichen, in der Polarität jedoch entgegengesetzten Ladung, wie das Elektron.
- d) Ein Störatom ist ein Fremdatom, das infolge seiner zum Halbleitermaterial verschiedenen Wertigkeit die Leitfähigkeit des Halbleiters erhöht.
- e) Unter Störstellenleitung versteht man die Stromleitung im Halbleiter, die aufgrund freier Elektronen – die von Donatoren herrühren – oder aufgrund von Defektelektronen – die durch Akzeptoren verursacht werden – entsteht.
- f) Majoritätsträger sind die in der Überzahl im dotierten Halbleitermaterial vorkommenden beweglichen Ladungsträger. Im n-Material bilden die Elektronen und im p-Material die Löcher (Defektelektronen) die Majoritätsträger.
- g) Minoritätsträger sind im n- und im p-Material anzutreffen. Es sind dies die im dotierten Material in der Minderheit vorhandenen beweglichen Ladungsträger. Im n-Material sind die Defektelektronen und im p-Material die Elektronen Minoritätsträger. Die Minoritätsträger sind für den Sperrstrom verantwortlich.
- h) Der Pluspol der Batterie liegt an der n-Zone, der Minuspol an der p-Zone. Löcher und Elektronen werden dadurch aus der Sperrschicht abgesogen. Die Sperrschicht verarmt an Ladungsträgern, wodurch ein Majoritätsträgerstrom durch die Schicht verunmöglicht wird. Dank der Minoritätsträger fliesst ein sehr kleiner Sperrstrom.
- i) Der Pluspol der Batterie liegt an der p-Zone des Halbleiters, der Minuspol an der n-Zone. Die Majoritätsträger werden durch diese Polung in die Sperrschicht gepresst, diese wird mit Ladungsträgern überschwemmt. Es kann somit ein kräftiger Majoritätsträgerstrom fließen.
- k) Die Spitzendiode eignet sich infolge ihrer kleinen Kapazität vorwiegend für den Einsatz in Hochfrequenzschaltungen. Die Flächendiode mit ihrer relativ grossen Kapazität ist hierzu weniger gut geeignet. Dank ihrer Fähigkeit, grosse Ströme zu verarbeiten, ist sie in Gleichrichterschaltungen, in Niederfrequenzgeräten und in der Digitalelektronik anzutreffen.
- l) Die Durchlasskennlinie der Germaniumdiode weist einen kleineren Schwellwert auf, als die Kurve der Siliziumdiode. Siliziumdioden sind aus diesem Grund im Bereich kleiner Spannungen nicht brauchbar.

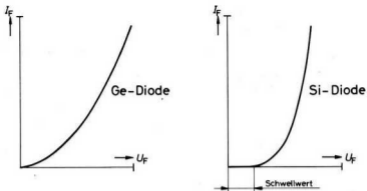


Bild zu 21

- m) Der Sperrstrom der Siliziumdiode ist bedeutend kleiner als derjenige der Germaniumdiode. Siliziumdioden lassen sich bei höheren Umgebungstemperaturen betreiben als Germaniumdioden.
- n) Die Grenzwerte der technischen Daten von Halbleitern dürfen unter keinen Umständen überschritten werden. Eine Überlastung des Halbleiters führt unweigerlich zu dessen Zerstörung.
- c) Eine Zenerdiode ist eine in Sperrichtung betriebene Siliziumdiode. Die angelegte Sperrspannung wird dabei 1,5–3 mal grösser gewählt als die Zenerspannung der Diode. Dadurch kommt der Zenerstrom zum Fließen, und über der Diode stellt sich die stabile Zenerspannung ein.
- p) Die Zenerdiode wird hauptsächlich zur Spannungsstabilisierung verwendet.
- q) Die Eigenkapazität der Kapazitätsvariationsdiode ist von der Grösse der angelegten Sperrspannung abhängig. Je höher die Sperrspannung gewählt wird, desto kleiner wird die Diodenkapazität.
- s) Die Tunnel diode weist im Bereich der fallenden Kennlinie einen negativen Innenwiderstand auf. Diese Tatsache wird ausgenutzt, indem man die Tunnel diode zu einem Schwingkreis parallel schaltet. Der Verlustwiderstand des Kreises wird kompensiert. Die Schwingungen setzen ein, sobald der negative Widerstand der Diode kleiner wird als der Resonanzwiderstand des Kreises.

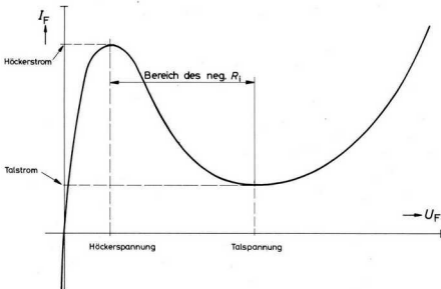


Bild zu 2 r

### Bewertung:

Das vorliegende Kapitel vermittelt Ihnen eine Einführung in die Halbleiterphysik. Es wurde Ihnen nur das Wissen mitgegeben, das Sie für das Verständnis der Halbleiterdiode benötigen. Der folgende Abschnitt wird Sie mit den verschiedenen Transistortypen bekannt machen. Der neue Stoff knüpft an Ihre Kenntnisse über die Halbleiterdiode. Sie haben sich mit dem Studium über Dioden die Basis für das Verständnis des Transistors geschaffen.

Es gibt Leute, die vertreten die Ansicht, der Praktiker brauche nicht zu wissen, wie eine Diode oder ein Transistor arbeiten. Diese Auffassung ist irrig; wer sich kein klares Bild von der Funktionsweise einer Schaltung machen kann – dazu gehören die Kenntnisse über die Bauteile und deren Arbeitsweise – der ist in vielen Fällen nicht befähigt, einen Fehler einwandfrei zu lokalisieren. Am Ende Ihrer Ausbildung sollten Sie jedoch in der Lage sein, Pannen in elektronischen Geräten ohne Zeitverlust einzugrenzen und zu beheben. Dieses Ausbildungsziel wollen wir nie aus den Augen verlieren. Um es zu erreichen, braucht es etwas mehr als nur das Wissen eines Bastlers.

Bedenken Sie das, wenn Sie Ihre Antworten zu den Repetitionsaufgaben werten. Sie dürfen sich erst dann dem Transistor zuwenden, wenn Sie überzeugt sind, die Halbleitergrundlagen verarbeitet zu haben.

### 3. Was wissen Sie schon über Transistoren?

Antworten zu den Fragen a bis i (Seite 37)

- a) Ja, der Transistor eignet sich für die meisten Verstärkungsarten.
- b) Der Eingangswiderstand des Transistors ist relativ klein, er kann deshalb nicht wie die Röhre leistungslos gesteuert werden. Der Innenwiderstand des Transistors ist relativ hoch, die  $I_C-U_{CE}$ -Kennlinien ähneln daher eher den Ausgangskennlinien einer Pentode als denjenigen einer Triode.
- c) Die drei Elektroden des Transistors sind: Emitter, Basis und Kollektor.
- d) Ein pnp-Transistor ist ein Transistor, dessen Kollektor und Emitter aus p-Material und dessen Basis aus n-Material besteht.
- e) Die Stromverstärkung ist das Verhältnis der Stromänderung am Ausgang eines Transistors zur Stromänderung am Eingang bei kurzgeschlossenem Ausgang.
- f) Die Überlastung ist für den Leistungstransistor besonders gefährlich. Um den Transistor nicht zu überlasten, muss die erzeugte Wärme abgeführt werden, was meistens mittels Kühlblechen geschieht.
- g) Jede Transistorstufe muss an die folgende angepasst werden, da die Eingangsimpedanzen der einzelnen Stufen relativ klein und die Ausgangsimpedanzen gross sind.
- h) Der Transistor ist wie die Halbleiterdiode temperaturempfindlich. Seine Kenndaten verändern sich unter dem Einfluss von Temperaturänderungen.
- i) Der Feldeffekttransistor ist ein Transistor mit sehr hoher Eingangsimpedanz. Der Strom des Transistors wird mit Hilfe eines elektrischen Feldes beinahe leistungslos gesteuert.

*Bewertung:*

Die Fragen a und h sollten Sie aufgrund Ihrer Kenntnisse über die Halbleiterphysik beantworten können. Die restlichen Fragen setzen bereits einige Vorkenntnisse über das Funktionsprinzip der verschiedenen Transistorarten voraus.

#### 4. Repetitionsaufgaben zu «II Der Transistor»

Antworten zu den Fragen a bis u (Seite 74)

a)

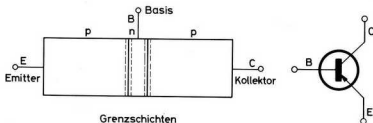


Bild zu 4a

- b) Die Basis-Emitterstrecke wird in Durchlassrichtung, die Basis-Kollektorstrecke in Sperrichtung gepolt. Die Basis bildet die gemeinsame Elektrode. Infolge der geringen Dicke und der schwachen Dotierung der Basiszone rekombinieren nur wenige Ladungsträger des Kollektorstromes in der Basis, das Gros der Ladungsträger durchläuft diese und wird vom Kollektor abgezogen. Der Kollektorstrom ist demzufolge um den Basisstrom geringer als der Emitterstrom. Dadurch wird die Stromverstärkung kleiner als Eins. Trotzdem wirkt der so geschaltete Transistor als Verstärker, da infolge der gewählten Polarität der Vorspannungen der Eingangswiderstand sehr gering ist – die Strecke Basis-Emitter ist im Durchlass betrieben – und der Ausgangswiderstand sehr hohe Werte annimmt, da die Strecke Basis-Kollektor in Sperrichtung vorgespannt ist.
- c) Der Legierungstransistor wird vorwiegend im Niederfrequenzbereich eingesetzt.
- d) Hochfrequenzschaltungen werden hauptsächlich mit Diffusionstransistoren betrieben.
- e) Der Transistor ist durch folgende vier Kenndaten bestimmt:
- Kurzschlussstromverstärkung  $h_{21e}$
  - Ausgangsleitwert  $h_{22e}$
  - Eingangswiderstand  $h_{11e}$
  - Spannungsrückwirkung  $h_{12e}$
- f) Die Kurzschlussstromverstärkung ist das Verhältnis von Signalstrom am Ausgang zu Signalstrom am Eingang bei kurzgeschlossenem Ausgang.

g)

AC 125

$$\beta_{21} = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{85 \text{ mA}}{0,92 \text{ mA}} = 92$$

$\vartheta_{\text{amb}} = 25^\circ\text{C}$

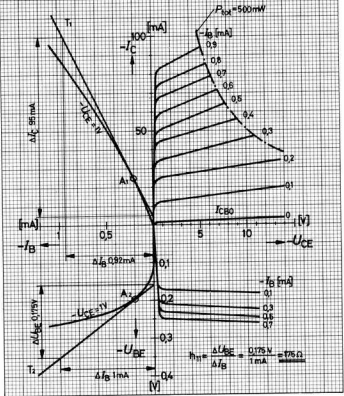


Bild zu 4g



- h) Der Vorteil des Feldeffekttransistors liegt in der leistungslosen Steuerung des Transistorstromes mit Hilfe eines elektrischen Feldes.
- i) Beim Oberflächenfeldeffekttransistor ist das Tor durch eine dünne Isolierschicht von den übrigen Elektroden isoliert, der Eingangswiderstand wird dadurch extrem hoch. Beim Sperrschichtfeldeffekttransistor dagegen bildet das Tor mit dem Halbleiterblock eine Sperrschicht, welche in Sperrichtung vorgespannt wird. Der Eingangswiderstand entspricht dem Sperrwiderstand der Sperrschicht, er liegt tiefer als beim Oberflächenfeldeffekttransistor.
- k) Der Strom des Feldeffekttransistors wird mit Hilfe eines elektrischen Feldes gesteuert.
- l)

### Kennlinien eines Sperrschichtfeldeffekttransistors

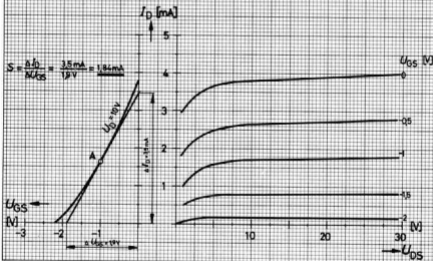


Bild zu 41

m)

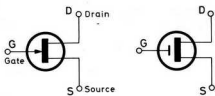
Sperrschicht-  
FeldeffekttransistorOberflächen-  
Feldeffekttransistor

Bild zu 4 m

n)

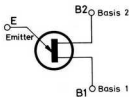


Bild zu 4 n

- o) Der Unijunctiontransistor weist für bestimmte Betriebsspannungen zwischen Emmitter und Basis 1 einen negativen Innenwiderstand auf. Diese Eigenschaft wird zur Schwingungserzeugung ausgenutzt.
- p) Der Unijunctiontransistor wird vorwiegend als Impulsgenerator, als Impulsformer und als schneller Schalter eingesetzt.

q)

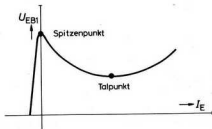


Bild zu 4 q

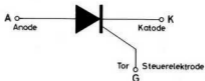


Bild zu 4 r

- s) Der Thyristor ist ein steuerbarer Gleichrichter. Sein Verhalten ist ähnlich demjenigen eines Thyratrons, weshalb er oft als Halbleiteryhyratron bezeichnet wird. Zur Steuerung ist ein bestimmter Steuerstrom erforderlich.
- t) Der Haltestrom ist der minimale Strom, der durch den Thyristor fließen muss, damit dieser leitend bleibt. Wird der Haltestrom unterschritten, dann löscht der Thyristor.

u)



Bild zu 4 u

### Bewertung:

Sie haben mit den Repetitionsaufgaben ein wichtiges Kapitel abgeschlossen. Die Zukunft gehört dem Halbleiter und der integrierten Schaltung. Wir stehen erst am Anfang einer Entwicklung, deren Ausmass und Form noch nicht abzusehen sind. Sie haben sich nun die elementarsten Grundlagen der Halbleitertechnik angeeignet. Wir haben uns dabei absichtlich auf das Wesentlichste beschränkt, nur Wünschenswertes wurde weggelassen. Diese Grundlagen müssen Sie beherrschen, sie bilden das Fundament, auf das Sie bauen. Sie sollten deshalb Ihre Antworten auf die Repetitionsaufgaben kritisch werten. Sie dürfen sich nichts durchgehen lassen, Unklarheiten müssen Sie durch nochmaliges Studium der betreffenden Texte beseitigen.

## 5. Was wissen Sie schon über Heissleiter?

Antworten zu den Fragen a bis d (Seite 76)

- a) Der Temperaturkoeffizient gibt an, um wieviel sich der Widerstandswert eines Materials bei einer Temperaturänderung von  $1^{\circ}\text{C}$  verändert. Er wird in Prozent/Grad angegeben.

- b) Der Halbleiter ist ein Material, das in reinem Zustand eine geringe Leitfähigkeit aufweist, dessen Leitfähigkeit durch Einbau von Fremdatomen erhöht wird. Die Leitfähigkeit des Halbleiters nimmt mit steigender Temperatur zu.
- c) Heissleiter werden verwendet:
- zur Stabilisierung von Stromkreisen
  - zur Arbeitspunktstabilisierung
  - in der Messtechnik
- d) Der Heissleiter besteht aus Mischoxyden. Verwendet werden Magnesiumoxyd mit Titanoxyd sowie Magnesium-Nickeloxyde.

**Bewertung:**

Die Fragen a und b sollten Sie beantworten können, dieser Stoff wurde bereits in früheren Lektionen behandelt.

## 6. Repetitionsaufgaben zu «III Der Heissleiter»

Antworten zu den Fragen a bis e (Seite 83)

a)

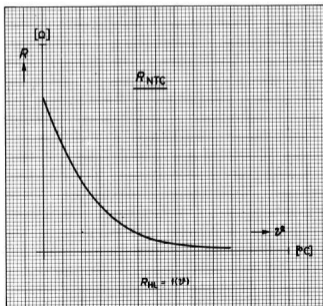


Bild zu 6b

- b) Hochfrequenzströme werden mit indirekt geheizten Heissleitern gemessen.
- c) Der zur Strombegrenzung eingesetzte Halbleiter wird durch den Eigenstrom erwärmt, derjenige zur Arbeitspunktstabilisierung dagegen bezieht seine Wärmeenergie aus der Umgebung.
- d) Heissleiter für die Temperaturmessung müssen eine möglichst geringe Trägheit aufweisen.
- e) Der Heissleiter wird aus Mischoxyden hergestellt. Es sind dies Mischungen von Magnesiumoxyd mit Titanoxyd sowie Magnesium-Nickeloxylde.

*Bewertung:*

Die Beantwortung dieser Fragen sollte Ihnen keine Schwierigkeiten bereitet haben, ist doch der Heissleiter ein leicht zu überblickendes Element.

## 7. Was wissen Sie schon über Kaltleiter?

Antworten zu den Fragen a bis d (Seite 84)

- a) Der Kaltleiter ist ähnlich aufgebaut wie eine Glühlampe. Als Glühdraht wird ein Wolframfaden verwendet. Der Kaltleiter aus Halbleitermaterial besteht aus Barium-Titanat, welches mit Metalloxyden und Metallsalzen gesintert wurde.
- b) Kaltleiter werden zu Stabilisierungszwecken verwendet. Sie werden auch in Regelschaltungen eingesetzt. Mit Kaltleitern können einfache Schaltungen zur Dynamikkompensation realisiert werden. Die Messtechnik bedient sich der Kaltleiter, um schwache Hochfrequenzströme zu messen.
- c) Der Eisenwasserstoffwiderstand wird zur Stabilisierung von Strömen verwendet.
- d) Mit zunehmender Temperatur nehmen im Kaltleitermaterial auch die Schwirrbewegungen der Atome zu. Die Wahrscheinlichkeit eines Zusammenstosses zwischen gebundenen Elektronen und freien Elektronen steigt, wodurch die Beweglichkeit der freien Elektronen herabgesetzt wird, was eine Zunahme des Widerstandes zur Folge hat.

*Bewertung:*

Die Frage d sollten Sie aufgrund Ihrer bis dahin erworbenen Kenntnisse beantworten können. Falls Sie auch die Antworten zu den restlichen Fragen gefunden haben, beweist das Ihnen, dass Sie auf dem Gebiet der Kaltleiter schon recht gut zu Hause sind.

## 8. Repetitionsaufgaben zu «IV. Der Kaltleiter»

Antworten zu den Fragen a bis g (Seite 90)

- a) Das Hauptmerkmal des Kaltleiters ist sein grosser positiver Temperaturkoeffizient.

b)

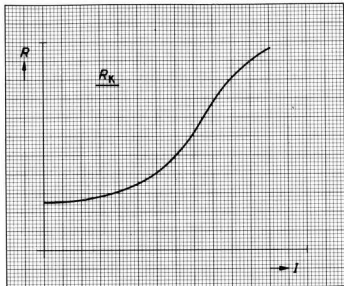


Bild zu 8 b

- c) Der Kaltleiter besteht aus einem sehr dünnen Wolframdraht, der sich in einem Glaskolben unter Vakuum befindet. Der Kaltleiter aus Halbleitermaterial besteht aus Barium-Titanat, welches mit Metalloxyden und Metallsalzen gesintert wurde.

d)

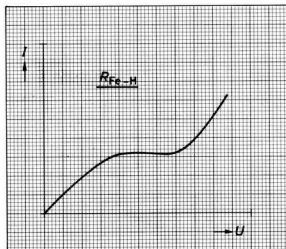


Bild zu 8 d

- e) Der Eisenwasserstoffwiderstand wird im flachen Teil der Kennlinie betrieben, da in diesem Gebiet eine Änderung der Spannung fast keinen Einfluss auf den Strom hat.
- f) Die Steilheit der Stromkurve ist unterhalb des Glühpunktes am grössten, die Wirkung des Kaltleiters ist dort am ausgeprägtesten.
- g) Der Eisenwasserstoffwiderstand wird hauptsächlich zur Stromstabilisierung in batteriegespeisten Röhrengeräten eingesetzt.

**Bewertung:**

Ihre Antworten auf die Repetitionsaufgaben zeigen Ihnen, ob Sie den Stoff verarbeitet haben. Seien Sie bei der Beurteilung Ihrer Antworten auch bei kleinen Lektionen, wie die vorliegende eine ist, kritisch. Es lohnt sich, auch die weniger häufig anzutreffenden Bausteine der Elektronik gut zu kennen.

## 9. Was wissen Sie schon über VDR-Widerstände?

Antworten zu den Fragen a bis d (Seite 91)

- a) An den Schaltkontakten von induktiv belasteten Stromkreisen entstehen im Ausschaltmoment Spannungen, die ein Vielfaches der Spannungen des betreffenden Kreises betragen. Für hohe Spannungen stellt der VDR-Widerstand einen kleinen Widerstand dar, er schliesst sie kurz.
- b) Varistoren bestehen aus Siliziumkarbidscheiben.
- c)

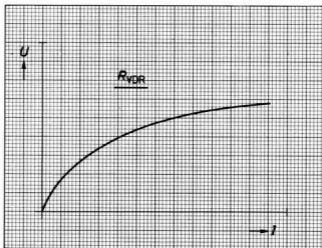


Bild zu 9c

- d) Varistoren sind in vielen Regelschaltungen anzutreffen. Als Überspannungsschutz dienen sie der Ableitung von Hochspannungen. Dank ihrer Kennlinien können sie auch als Spannungsstabilisatoren verwendet werden.

*Bewertung:*

Der Varistor ist ein weniger bekanntes Bauelement. Wer noch nie etwas von ihm gehört hat, der kann seine Wissenslücke nun schliessen.

## 10. Repetitionsaufgaben zu «V. VDR-Widerstände»

Antworten zu den Fragen a bis c (Seite 97)

a)

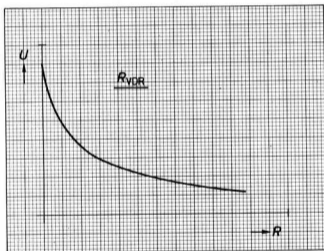


Bild zu 10a

b)

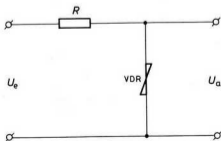


Bild zu 10b



c) Vorgehen:

1. Schritt: Berechnen des Stromes durch den VDR für verschiedene Spannungen.

– Grundformel für  $U$   
anschreiben

$$U = C \cdot I^\beta$$

– Isolieren

$$I^\beta = \frac{U}{C}$$

– Zahlenwerte einsetzen  
und ausrechnen,  
zuerst für  $U = 100 \text{ V}$

$$I = \sqrt[\beta]{\frac{U}{C}}$$

$$I = \sqrt[0,2]{\frac{100}{1000}} = \sqrt[1/5]{0,1}$$

$$I = 0,1^5$$

$$I = \mathbf{0,01 \text{ mA}}$$

Diese Stromwerte sind für alle Spannungen ab 100 V in Schritten von 10 zu 10 V zu berechnen, bis der Stromwert 1 mA erreicht ist. Die Resultate sind in einer Tabelle festzuhalten.

$U$ in V	$I$ in mA	$U$ in V	$I$ in mA
100	0,01	200	0,320
110	0,016	210	0,408
120	0,025	220	0,515
130	0,037	230	0,644
140	0,054	240	0,796
150	0,076	250	0,977
160	0,105	260	1,188
170	0,142		
180	0,189		
190	0,248		

Der Innenwiderstand des Instrumentes darf vernachlässigt werden.

2. Schritt: Zeichnung für die Skala des Instrumentes anfertigen.

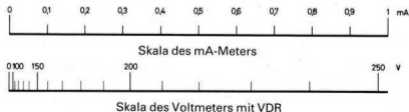


Bild 10c

### **Bewertung:**

Die Beantwortung der Fragen a und b dürfte Ihnen keine Schwierigkeiten bereiten, sie verlangen nur die elementarsten Kenntnisse über VDR-Widerstände. Die Aufgabe c sollte Ihnen zeigen, wie der Anzeigebereich eines Voltmeters im interessierenden Bereich mit Hilfe eines Varistors gedehnt werden kann. Falls Ihnen die Berechnung Mühe bereitet hat, ist dies ein Zeichen dafür, dass Ihre Algebrakenntnisse noch auf etwas schwachen Beinen stehen. Ohne ein Minimum an Algebra geht es nicht. Jeder Schüler muss die Grundoperationen, das Potenzieren und das Radizieren sowie das Rechnen mit Logarithmen beherrschen. Ferner sollten Sie in der Lage sein, Gleichungen ersten Grades mit einer Unbekannten zu lösen. Auch das Arbeiten mit dem Rechenschieber gehört zum Rüstzeug des Praktikers. Wer bei sich Wissenslücken auf diesem Gebiet feststellt, der sollte seine Schulkenntnisse auffrischen.

## **11. Was wissen Sie schon über Netzgleichrichter?**

Antworten zu den Fragen a bis f (Seite 99)

- a) Ein Einweggleichrichter ist eine Gleichrichterschaltung mit nur einer Diode. Es wird dabei nur die eine Hälfte der Sinusschwingung der Netzspannung ausgenutzt.
- b) Der Doppelweggleichrichter nützt die ganze Schwingung der Netzwechselspannung aus. Er wird dadurch wirtschaftlicher.
- c) Die Graetzgleichrichterschaltung benötigt vier Gleichrichterdioden.
- d) Die Graetzschaltung erlaubt eine Doppelweggleichrichtung, ohne dass dabei eine symmetrische Wechselspannungsquelle mit Mittelabgriff notwendig wird.
- e) Die Delonschaltung ist eine Spannungsverdopplerschaltung. Die gewonnene Gleichspannung ist doppelt so gross wie bei einem gewöhnlichen Gleichrichter.
- f) Eine Siebkette besteht aus LC- oder RC-Gliedern.

### **Bewertung:**

Die Einführungsfragen haben den Zweck, Sie gedanklich auf den folgenden Stoff vorzubereiten. Sie dienen zur Einführung in die Materie und sollen die Verbindung herstellen zwischen dem bereits vorhandenen Wissen und der folgenden Lektion. Es wird nicht vorausgesetzt, dass Sie die Fragen alle beantworten können. Einzelne « Pflichtfragen », die sich auf bereits behandelte Themen beziehen, werden in der Bewertung als solche bezeichnet. In diesem Sinne wollen wir die Einführungsfragen der nun folgenden Stoffgebiete werten.

## 12. Repetitionsaufgaben zu «I. Gleichrichterschaltungen»

Antworten zu den Fragen a bis k (Seite 111)

- a) Die Einweggleichrichterschaltung nutzt nur eine Halbwelle aus. Sie hat einen entsprechend schlechten Wirkungsgrad. Die Welligkeit der gewonnenen Gleichspannung ist sehr gross.
- b) Bei jeder Gleichrichtung entsteht der Pluspol der Gleichspannung an der Katode des Gleichrichters.
- c)

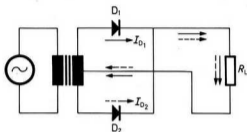


Bild zu 12 c

d)

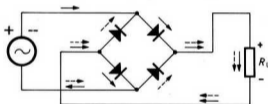


Bild zu 12 d

- e) Bei der Delonschaltung werden über zwei Dioden im Wechsel zwei Kondensatoren aufgeladen. Diese Kondensatoren sind in Serie geschaltet, so dass man über dieser Serieschaltung die doppelte Gleichspannung abnehmen kann.
- f) Eine weitere Spannungsverdopplerschaltung ist die Villardschaltung. Sie arbeitet als Einwegspannungsverdoppler.
- g) Die Gleichrichterschaltung mit Ladekondensator ist belastungsabhängig. Die Gleichrichterdiode werden durch kurze, kräftige Stromstösse stark belastet.
- h) Die Strombelastung der Dioden ist beim Drossel Eingang geringer, da die Belastung über eine längere Zeit erfolgt. Die Ausgangsspannung ist weniger belastungsabhängig.

i) Der Siebfaktor entspricht dem Verhältnis von Brummspannung am Eingang zur Brummspannung am Ausgang einer Siebkette.

k) *Vorgehen:*

1. Schritt: Bestimmen des Belastungsstromes

– Grundformel anschreiben  $I = \frac{U}{R}$

– Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen  $I = \frac{250}{10 \cdot 10^3} \cdot \frac{V \cdot A}{V} = A$

$$I = 25 \text{ mA}$$

2. Schritt: Berechnen der Brummspannung

– Grundformel anschreiben  $U_w = \frac{5 \cdot I}{C_L} \cdot \frac{\text{mA}}{\mu\text{F}} = V$

– Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen  $U_w = \frac{5 \cdot 25}{8}$

$$U_w = 15,64 \text{ V}$$

3. Schritt: Bestimmen des Siebfaktors

– Grundformel anschreiben  $s = \omega^2 \cdot L_s \cdot C_s - 1$

$$[s] = \frac{1}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{Vs}}{\text{A}} \cdot \frac{\text{As}}{\text{V}} - 1$$

$$[S] = C^6$$

– Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen  $s = (2 \pi 50)^2 \cdot 5 \cdot 16 \cdot 10^{-6} - 1$

$$s = 6,9$$

4. Schritt: Bestimmen der Welligkeit

– Grundformel anschreiben  $w = \frac{U_w}{U} ; U_w = \frac{U_w}{s}$

$$w = \frac{U_w}{sU} \cdot 100 \quad \%$$

– Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen  $w = \frac{15,64}{6,9 \cdot 250}$

$$w = 0,907\%$$

*Bewertung*

Die Repetitionsaufgaben sind so gestellt, dass Sie diese lösen können, falls Sie die Lektion wirklich verstanden haben. Treten bei einer Frage Schwierigkeiten auf, so deutet dies daraufhin, dass Sie das betreffende Problem nicht ganz verarbeitet haben. Sie müssen dann unbedingt diesen Stoff nochmals durcharbeiten, bis Sie in der Lage sind, die Testaufgaben richtig zu lösen. Sie werden in Zukunft Ihre Testarbeiten auf dieser Basis selbständig werten.

### 13. Was wissen Sie schon über RC-Verstärker?

Antworten zu den Fragen a bis g (Seite 112)

- a) Stufenverstärkung ist das Verhältnis von Ausgangsspannung zu Eingangsspannung gemessen an einem Verstärker.
- b) Ja, solche Verstärker sind die Regel, da für die meisten Anwendungsfälle die Verstärkung einer einzelnen Stufe nicht ausreichen würde.
- c) Unter dem Begriff «Verzerrungen» werden alle Oberwellen zusammengefasst, die in einem Verstärker infolge der nichtlinearen Kennlinien von Bauelementen auftreten. Diese Verzerrungen heissen deshalb auch «nichtlineare Verzerrungen» im Gegensatz zu den «linearen Verzerrungen». Bei diesen handelt es sich nicht um Verzerrungen im eigentlichen Sinn des Wortes, als «lineare Verzerrungen» bezeichnet man Schwankungen im Frequenzgang eines Verstärkers.
- d) Verzerrungen werden durch den «Klirrfaktor» ausgedrückt. Dieser gibt den Anteil der erzeugten Oberwellen in Prozenten an.
- e) Mit Hilfe der Gegenkopplung wird der Klirrfaktor eines Verstärkers herabgesetzt. Parallel dazu erfolgt eine Stabilisierung der Betriebsbedingungen. Jede Gegenkopplung setzt die Verstärkung der gegengekoppelten Stufe herab. Dieser Nachteil muss in Kauf genommen werden.
- f) Die obere Grenzfrequenz ist diejenige Frequenz am oberen Ende der Frequenzkurve, für welche die Gesamtverstärkung einer Anlage auf den  $1/\sqrt{2}$ -fachen Wert abgesunken ist (3-dB-Punkt).
- g) Das Dezibelmass bringt verschiedene Vorteile. Da es auf dem Zehnerlogarithmus basiert, dürfen Verstärkungsfaktoren von Verstärkern und Dämpfungsfaktoren von Dämpfungsgliedern einfach addiert und subtrahiert werden, wenn die betreffenden Glieder hintereinander geschaltet sind. Grafische Darstellungen lassen sich bei Verwendung des Dezibelmasses übersichtlicher und platzsparender ausführen, da infolge des logarithmischen Massstabes grosse Werte gedrängt dargestellt werden können, ohne dass dabei die Aussage leidet.

### 14. Repetitionsaufgaben zu «II. RC-Verstärker mit Röhren und Transistoren»

Antworten zu den Fragen a bis ag (Seite 148)

- a) Am Widerstand  $R_a$  entsteht die Ausgangswechselspannung. Er dient als Arbeitswiderstand.
- b) Ja, je grösser der Widerstand gewählt wird, desto höher wird die Stufenverstärkung. Man darf ihn jedoch nicht beliebig hoch wählen, da die Röhre sonst im gekrümmten Teil der Kennlinie arbeiten würde, was eine starke Zunahme der Verzerrungen mit sich brächte.

- c) Die Gittervorspannung wird am Katodenwiderstand  $R_k$  erzeugt. Der Katodenkondensator  $C_k$  schliesst die im Betrieb an  $R_k$  entstehende Wechselspannung zur Verhinderung einer Gegenkopplung kurz.
- d) Die RC-Kombination  $R_S / C_S$  stellt für die Anodenspannung eine zusätzliche Siebung dar. Sie verhindert, dass Wechselspannungsreste über die Spannungsquelle in andere Stufen gelangen und so unerwünschte Kopplungserscheinungen verursachen würden.
- e) Die Kopplungskapazitäten  $C_g$  und  $C_a$  beeinflussen die untere Grenzfrequenz der Stufe. Je kleiner die Werte dieser Kondensatoren gewählt werden, desto höher wird die untere Grenzfrequenz.
- f) Die obere Grenzfrequenz wird durch die Querkapazitäten beeinflusst. Diese setzen sich aus den Streu- und Schaltkapazitäten zusammen.
- g) Diese Widerstände bilden einen Spannungsteiler zur Erzeugung der Basisvorspannung.
- h) Die feste Basisvorspannung wird über den Spannungsteiler  $R_{B1}-R_{B2}$  abgegriffen. Zwischen Basis und Emitter ist die Differenz der Spannung über  $R_{B2}$  und dem Spannungsabfall über dem Emitterwiderstand  $R_E$  als eigentliche Basisvorspannung wirksam. Steigt nun infolge Erwärmung der Strom durch den Transistor an, so erhöht sich der Spannungsabfall über dem Emitterwiderstand, wodurch die wirksame Basisvorspannung kleiner wird und so der Stromzunahme entgegenwirkt.
- i) Über dem Emitterwiderstand  $R_E$  entsteht eine Gegenkopplungsspannung. Die dadurch entstehende Gegenkopplung setzt die Stufenverstärkung erheblich herab.
- k) Niederfrequenzverstärker mit RC-Kopplung, die als Eintaktverstärker konzipiert sind, werden immer als Klasse A-Verstärker betrieben.
- l)

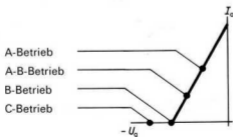


Bild zu 14 l

m) Kontrolle:

$$v_1 = S_{D1} \cdot R_{a1}$$

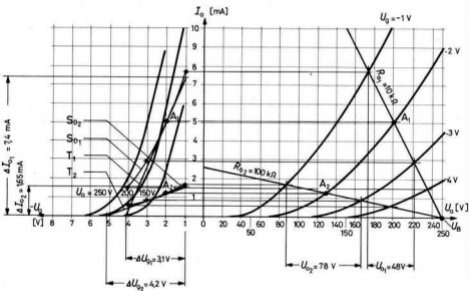
$$v_1 = 2,4 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3 \quad \frac{\text{A}}{\text{V}} \cdot \frac{\text{V}}{\text{A}} = 1$$

$$v_1 = 24$$

$$v_2 = S_{D2} \cdot R_{a2}$$

$$v_2 = 0,39 \cdot 10^{-3} \cdot 100 \cdot 10^3 \quad \frac{\text{A}}{\text{V}} \cdot \frac{\text{V}}{\text{A}} = 1$$

$$v_2 = 39$$



$$v_1 = \frac{U_{a1}}{U_g} = \frac{48 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 24$$

$$S_{D1} = \frac{\Delta I_{a1}}{\Delta U_{g1}} = \frac{7,4 \text{ mA}}{3,1 \text{ V}} = 2,4 \text{ mA/V}$$

$$v_2 = \frac{U_{a2}}{U_g} = \frac{78 \text{ V}}{2 \text{ V}} = 39$$

$$S_{D2} = \frac{\Delta I_{a2}}{\Delta U_{g2}} = \frac{1,65 \text{ mA}}{4,2 \text{ V}} = 0,39 \text{ mA/V}$$

Bild zu 14 m

n)

## AC 125

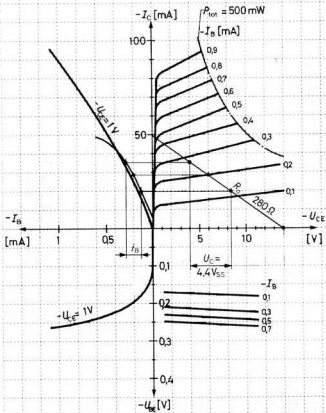
 $T_{\text{amb}} = 25^{\circ}\text{C}$ 

Bild zu 14 n

Die Kollektorwechselfspannung misst  $4,4 V_{SS} = 1,56 V_{\text{eff}}$



o) *Vorgehen:*

– Grundformel anschreiben  $v [\text{dB}] = 10 \cdot \lg \frac{P_a}{P_e}$

$$\frac{v}{10} = \lg \frac{P_a}{P_e}$$

– Zahlenwerte einsetzen  
und ausrechnen  $\frac{46}{10} = \lg \frac{P_a}{P_e}$

$$\lg \frac{P_a}{P_e} = 4,6$$

(Dieser Wert wurde aus der  
Logarithmentafel oder ab dem  
Rechenschieber abgelesen)  $\frac{P_a}{P_e} = 39811$

$$P_e = \frac{P_a}{39811}$$

$$P_e = \frac{5}{39811}$$

$$P_e = \mathbf{0,126 \text{ mW}}$$

p) *Vorgehen:*

1. Schritt: Berechnung der Spannungsverstärkung für einen Verstärkerausgang von  $600 \Omega$

– Grundformel anschreiben  $v [\text{dB}] = 20 \cdot \lg \frac{U_a}{U_e}$

– Zahlenwerte einsetzen  
und ausrechnen  $\lg \frac{U_a}{U_e} = \frac{74}{20} = 3,7$

(aus Logarithmentafel oder  
Rechenschieber)  $\frac{U_a}{U_e} = 5012$

2. Schritt: Berechnung der Spannung an einem  $600 \Omega$ -Ausgang

– Grundformel anschreiben  $\frac{U_a}{U_e} = 5012$

– Zahlenwerte einsetzen  
und ausrechnen  $U_a = 5012 \cdot U_e$   
 $U_a = 5,012 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \text{ V}$   
 $U_a = 12,53 \text{ V}$

3. Schritt: Berechnung der Spannung für einen  $16\text{-}\Omega$ -Ausgang

Zur Berechnung der Spannung an einem  $16\text{-}\Omega$ -Ausgang müssen wir uns einen Ausgangstransformator vorstellen, der den errechneten Ausgang von  $600 \Omega$  auf  $16 \Omega$  heruntertransformiert. (Bild zu 24 p)

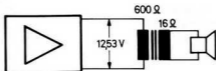


Bild zu 14 p

- Grundformel anschreiben

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{600}{16}}$$

$$\ddot{u} = 6,12$$

- Grundformel für die Spannungsübersetzung anschreiben

$$\ddot{u} = \frac{U_p}{U_s}$$

$$U_s = \frac{U_p}{\ddot{u}}$$

- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$U_s = \frac{12,53}{6,12}$$

$$U_s = \mathbf{2,047\ V}$$

#### 4. Schritt: Berechnung der Leistung am Lautsprecher

- Grundformel anschreiben

$$P = \frac{U^2}{R}$$

- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$P = \frac{2,047^2}{16}$$

$$P = \mathbf{0,262\ W}$$

#### 5. Schritt: Kontrolle über die Leistungsdezipelrechnung

- Grundformel anschreiben

$$v[\text{dB}] = 10 \lg \frac{P_a}{P_e}$$

- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$74 = 10 \lg \frac{P_a}{P_e}$$

(der Wert wurde ab dem Rechenschieber oder aus der Logarithmentafel ermittelt)

$$\frac{P_a}{P_e} = 25,12 \cdot 10^6$$

– Bestimmen der Eingangsleistung über die dB-Rechnung

$$P_e = \frac{P_a}{25,12 \cdot 10^6} \text{ W}$$

$$P_e = \frac{0,262}{25,12 \cdot 10^6}$$

$$P_e = 10,42 \cdot 10^{-9} \text{ W}$$

– Bestimmen der Eingangsleistung mit dem Ohmschen Gesetz

$$P_e = \frac{U_e^2}{Z_e}$$

– Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

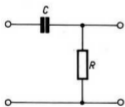
$$P_e = \frac{(2,5 \cdot 10^{-3})^2}{0,6 \cdot 10^{-3}}$$

$$[P_e] = \frac{\text{V} \cdot \text{V} \cdot \text{A}}{\text{V}} = \text{VA}$$

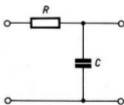
$$P_e = 10,42 \cdot 10^{-9} \text{ W}$$

Die beiden auf verschiedene Weise gerechneten Eingangsleistungen stimmen überein. Das bedeutet, dass auch die Berechnung mit Hilfe des Dezibelmasses richtig waren.

- q) Die Mittenfrequenz entspricht dem geometrischen Mittel aus der unteren und der oberen Grenzfrequenz.  
 r) Als Grenzfrequenz wird diejenige Frequenz bezeichnet, für welche die Spannung gegenüber dem Maximalwert oder gegenüber der Mittenfrequenz um 3 dB abgesunken ist. Zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung tritt dabei eine Phasenverschiebung von 45° auf.  
 s)



Hochpass



Tiefpass

Bild zu 14s

- t) Eine lineare Verzerrung liegt dann vor, wenn die Verstärkung in einem Verstärker oder die Dämpfung in einem Dämpfungsglied nicht für alle Frequenzen dieselbe ist. Jeder Verstärker weist lineare Verzerrungen auf, da sein Frequenzumfang nicht unendlich gross ist. Oft werden jedoch die linearen Verzerrungen nur innerhalb eines bestimmten Frequenzbandes – beispielsweise innerhalb des geforderten Übertragungsbereiches von Mikrofonen, Verstärkern und Lautsprechern – betrachtet.

- u) Nichtlineare Verzerrungen entstehen an nichtlinearen Schaltelementen wie Röhren und Halbleiter. Ein sinusförmiges Eingangssignal erleidet im Verstärker gewisse Deformierungen. Am Ausgang ist es nicht mehr rein sinusförmig, es enthält Verzerrungen. Diese treten als zusätzliche Oberwellen zur Grundschiwingung in Erscheinung.
- v) Nichtlineare Verzerrungen werden messtechnisch als Klirrfaktor oder als Intermodulationsfaktor erfasst. Beide Angaben erfolgen in Prozenten.
- w) Der Klirrfaktor wird geometrisch addiert:

$$k_{\text{tot}} = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$$

$$k_{\text{tot}} = \sqrt{2^2 + 3^2}$$

$$k_{\text{tot}} = \mathbf{3,61\%}$$

- x) Jede Gegenkopplung bringt die folgenden Vorteile:
- Herabsetzung des Klirrfaktors
  - Linearisierung des Frequenzganges
  - Stabilisierung des Betriebsverhaltens
  - Reduktion von Störeinflüssen
- y) Jede Gegenkopplung verringert die Stufenverstärkung und beeinflusst die Daten der Stufe.
- z) Es wird unterschieden zwischen Strom- und Spannungsgegenkopplung.
- aa) Die Kontrolle des Spannungsabfalles über dem Katodenwiderstand gibt Auskunft über das richtige gleichstrommässige Funktionieren der Stufe.
- ab) Das Voltmeter belastet den Messkreis von  $3\text{ k}\Omega$  mit  $5 \times 333\ \Omega$ . Diese Belastung von  $1665\ \Omega$  führt zur gänzlichen Verfälschung des Messresultates. Zudem wird der Arbeitspunkt des Transistors durch die Messung unzulässig verschoben. Diese Messung darf nur mit einem genügend hochohmigen Instrument durchgeführt werden. Der Instrumenteninnenwiderstand sollte mindestens zehnmal grösser sein als der des Messkreises.
- ac) Der Rückgang der Stufenverstärkung auf etwa den halben Wert bei normalem Gleichstromverhalten lässt auf eine unerwünschte Gegenkopplung schliessen. Als nächste Kontrolle wird deshalb die Wechselspannung am Punkt 1 überprüft.
- ad) Es muss angenommen werden, dass der Katodenkondensator  $C_k$  keine Kapazität mehr aufweist.
- ae) Der Kondensator kann ausgelötet und gemessen werden. Diese Art der Kontrolle ist jedoch etwas aufwendig. Die rascheste und einfachste Prüfung besteht darin, dass der Katodenkondensator mit einem zweiten gleicher Kapazität überbrückt wird. Sinkt dabei die Spannung am Punkt 1 um mehr als die Hälfte ab, so weist der Katodenkondensator einen Kapazitätsverlust auf.
- af) Der Kopplungskondensator  $C_B$  weist wahrscheinlich einen Unterbruch oder Kapazitätsverlust auf.

- ag) Die Wechselspannung an der Basis Punkt 5 wird mit einem Röhrenvoltmeter gemessen. Fehlt diese, so bedeutet das, dass der Kondensator keine Kapazität mehr aufweist. Bevor wir ihn auswechseln, überbrücken wir ihn mit einem Kondensator gleicher Grösse, messen wir dabei eine Signalspannung auf der Basis, so liegt der Fehler einwandfrei am Koppelkondensator  $C_B$ .

## 15. Was wissen Sie schon über Niederfrequenzleistungsverstärker?

Antworten zu den Fragen a bis h (Seite 153)

- a) In den meisten Fällen wird ein Übertrager als Arbeitswiderstand verwendet. Dieser hat die Aufgabe, den niederohmigen Belastungswiderstand des Lautsprechers dem hochohmigen Röhrenaussgang anzupassen. Spezialschaltungen erlauben den direkten Anschluss eines Lautsprechers mit höherer Impedanz als Arbeitswiderstand der Endstufe. Bei transistorisierten Verstärkern wird meist die transformatorlose Speisung des Lautsprechers angewendet.
- b) Gegentaktschaltungen, die als Klasse A-Verstärker arbeiten, ergeben weniger Verzerrungen als die Eintaktschaltungen. Die Ausgangsleistung wird dabei doppelt so gross wie bei der Eintaktschaltung mit gleichen Röhren. Gegentaktschaltungen im B-Betrieb weisen gegenüber der Eintaktschaltung einen bedeutend höheren Wirkungsgrad auf. Bei Verwendung gleicher Endröhren oder gleicher Endtransistoren gibt diese Schaltung mehr Leistung ab als die Gegentakt-A-Endstufe.
- c) Der maximal erreichbare Wirkungsgrad einer Gegentakt-B-Endstufe beträgt 78%.
- d) Wenn kein Niederfrequenzsignal am Eingang der Gegentakt-B-Endstufe liegt, dann sind Kollektor- oder Anodenströme sehr gering. Die Stufe belastet die Stromquelle nur dann, wenn sie angesteuert wird, das heisst, wenn sie Leistung abgibt.
- e) Die Phasendrehung kann in einem Transformator oder in einer mit einer Röhre oder einem Transistor bestückten Phasenumkehrstufe erfolgen. Schaltungen, die ausschliesslich mit Röhren bestückt sind, arbeiten fast durchwegs mit einer Phasenumkehröhre, während in transistorisierten Schaltungen die Phasendrehung oft mit einem Gegentakteingangstransformator erfolgt.
- f) Leistungsröhren sind für grössere Anodenströme und oft auch für höhere Anodenspannungen dimensioniert. Die Abmessungen der Elektroden sind entsprechend grösser, als dies bei Vorstufen der Fall ist. Endröhren konsumieren auch mehr Heizleistung. Leistungstransistoren sind für grössere Kollektorströme und Kollektorspannungen konzipiert. Sie werden dadurch in ihren Abmessungen grösser. Oft werden sie zur besseren Wärmeableitung mit Kühlflügeln ausgestattet oder sie müssen auf einer Kühlfläche montiert werden, deren minimale Abmessungen vorgeschrieben sind.

- g) Die Leistungshyperbel gibt im  $I_a-U_a$ -Kennlinienfeld und im  $I_C-U_{CE}$ -Kennlinienfeld die maximal zulässige Anoden- respektive Kollektorverlustleistung an.
- h) Die Anodenverlustleistung entspricht der Leistung, die im Anodenblech in Wärme umgesetzt wird.  
Die Kollektorverlustleistung entspricht der Leistung, die im Transistor in der Kollektorsperrschicht in Wärme umgesetzt wird.

**Bewertung:**

Die Fragen f, g und h sollten Sie aufgrund Ihrer bisherigen Studien beantworten können.

## 16. Repetitionsaufgaben zu «III. Der Niederfrequenzleistungsverstärker

Antworten zu den Aufgaben a bis m (Seite 173)

- a) Der Arbeitspunkt darf nicht **oberhalb** der Leistungshyperbel liegen, da die zulässige Verlustleistung der Röhre oder des Transistors überschritten würde.
- b) Der Ausgangsübertrager hat die Aufgabe, den Verbraucherwiderstand des Lautsprechers auf den Widerstandswert zu transformieren, der von der Röhre oder vom Transistor als Belastungswiderstand gefordert wird.  
In Gegentakt-B-Schaltungen setzt der Ausgangsübertrager die Teilsignale der beiden Endstufen zum Ausgangssignal zusammen.
- c) Bei der Wahl des Arbeitswiderstandes von Eintaktendstufen müssen zwei Faktoren berücksichtigt werden: Die maximal erreichbare Ausgangsleistung und der minimale Klirrfaktor. Zwischen diesen beiden Werten, die sich nie decken, muss ein Kompromiss gesucht werden, der je nachdem, ob die erreichbare Leistung oder die geforderte Qualität wichtiger sind, zu Gunsten des einen oder des anderen ausfällt.

d) **Vorgehen:**

1. Schritt: Berechnen des Arbeitswiderstandes aus dem Übersetzungsverhältnis des Transformators.

– Grundformel anschreiben

$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}}$$

$$\ddot{u}^2 = \frac{Z_p}{Z_s}$$

$$Z_p = \ddot{u}^2 \cdot Z_s$$

– Zahlenwerte einsetzen

$$Z_p = 25^2 \cdot 8$$

ausrechnen

$$Z_p = 5 \text{ k}\Omega$$

## 2. Schritt: Grafische Ermittlung der Ausgangsleistung

- Festlegen des Arbeitspunktes A auf der Leistungshyperbel für eine Speisespannung von 220 V
- Konstruktion der Widerstandsgeraden durch den Punkt A
- Festlegen der Aussteuerungsgrenzen B–A–C für eine Eingangswchelspannung von 2,5  $V_s$ . Die Strecken AB und AC entsprechen je einer Gitterspannungsänderung von 2,5 V
- Anodenspitzenspitzenspannung und Anodenspitzenstrom herauslesen  
 $U_{ass} = 220 \text{ V}, I_{ass} = 45 \text{ mA}$
- Berechnen der Ausgangsleistung:

$$P_a = \frac{U_{ass} \cdot I_{ass}}{8}$$

$$P_a = \frac{220 \cdot 0,045}{8}$$

$$P_a = \mathbf{1,238 \text{ W}}$$

## 3. Schritt: Bestimmen des Wirkungsgrades

- Grundformel anschreiben  $\eta = \frac{P_a}{P_v} \cdot 100 \%$   
 $P_v = U_{ao} \cdot I_{ao} + U_{g2} \cdot I_{g2}$   
( $I_{ao}$  aus Diagramm)
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen  $\eta = \frac{1,238}{220 \cdot 40 \cdot 10^{-3} + 220 \cdot 6 \cdot 10^{-3}} \cdot 100$   
 $\frac{VA}{VA} = 1$   
 $\eta = \mathbf{12,2\%}$

## 4. Schritt: Bestimmen des Katodenwiderstandes

- $U_{g1} = -6,5 \text{ V}$  aus dem Diagramm entnommen
- $I_{ao} = 40 \text{ mA}$  aus dem Diagramm entnommen

- Grundformel anschreiben  $R_k = \frac{U_{g1}}{I_{ao} + I_{g2}}$   
 $R_k = \frac{6,5}{46 \cdot 10^{-3}} \quad \frac{\text{V}}{\text{A}} = \Omega$   
 $R_k = \mathbf{141,3 \Omega}$

### 5. Schritt: Berechnen der Lautsprecherspannung

- Grundformel anschreiben  $\ddot{u} = \frac{U_p}{U_s}$
- $U_s = \frac{U_p}{\ddot{u}}$
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen
- $U_s = \frac{220}{25}$
- $U_s = 8,8 V_{ss}$
- $U_s = 3,1 V_{eff}$

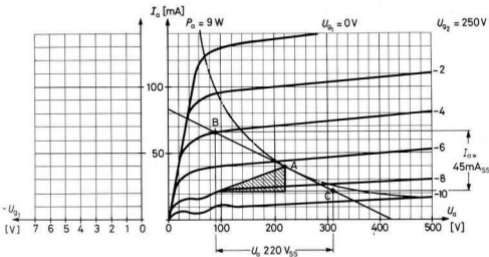


Bild zu 16 d

- e) Zur Phasenumkehr in Gegentakstufen werden Gegentakteingangstransformatoren oder Phasenumkehrstufen mit Röhren oder Transistoren verwendet.
- f) Bei der Katodystufe wird das Signal am Anodenwiderstand und am gleich grossen Katodenwiderstand abgenommen. Der als Arbeitswiderstand wirkende Katodenwiderstand bewirkt eine starke Stromgegenkopplung, so dass die erreichbare Verstärkung auf ungefähr 2 absinkt.



- g) Der grösst mögliche Wirkungsgrad einer Gegentakt-B-Endstufe beträgt 78%.
- h) Durch diese Massnahme wird die Gesamtkennlinie der Stufe im Bereich kleiner Signale linearisiert. Die Kennlinienkrümmung wird im Gebiet des Arbeitspunktes infolge der Gegeneinanderschaltung der Stufen kompensiert. Kleine Signale werden dadurch verzerrungsfreier verstärkt.

i) *Vorgehen:*

1. Schritt: Berechnung des Arbeitswiderstandes pro Transistor

- Grundformel anschreiben 
$$\ddot{u} = \sqrt{\frac{R_{CC}}{R_L}}$$
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen 
$$R_{CC} = \ddot{u}^2 R_L$$
  

$$R_{LB} = \frac{16}{4} ; R_{CC} = 4 R_{LB}$$
  

$$R_{LB} = 4 \Omega$$

2. Schritt: Ermittlung der Ausgangsleistung aus dem Kennlinienfeld und der Ausgangsspannung

- Konstruktion der Widerstandsgeraden:

Die Neigung errechnet sich aus dem Widerstandswert des Belastungswiderstandes. Die Widerstandsgerade wird nun durch den vorgegebenen Arbeitspunkt gelegt

- Festlegen der Aussteuerungsgrenzen:

Der Kollektorruhestrom wird willkürlich auf 40 mA festgelegt, dieser Wert entspricht der Regel, wonach der Ruhestrom 1...2% des Spitzenstromes betragen soll. Nach oben wird die Aussteuerung durch den Schnittpunkt der Widerstandsgeraden mit der 80 mA- $I_B$ -Kennlinie begrenzt.

- Bestimmen der Strom- und Spannungsspitzenwerte einer Stufe:

Kollektorspitzenstrom = 2,66 A

Kollektorspitzenspannung = 10,6 V

- Berechnung der Ausgangsleistung des Verstärkers bei voller Aussteuerung

- Grundformel anschreiben 
$$P_a = \frac{U_{Cs} \cdot I_{Cs}}{2}$$
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen 
$$P_a = \frac{10,6 \cdot 2,66}{2} \text{ VA}$$
  

$$P_a = 14,1 \text{ W}$$

- Errechnen der Spannung am Lautsprecher

- Grundformel anschreiben 
$$U = \sqrt{P \cdot R}$$

- Zahlenwerte einsetzen  
und ausrechnen

$$U = \sqrt{14,1 \cdot 8}$$

$$U = 10,62 \text{ V}$$

$$\sqrt{\frac{VAV}{A}} = V$$

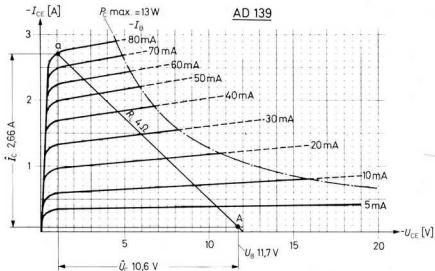


Bild zu 16 i

- k) Das Gerät wird sofort abgeschaltet, da die Endröhre Gefahr läuft, zerstört zu werden. Das Glühen des Schirmgitters deutet auf einen zu grossen Schirmgitterstrom hin. Dieser Fall tritt ein, wenn an der Anode keine Spannung liegt, da dann das Schirmgitter den gesamten Katodenstrom aufnehmen muss. Die Diagnose kann demzufolge auf einen Unterbruch in der Primärwicklung des Ausgangstransformators lauten. Diese wird mit einem Ohmmeter überprüft.
- l) Dass der Widerstand  $R_5$  überhitzt wurde, der Widerstand  $R_{a1}$  dagegen nicht, drängt sich eine Kontrolle des Siebwiderstandes  $R_5$  und des Entkopplungskondensators  $C_5$  auf. Die Diagnose lautet auf einen Kurzschluss im Kondensator  $C_5$ . Die Messung ergibt einen Kurzschluss des Kondensators. Kondensator und Widerstand werden ausgewechselt.
- m) Die Ausgangsspannung am Lautsprecher ist zu klein, zudem wird das Signal verzerrt. Diese Symptome deuten auf den Ausfall einer Transistorendstufe hin. Als erstes werden die Betriebsspannungen überprüft. Die Messung

ergibt, dass diese stimmen. Bevor Sie weiterlesen, überlegen Sie sich, was Sie als nächstes unternehmen.

Wir messen die Kollektorströme und trennen zu diesem Zweck den Kollektorkreis auf. Die Messung ergibt ein Fehlen des Kollektorstromes des oberen Transistors. Da die Betriebsspannungen richtig sind, wird der Transistor als defekt ausgewechselt.

*Vorsicht:*

Der Praktiker könnte auf den Gedanken kommen, um ein Auftrennen des Kollektorstromkreises zu umgehen, die Signalspannung über den beiden Hälften der Primärwicklung des Ausgangstransformators messen zu wollen. Diese Messung wäre irreführend. Bei Ausfall einer Stufe tritt die Signalspannung trotzdem über beiden Wicklungshälften auf, da die Spannung der intakten Stufe in die Wicklung der defekten Stufe transformiert wird.

- n) Ein Transistor kann mit einem Ohmmeter **grob** überprüft werden. Um den Transistor nicht mit dem unter Umständen hohen Messstrom zu zerstören, muss ein Schutzwiderstand zwischen das Ohmmeter und den Prüfling geschaltet werden. Die Spannungsquelle des Ohmmeters soll dabei nicht größer als 1,5 V sein. Bild zu 16 n zeigt die Messanordnungen.

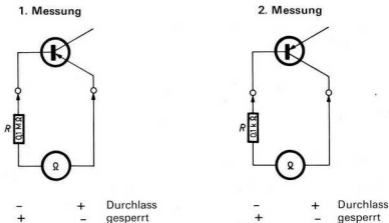


Bild zu 16 n

**1. Messung**

Das Durchlass- und Sperrverhalten der Basis-Emitterstrecke wird geprüft. Das Ohmmeter wird während der Messung umgepolt.

**2. Messung**

Das Durchlass- und Sperrverhalten der Basis-Kollektorstrecke wird geprüft.

Ergibt sich für beide Messungen ein eindeutiges Durchlass-Sperrverhalten, so ist der Transistor mit einiger Wahrscheinlichkeit funktionstüchtig. Viele eindeutige Defekte an Transistoren lassen sich mit dieser Messung feststellen. Die Messung sagt jedoch absolut nichts aus über das dynamische Verhalten des Prüflings und über seine technische Daten. Diese Messmethode dient deshalb nur einer groben Kontrolle des Transistors.

## 17. Was wissen Sie schon über Hochfrequenzverstärker

Antworten zu den Fragen a bis h (Seite 177)

- a) Die Pentode weist einen grossen Innenwiderstand und einen kleinen Durchgriff auf. Da der Innenwiderstand parallel zum Anodenschwingkreis liegt, wird dieser bedeutend weniger bedämpft als bei Verwendung einer Triode. Der kleine Durchgriff der Pentode – bedingt durch die viel kleinere Gitter-Anodenkapazität – verhindert eine unerwünschte Rückkopplung.
- b) Ja, das Röhrenrauschen der Pentode ist grösser als dasjenige der Triode. Ein Nachteil, der sich besonders bei hohen Frequenzen bemerkbar macht.
- c) Ja, zur Verstärkung hoher Frequenzen – über 50 MHz – werden oft Trioden verwendet. Der Grund hiezu liegt im weitaus günstigeren Rauschverhalten der Triode gegenüber der Pentode.
- d) Das Rauschen der Triode in HF-Gebiet ist primär durch den Schroteffekt bedingt. Das Rauschen der Pentode dagegen hat zwei Ursachen: Den Schroteffekt wie bei der Triode und zusätzlich das Stromverteilungsrauschen des Schirmgitters. Durch das Stromverteilungsrauschen wird das Eigenrauschen beträchtlich erhöht.
- e) Der Schwingkreis verhält sich für ein Signal mit der Resonanzfrequenz wie ein Ohmscher Widerstand.
- f) Die Stufenverstärkung wird für die Resonanzfrequenz am grössten, da im Resonanzfall der Kreis die höchste Impedanz aufweist.
- g) Bei Verwendung einer Regelröhre lässt sich der Arbeitspunkt durch Verändern der Gittervorspannung auf der Kennlinie verschieben. Durch diese Massnahme ändert sich die Steilheit, was sich proportional auf die Stufenverstärkung auswirkt.
- h) Ja, man bedient sich zur Verstärkungsregelung von Transistoren verschiedener Methoden.

Folgende Fragen sollten Sie aufgrund Ihrer Kenntnisse richtig beantworten können:

a, e, f und g

## 18. Repetitionsaufgaben zu «IV. Der Hochfrequenzverstärker»

Antworten zu den Fragen a bis t (Seite 209)

- a) Der Hochfrequenzverstärker wirkt selektiv, während der Niederfrequenzverstärker in der Regel ein ganzes Frequenzband überträgt.
- b) Als Arbeitswiderstände kommen bei HF-Verstärkern Schwingkreise und Bandfilter zum Einsatz.
- c) Mit dem Bandfilter lassen sich Durchlasskurven mit steileren Flanken erzielen als mit dem Einzelkreis.

d) *Vorgehen:*

– Formel zur überschlagsmässigen Berechnung von  $v$  anschreiben

$$v \approx S \cdot R_a \cdot \frac{A}{V} \cdot \frac{V}{A} = 1$$

– Formel für  $R_a$  anschreiben

$$R_a = Q \cdot \frac{X_c}{2}$$

$$R_a = \frac{Q}{2 \pi f \cdot C \cdot 2}$$

– Formel für  $R_a$  in Grundformel einsetzen

$$v = \frac{S \cdot Q}{2 \pi f \cdot C \cdot 2}$$

– Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen

$$v = \frac{6 \cdot 10^{-3} \cdot 200}{4 \pi \cdot 0,45 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-10}}$$

$$v = 424$$

- e) Die Erzeugung der gleitenden Schirmgitterspannung erfolgt über einen Seriewiderstand, während die feste Schirmgitterspannung über einem Spannungsteiler gewonnen wird. Die gleitende Schirmgitterspannung einer geregelten Stufe ändert demzufolge ihren Wert mit der zugeführten Regelspannung. Die feste Schirmgitterspannung dagegen bleibt über den gesamten Regelbereich annähernd konstant. Die Regelung mit gleitender Schirmgitterspannung arbeitet weicher als diejenige mit fester Schirmgitterspannung. Stufen mit gleitender Schirmgitterspannung benötigen eine grössere Regelspannung als solche mit fester Spannung am Schirmgitter.
- f) In einer röhrenbestückten HF-Verstärkerstufe wirken alle Ohmschen Widerstände die gitter- und anodenseitig auftreten, die Resonanzwiderstände der Gitter- und Anodenschwingkreise und die Röhre selbst als Rauschquellen.
- g) Ja, die Rauschspannung steigt mit zunehmender Bandbreite an.  
 $U_R = 0,126 \sqrt{R \cdot \Delta f}$  bei 20° C Umgebungstemperatur.
- h) Bei den Pentoden kommt als zusätzliche Rauschquelle das Stromverteilungsrauschen dazu. Es hat seine Ursache in der Aufteilung des Kathodenstromes in Anoden- und Schirmgitterstrom.
- i) Bei sehr hohen Frequenzen macht sich die Laufzeit der Elektronen zwischen Katode und Gitter störend bemerkbar. Es entsteht dadurch zwischen Katode und Gitter eine Wirkkomponente. Diese tritt als zusätzlicher Ohmscher Wi-

Verstand in Erscheinung. Der Wert dieses Widerstandes nimmt mit dem Quadrat der verwendeten Wellenlänge zu.

- k) Wenn in einem HF-Verstärker Verzerrungen entstehen, so treten als unerwünschte Nebenerscheinungen Modulationsverzerrungen und Kreuzmodulation auf.
- l) Kreuzmodulation entsteht an der nichtlinearen Kennlinie eines Verstärkers. Gelangen gleichzeitig zwei Trägersignale auf den Verstärkereingang und ist mindestens einer der Träger moduliert, dann kann der andere Träger mit der Modulation des ersten moduliert werden. In der Praxis führt dies zum gleichzeitigen Empfang von zwei Programmen.
- m) Der HF-Verstärker mit Transistoren bedarf der Neutralisation. Die zwischen Basis und Kollektor wirksame innere Impedanz – bestehend aus einem ohmschen und einem kapazitiven Anteil – muss unwirksam gemacht werden. Bei mehrstufigen Transistorverstärkern stellen sich Anpassungsprobleme. Der relativ hochohmige Ausgang des einen Transistors muss auf den niederohmigen Eingang des folgenden Transistors angepasst werden. Die Anpassung erfolgt mit Hilfe von Schwingkreisen oder Bandfiltern, die zur Transformation herangezogen werden.
- n) Ja, wir unterscheiden zwei Arten von Regelung, die Abwärtsregelung und die Aufwärtsregelung. Beide Arten erfordern eine gewisse Regelleistung.
- o) Bei der Abwärtsregelung wird der Kollektorstrom des Transistors durch die Regelspannung herabgesetzt. Dadurch wird wie bei der Röhre die Steilheit kleiner.  
Bei der Aufwärtsregelung wird der Kollektorstrom durch die Regelspannung soweit erhöht, dass die wirksame Kollektorspannung unter die Restspannung absinkt. Dies bewirkt eine starke Herabsetzung von Eingangs- und Ausgangswiderstand des Transistors. Die dabei wirksame zusätzliche starke Bedämpfung der Schwingkreise verursacht ein Absinken der Verstärkung.
- p) Zur Überprüfung der statischen Werte wird zuerst die Spannung über dem Katodenwiderstand nachgemessen.
- q) Die Diagnose lautet auf fehlende Schirmgitterspannung oder defekte Röhre.  
Als nächste Massnahme werden Schirmgitter- und Anodenspannung überprüft.  
Dabei stellen Sie fest, dass die Schirmgitterspannung fehlt. An Punkt 2 ist die Spannung vorhanden. Somit gibt es zwei Möglichkeiten: Der Schirmgitterwiderstand  $R_{g2}$  ist unterbrochen oder der Schirmgitterentkopplungskondensator  $C_{g2}$  oder die Röhre weisen einen Kurzschluss auf.
- r) *Vorgehen:*
- *Gerät ausschalten*
  - *Kontrolle mit dem Finger, ob  $R_{g2}$  übermässig warm wird*
  - *Messung mit dem Ohmmeter zwischen Punkt 3 und Masse, ob ein Kurzschluss vorhanden ist*
  - *Messung des Widerstandswertes von  $R_{g2}$  mit dem Ohmmeter*
- Die Messung ergab einen Unterbruch des Widerstandes  $R_{g2}$ . Dieser wird

ausgewechselt. Nach durchgeführter Reparatur werden die Gleichspannungswerte nochmals überprüft. Es könnte nämlich der Fall auftreten, dass  $C_{g2}$  erst unter der Einwirkung einer angelegten Spannung einen Kurzschluss gegen Masse verursacht.

- s) Der Fehler liegt mit grosser Wahrscheinlichkeit am Schwingkreis. Eine optische Kontrolle ergibt, dass der Kreiskondensator  $C_k$  infolge eines Drahtbruches nicht angeschlossen ist.
- t) *Diagnose:*
- Der Fehler kann im Eingangs- oder im Ausgangsbandfilter liegen
  - Es kann auch eine zusätzliche Gegenkopplung durch einen Unterbruch im Emitterkondensator  $C_E$  auftreten.

*Vorgehen:*

- Deutet die Diagnose mehrere mögliche Fehlerquellen an, so soll immer die wahrscheinlichste oder die am einfachsten zu überprüfende Fehlermöglichkeit überprüft werden. Beide möglichen Ursachen der Panne sind gleich wahrscheinlich. Das richtige Funktionieren des Emitterkondensators lässt sich einfacher überprüfen. Wir überbrücken diesen mit einem Kondensator gleicher Kapazität und beobachten dabei die Ausgangsspannung. Diese steigt sprunghaft an, was auf einen Defekt in  $C_E$  hinweist. Der Kondensator wird ausgewechselt und überprüft. Er weist keine Kapazität mehr auf.

## 19. Was wissen Sie schon über HF-Leistungsverstärker?

Antworten zu den Fragen a bis f (Seite 211)

- a) Der C-Verstärker verstärkt nur eine Halbwelle des Steuersignals und diese erst noch unvollständig. Der resultierende Anodenstrom weist einen impulsförmigen Charakter auf, was einen hohen Oberwellenanteil zur Folge hat.
- b) Der Röhrenverstärker im C-Betrieb wird in das positive Gitterspannungsbereich hinein gesteuert. Der dadurch verursachte Gitterstrom muss vom Steuersignal aufgebracht werden. Das Produkt aus Gitterstrom und positiver Steuerspannung ergibt die Steuerleistung.
- c) Es fliesst kein Anodenstrom.
- d) Ja, viele transistorisierte Geräte verwenden einen Transistor in der C-Endstufe.
- e) Nein, da der C-Verstärker Oberwellen erzeugt, ist er für Niederfrequenzverstärker ungeeignet. Die im C-Betrieb auftretenden Verzerrungen hätten einen untragbar grossen Klirrfaktor zur Folge.
- f) Der Arbeitspunkt beim C-Verstärker liegt negativer als der Cut-off-Punkt. Die Fragen a, c, e und f sollten Sie aufgrund Ihrer Kenntnisse richtig beantworten können.

## 20. Repetitionsaufgaben zu «V. Der Hochfrequenzleistungsverstärker»

Antworten zu den Fragen a bis n (Seite 225)

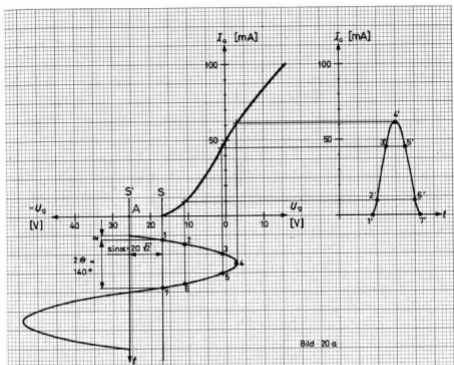


Bild 20 a

Bild zu 20 a

a) Vorgehen:

1. Schritt: Bestimmen der Gittervorspannung

- Der Cutoff-Punkt liegt bei  $-17$  V. Senkrechte S durch den Cutoff-Punkt ziehen.
- Sinus des Komplementwinkels  $\alpha$  zum Stromflusswinkel bestimmen.
- Grundformel anschreiben  $\alpha = 90^\circ - \ominus$
- Zahlenwerte einsetzen  $\alpha = 90^\circ - 70^\circ$   
und ausrechnen  $\alpha = 20^\circ$
- $\sin \alpha$  bestimmen  $\sin \alpha = 0,342$



- Grundformel für  $-U_g = -17 \text{ V} - u_g \cdot \sqrt{2} \cdot \sin \alpha$   
 $-U_g$  anschreiben
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen  $-U_g = -17 - 20 \cdot \sqrt{2} \cdot 0,342$   
 $-U_g = -26,67 \text{ V}$

## 2. Schritt: Konstruktion der Steuerspannung

- Arbeitspunkt A einzeichnen
- Senkrechte  $S'$  durch Arbeitspunkt A legen
- Gitterwechselspannungssignal 20 V eff einzeichnen

## 3. Schritt: Konstruktion des Anodenstromes

- Durch Projektion der Punkte 1..7 über die  $I_a-U_g$ -Kennlinie in das  $I_a-t$ -Diagramm erfolgt die Konstruktion der Kurve des Anodenstromes.

- b) Der Stromflusswinkel entspricht der Hälfte der Zeit während welcher ein Anodenstrom fließt.
- c) Der Ausgangsstrom des C-Verstärkers ist sehr oberwellenreich. Mit Hilfe eines Schwingkreises lässt sich eine gewünschte Harmonische herausfiltern und in der folgenden Stufe verstärken.
- d) Die unerwünschten Harmonischen werden durch den Ausgangsschwingkreis unterdrückt.
- e) Mit der Neutralisation werden die schädlichen Auswirkungen der Gitter-Anodenkapazität neutralisiert. Über diese Kapazität gelangt ein Teil des Ausgangssignals auf den Eingang zurück, wodurch eine Selbsterregung eintreten kann. Über dem symmetrisch aufgebauten Ausgangsschwingkreis wird eine Spannung abgenommen, die zur Anodenwechselspannung um  $180^\circ$  in der Phase verschoben ist. Diese Spannung wird über  $C_N$  auf das Gitter zurückgeführt und kompensiert dort die über die Gitter-Anodenkapazität auf das Gitter gelangende Spannung.  $C_N$  ist abgleichbar und wird so eingestellt, dass sich die beiden Spannungen gegenseitig aufheben.
- f) Der Treiberkreis wird auf Gitterstrommaximum abgestimmt, wobei die Verstärkung der Treiberstufe so einzustellen ist, dass der vorgeschriebene Gitterstrom fließt. Der Anodenkreis wird auf Anodenstrommaximum abgeglichen. Die Kopplung wird auf Antennenstrommaximum eingestellt, wobei zu beachten ist, dass der Anodenstrom den maximal zulässigen Wert nicht überschreitet. Da die Abstimmkreise einer gewissen gegenseitigen Beeinflussung unterworfen sind, müssen die Abstimmarbeiten solange wiederholt werden, bis keine wesentlichen Abweichungen in der Anzeige mehr feststellbar sind.
- g) Mit dem  $\pi$ -Filter lassen sich beliebige Verbraucher an die Enstufe anpassen. Da es als Tiefpassfilter ausgebildet ist, werden die Oberwellen wirksam unterdrückt.

- h) **Diagnose:** Der Fehler muss am Anodenschwingkreis, am Kopplungskondensator  $C_a$  oder an der Drosselspule  $Dr_4$  liegen. Der Anodenschwingkreis oder die Drossel  $Dr_4$  können einen Kurzschluss aufweisen. Der Kondensator  $C_a$  könnte unterbrochen sein. Das Gerät ist auszuschalten. Die genannten Bauelemente sind visuell zu überprüfen.
- i) Wir überprüfen an der Anode Punkt 4 mit dem HF-Röhrenvoltmeter die HF-Spannung. Da eine HF-Spannung vorhanden ist, dürften weder der Ausgangskreis noch die Speisedrossel einen Kurzschluss aufweisen, da sonst die Anode hochfrequenzmässig geerdet wäre und sich dadurch keine HF-Spannung aufbauen könnte. Es bleibt die Möglichkeit eines Unterbruches des Kopplungskondensators  $C_a$ . Wir schalten das Gerät aus und löten einen Kondensator gleicher Kapazität – Prüfspannung beachten – parallel zu  $C_a$ . Nach erneuter Inbetriebnahme des Senders lässt sich dieser einwandfrei abstimmen.  $C_a$  ist definitiv auszuwechseln.
- k) Der Fehler muss im Antennenkreis liegen. Gerät ausschalten, Antennenkreis visuell überprüfen.
- l) Der Antennenkreis wird mit dem Ohmmeter durchgemessen. Dabei stellen Sie fest, dass das Antennenstrominstrument einen Unterbruch aufweist. Das Instrument ist zu ersetzen.
- m) Ein Thermoinstrument misst unabhängig von der Kurvenform den Effektivwert.
- n) **Diagnose:** Die Enstufe arbeitet einwandfrei. Es lässt sich jedoch keine Leistung auskoppeln. Der Senderausgang scheint kurzgeschlossen zu sein, wobei der Kurzschluss vor dem Antennenstrominstrument  $I_{HF}$  liegen muss, da dieses keinen Strom anzeigt. Eine visuelle Kontrolle des Ausgangskreises ergibt einen Plattenschluss des Ausgangskondensators  $C_A$ .

## 21. Was wissen Sie schon über Oszillatoren?

Antworten zu den Fragen a bis g (Seite 227)

- a) Der Oszillator besteht aus einem frequenzbestimmenden Element, einem Verstärker und der Rückkopplungsschaltung.
- b) Damit ein Oszillator schwingt, müssen die Phasenbedingung und die Amplitudenbedingung erfüllt sein.
- c) Der Quarzoszillator ist in seiner Frequenz viel stabiler als ein Oszillator mit Schwingkreis.
- d) Der Quarzoszillator schwingt nur mit der Frequenz des Quarzes, soll die Frequenz geändert werden, so ist der Quarz auszuwechseln. Dies ist ein Nachteil gegenüber dem Oszillator mit einem Schwingkreis, da der Schwingkreis ein kontinuierliches Verändern der Frequenz erlaubt.
- e) Eine Tunnelodiode ist eine spezielle Halbleiterdiode, die in einem Teil ihres Arbeitsbereiches einen negativen Innenwiderstand aufweist.

- f) Bei einem Oszillator mit einer Tunneldiode wird der negative Innenwiderstand der Diode parallel zum Schwingkreis geschaltet. Dadurch wird der Schwingkreis entdämpft und beginnt zu schwingen.
- g) Bei einem Röhrenoszillator lässt sich das richtige Funktionieren durch eine Gitterstrommessung nachweisen. Beim transistorisierten Oszillator wird zur Kontrolle die erzeugte HF-Spannung mit einem Röhrenvoltmeter gemessen oder direkt mit einem Oszillografen nachgewiesen.

**Bewertung:**

Die Fragen e und f sollten Sie aufgrund Ihrer bis anhin erworbenen Kenntnisse beantworten können.

## 22. Repetitionsaufgaben zu «VI. Oszillatoren»

Antworten zu den Fragen a bis s (Seite 253)

- a) Man spricht von Rückkopplung, wenn ein Teil des Ausgangssignales eines Verstärkers so auf den Eingang zurückgeführt wird, dass Selbsterregung auftritt. Die Phasenlage des rückgekoppelten Signals muss dabei so sein, dass diese das Eingangssignal unterstützt.
- b) Soll ein rückgekoppelter Verstärker schwingen, so müssen die Phasenbedingung und die Amplitudenbedingung erfüllt sein.
- c) Die Phase des rückgekoppelten Signals muss genau mit der Phase des Eingangssignals übereinstimmen, damit der Oszillator schwingt.
- d) Das Produkt aus Rückkopplungsfaktor und Stufenverstärkung ergibt beim schwingenden Oszillator den Wert Eins. Dieser Wert wird durch die automatische Amplitudenstabilisierung stabil gehalten.
- e) Die Amplitude der erzeugten Wechselspannung wird über die automatische Gittervorspannung stabil gehalten. Der im schwingenden Zustand auftretende Gitterstrom erzeugt über dem Gitterableitwiderstand die automatische Gittervorspannung. Je kräftiger der Oszillator schwingt, desto grösser wird die Gittervorspannung. Eine grosse Gittervorspannung verschiebt den Arbeitspunkt der Röhre in den Bereich der kleineren Steilheit, wodurch die Stufenverstärkung herabgesetzt wird. Der Arbeitspunkt stellt sich bei diesem Regelvorgang automatisch so ein, dass das Produkt aus Rückkopplungsfaktor und Verstärkung gleich Eins wird.
- f)

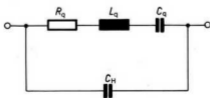


Bild zu 22 f

- g) Die Serienresonanzfrequenz des Quarzes ist gegeben durch seine Induktivität  $L_q$  und die Seriiekapazität  $C_q$ . Im Resonanzfall ist nur noch der Verlustwiderstand  $R_q$  wirksam. Die Parallelresonanzfrequenz ergibt sich aus der Serienschaltung der Seriiekapazität  $C_q$  mit der Halterungskapazität  $C_H$ , die parallel zur Quarzinduktivität liegen. Für die Parallelresonanz verhält sich der Quarz wie ein Schwingkreis, der über einen kapazitiven Spannungsteiler angezapft wird.
- h) Der Schwingquarz weist eine viel bessere Güte auf und ist in bezug auf die Frequenz viel stabiler als ein Schwingkreis bestehend aus Spule und Kondensator.
- i) Die Parallel- und die Seriieresonanzfrequenz des Quarzes lassen sich durch Parallel- und Serieschaltung von Blindwiderständen in engen Grenzen beeinflussen.

k)

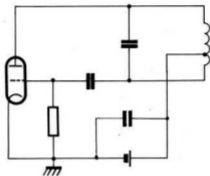


Bild zu 22 k

l)

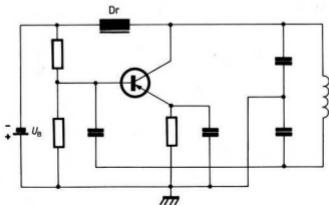


Bild zu 22 l

- m) Beim Huth-Kühn-Oszillator erfolgt die Rückkopplung über die Gitter-Anodenkapazität der Röhre.
- n) Beim Huth-Kühn-Oszillator bestehen Gitter- und Anodenkreis aus Schwingkreisen, beim Pierce-Oszillator dagegen wird der Gitterschwingkreis durch einen Quarz ersetzt.
- o) Befindet sich der Quarz im Rückkopplungskreis, so schwingt der Oszillator mit der Seriersonanzfrequenz des Quarzes, da nur Signale mit der Seriersonanzfrequenz den Quarz passieren und auf den Verstärkereingang gelangen können.
- p) Der Clapp-Oszillator ist infolge der sehr losen Ankopplung des frequenzbestimmenden Serieschwingkreises an den Verstärker sehr frequenzstabil.
- q) Die einfachste Kontrolle, ob ein Röhrenoszillator schwingt, erfolgt über die Messung des Gitterstromes.
- r) Die Kontrolle, ob ein transistorisierter Oszillator schwingt, erfolgt am besten über den Nachweis der erzeugten Wechselfspannung mit einem HF-Röhrenvoltmeter oder einem HF-Katodenstrahloszillografen.
- s) Die Bestimmung der Frequenz eines Oszillators erfolgt über eine Vergleichsmessung. Die unbekannte Oszillatorfrequenz wird dem Eingang eines Oszillografen zugeführt, der Eingang wird mit dem Signal eines Messsenders gespiesen. Sobald sich auf dem Bildschirm ein Kreis oder eine Ellipse einstellt, stimmen die beiden Frequenzen überein.

Kathodenstrahloszillograf

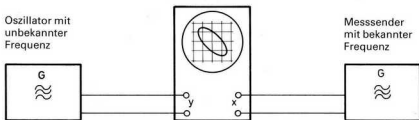


Bild zu 22 s

## 23. Was wissen Sie schon über Mischstufen?

Antworten zu den Fragen a bis f (Seite 254)

- a) Nein, an einem Ohmschen Widerstand treten keine Mischprodukte auf.
- b) Das Bauelement muss eine nichtlineare Strom-Spannungskennlinie aufweisen, damit eine Mischung zustande kommt.

- c) Ja, Röhren werden sogar sehr oft in Mischstufen eingesetzt.
- d) Ja, es handelt sich bei diesen Mischröhren meistens um Mehrgitterröhren.
- e) In Mischstufen werden oft Dioden und Transistoren zur Mischung verwendet.
- f) Ein unerwünschter Mischeffekt äusserst sich in Niederfrequenzverstärkern oft als Intermodulation.

Die Aufgaben c, d, e und f sollten Sie aufgrund Ihres bis dahin erworbenen Wissens beantworten können.

## 24. Repetitionsaufgaben zu «VII. Mischstufen»

Antworten zu den Fragen a bis o (Seite 265)

- a) Das Bauelement muss eine nichtlineare Strom-Spannungskennlinie aufweisen, damit eine Mischung zustande kommt.
- b) Additive Mischung liegt dann vor, wenn die beiden zu mischenden Signale in Serie am nichtlinearen Element liegen.
- c) Trioden, Transistoren und Dioden werden vorwiegend in Mischstufen für additive Mischung eingesetzt.
- d) Wenn die zu mischenden Signale parallel einem nichtlinearen Element über verschiedene Elektroden zugeführt werden, liegt multiplikative Mischung vor.
- e) Für die multiplikative Mischung werden spezielle Mischröhren – es handelt sich dabei um Mehrgitterröhren wie Hexoden, Heptoden und Oktoden – hergestellt.
- f) Beim Ringmodulator wird der Träger unterdrückt, dabei entstehen nur eine beschränkte Anzahl Seitenbänder.
- g) Der Träger wird im Ringmodulator nur dann unterdrückt, wenn dieser absolut symmetrisch aufgebaut ist.
- h) Bei der additiven Mischung mit einer Triode ist die Rauschspannung geringer als bei einer Mischstufe mit Mehrgitterröhre. Deshalb sind Mischstufen mit Trioden oft in Empfängereingangsschaltungen anzutreffen.
- i) Bei einer Mischschaltung mit Mehrgitterröhren ist die Entkopplung zwischen den beiden Eingangssignalen bedeutend wirksamer als bei Verwendung einer Triodenschaltung.
- k) Die Vermutung liegt nahe, dass eine Diode defekt ist. Die Dioden werden einseitig abgelötet und mit dem Ohmmeter in Sperr- und Durchlassrichtung durchgemessen. Diese Messung darf nicht an den angeschlossenen Dioden vorgenommen werden, da infolge von Parallelschaltungen über die Transformatorwicklungen falsche Werte gemessen würden.
- l) In einem ersten Schritt werden die Gleichspannungswerte am Transistor überprüft. Sind diese in Ordnung, so werden Eingangs- und Ausgangssignale mit dem Röhrenvoltmeter verfolgt.
- m) Zuerst müssen die Gleichspannungswerte überprüft werden.

- n) Wir kontrollieren, ob die Signale  $U_1$  und  $U_2$  an der Röhre vorhanden sind. Eine Messung mit dem HF-Röhrenvoltmeter ergibt, dass an den Punkten 1 und 2 die Signale mit dem richtigen Pegel vorhanden sind. Das Mischsignal an Punkt 3 ist dabei zu schwach. Ein Test mit dem Messing-Ferritstab am Kern der Ausgangsspule  $L_a$  zeigt, dass der Ausgangskreis sauber abgestimmt ist und sehr selektiv reagiert.
- o) Die Röhre verstärkt zuwenig, die Mischsteilheit ist zu gering. Der Fehler kann an der Röhre selber liegen, was jedoch eher unwahrscheinlich ist, da die Gleichstromwerte stimmen. Ein Unterbruch im Katodenkondensator  $C_k$  könnte den gleichen Effekt verursachen, da dann eine starke Gegenkopplung auftreten würde. Eine Kontrolle von  $C_k$  bestätigte die Diagnose, er wies keine Kapazität mehr auf. Nachdem der Katodenkondensator ersetzt worden ist, funktionierte die Mischstufe wieder einwandfrei.

## 25. Was wissen Sie schon über Modulationsarten und Demodulatoren?

Antworten zu den Fragen a bis n (Seite 266)

- a) Die Frequenzmodulation erlaubt eine qualitativ bessere Übertragung, da sie bedeutend weniger störanfällig ist. Amplitudenstörungen lassen sich weitgehend unterdrücken. Störungen, die von Nachbarsendern oder von Sendern – die auf der gleichen Frequenz arbeiten – verursacht werden, treten viel weniger in Erscheinung als bei Amplitudenmodulation.
- b) Der Modulationsgrad ist ein Mass für die Modulationstiefe amplitudenmodulierter Signale. Er wird in Prozenten angegeben. Für eine unverzerrte Wiedergabe ist ein maximaler Modulationsgrad von 100% möglich.
- c) Ja, bei der Amplitudenmodulation entstehen symmetrisch zum Träger Seitenbänder. Ihr Abstand vom Träger entspricht der Frequenz des Modulationssignals und ihre Amplitude ist vom Modulationsgrad abhängig, wobei bei 100% Modulationsgrad je ein Viertel der Leistung in jedem Seitenband und ein Zweitel im Träger investiert sind.
- d) Ein frequenzmoduliertes Signal lässt sich in der Amplitude begrenzen, womit alle Amplitudenstörungen stark herabgesetzt werden. Dank der grösseren Bandbreite, die für FM-Sendungen zur Verfügung steht, kann ein grösseres Niederfrequenzspektrum übertragen werden. Dadurch wird die Übertragung naturgetreuer.
- e) Ja, jedes frequenzmodulierte Signal erzeugt unendlich viele Seitenbänder. Diese haben untereinander einen gleichmässigen Abstand, der der Modulationsfrequenz entspricht.
- f) Der Modulationsindex ist das Verhältnis des Frequenzhubes zur höchsten Modulationsfrequenz.
- g) Die Bandbreite eines amplitudenmodulierten Signals hängt von der höchsten Modulationsfrequenz ab. Die erforderliche Bandbreite ist doppelt so gross wie die höchste zu übertragende Modulationsfrequenz.

- h) Ein einfacher Demodulator für amplitudenmodulierte Sendungen besteht aus einem abgestimmten Schwingkreis, einer Diode und einem Arbeitswiderstand mit Ladecondensator.
- i) Die Tatsache, dass die Phasenverschiebung zwischen der Primärspannung und der Sekundärspannung eines induktiv kritisch oder unterkritisch gekoppelten Bandfilters im Resonanzfall  $90^\circ$  beträgt, und dass diese Phasenverschiebung sich bei Abweichungen von der Resonanzfrequenz ändert, macht sich der Phasendiskriminator zunutze.
- k) Beim Einseitenbandsignal wird nur ein Seitenband abgestrahlt, im Gegensatz zum amplitudenmodulierten Signal, wo der Träger und beide Seitenbänder ausgesendet werden.
- l) Zur Demodulation eines Einseitenbandsignales ist es notwendig, dass im Empfänger der unterdrückte Träger wieder zugesetzt wird. Einseitenbandsignale werden deshalb in einer Mischstufe mit einem Signal gemischt, das die gleiche Frequenz aufweist wie der unterdrückte Träger. Am Ausgang der Mischstufe wird das Differenzsignal – das dem Modulationssignal entspricht – weiter verwendet.

m)

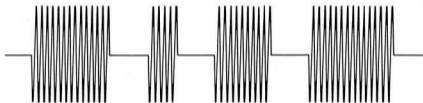


Bild zu 25 m

- n) Ein tonloses Telegrafiesignal wird demoduliert, indem man dieses in einer Mischstufe mit einem Signal mischt, dessen Frequenz um den Betrag von der Signalfrequenz abweicht, der der gewünschten Niederfrequenz des Signals entspricht.

*Bewertung:*

Die Fragen c und g sollten Sie aufgrund Ihrer Kenntnisse über Modulatoren beantworten können.

## 26. Repetitionsaufgaben zu «VIII. Demodulatoren»

Antworten zu den Fragen a bis ai (Seite 303)

- a) Zwischen Amplitudenmodulation und Mischung besteht kein grundsätzlicher Unterschied.



- b) Der Modulationsgrad ist ein Mass für die Modulationstiefe amplitudenmodulierter Signale. Er wird in Prozenten gemessen.

c)

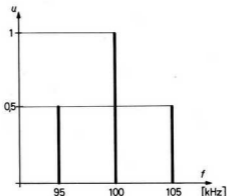


Bild zu 26 c

- d) Auf den Träger entfallen zwei Drittel der in der Endstufe erzeugten Leistung.  
 e) Die Demodulation eines amplitudenmodulierten Signals erfolgt durch Gleichrichtung.

f)

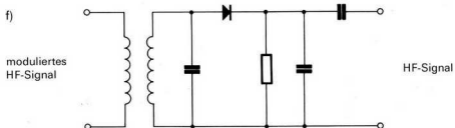


Bild zu 26 f

- g) Einseitenbandmodulation ist eine Amplitudenmodulation, bei der nur ein Seitenband ausgestrahlt wird. Der Träger und das andere Seitenband werden im Sender unterdrückt.  
 h) Die Einseitenbandmodulation bietet folgende Vorteile:  
 – Die gesamte Leistung der Senderendstufe steht für ein einziges Seitenband zur Verfügung. Dadurch wird der Wirkungsgrad versechsfacht.

- Ein Einseitenbandsignal beansprucht nur die halbe Bandbreite gegenüber einem amplitudenmodulierten Signal.
- Einseitenbandmodulierte Signale sind unempfindlicher gegenüber selektivem Schwund.

- i) Der Träger wird im Einseitenbandsender in der Regel in einem Ring- oder Gegentaktmodulator unterdrückt.
- k) Zur Demodulation eines Einseitenbandsignals ist es notwendig, dass im Empfänger der unterdrückte Träger wieder zugesetzt wird. Einseitenbandsignale werden deshalb in einer Mischstufe – meistens in einem Gegentakt- oder Ringmodulator – mit einem Signal gemischt, das die gleiche Frequenz aufweist wie der unterdrückte Träger. Am Ausgang der Mischstufe entsteht ein Differenzsignal und ein Summensignal. Das Differenzsignal entspricht dem ursprünglichen Modulationssignal und wird weiter verarbeitet, während das Summensignal in einem Tiefpassfilter unterdrückt wird.
- l) Zur Demodulation von Einseitenbandsignalen werden symmetrische Mischstufen verwendet. Am gebräuchlichsten sind Ring- und Gegentaktmodulatoren.
- m) Einseitenbandempfänger müssen sehr frequenzstabil sein, da bereits eine geringe Frequenzverwerfung untragbare Modulationsverzerrungen verursacht.
- n) Bei der tonlosen Telegrafie wird der Träger im Rhythmus der Fernschreiber oder Morsezeichen getastet.
- o) Ein tonloses Telegrafiesignal wird demoduliert, indem man dieses in einer Mischstufe mit einem zweiten Signal mischt, dessen Frequenz um den Betrag von der Empfangsfrequenz abweicht, der der gewünschten Niederfrequenz des Signals entspricht. Als Demulatoren eignen sich Gegentakt- oder Ringmodulatoren. Meistens wird jedoch ein gewöhnlicher A3-Demodulator verwendet, dem man das Signal des Telegrafieüberlagerers kapazitiv oder induktiv eingekoppelt hat. An der nichtlinearen Kennlinie des Gleichrichters werden dabei Empfangssignal und Überlagerungssignal gemischt.
- p) Die Tonhöhe des demodulierten A1-Signals hängt von der Frequenzdifferenz zwischen Empfangssignal und Überlagerungssignal ab. Durch entsprechende Wahl der Frequenz des Überlagerungssignals lässt sich die Tonhöhe frei bestimmen.
- q) Bei einem frequenzmodulierten Sender steigt der Frequenzhub linear mit der Amplitude des Modulationssignals an.
- r) Unter Frequenzhub versteht man die zur jeweiligen Modulationsspannung symmetrische Frequenzänderung der Trägerfrequenz.
- s) Der Modulationsindex ist das Verhältnis des Frequenzhubes zur höchsten Modulationsfrequenz. Er ist ein Mass für die Qualität der Übertragung.
- t) Bei der Frequenzmodulation entstehen unendlich viele Seitenbänder. Der Abstand zwischen diesen Seitenbändern entspricht der Modulationsfrequenz. Um eine qualitativ gute Übertragung zu gewährleisten, müssen empfängerseitig alle Seitenbänder verarbeitet werden, welche in der Amplitude grösser als ein Prozent der unmodulierten Trägeramplitude sind. Sei-

tenbänder, die diese Bedingung erfüllen, liegen weiter vom Träger entfernt als der Senderhub überstreicht. Dadurch wird die erforderliche Empfängerbandbreite grösser als der Hub.

- u) Frequenzmodulation und Phasenmodulation bedingen sich gegenseitig. Bei der Phasenmodulation wird die Phase des Trägersignals im Rhythmus des Modulationssignals verändert. Die daraus entstehende Frequenzmodulation weist einen Hub auf, der bei gleichbleibender Amplitude des Modulationssignals linear mit der Modulationsfrequenz ansteigt. Frequenzmodulation ist eigentlich nur ein Sonderfall der Phasenmodulation, der dann vorliegt, wenn der Hub für alle Modulationsfrequenzen bei gleicher Amplitude des Modulationssignals konstant bleibt.  
Man beachte: die Frequenzmodulation wird am HF-Oszillator, die Phasenmodulation dagegen im Verstärker bzw. Phasenschieber erzeugt.
- v) Jeder FM-Sender (auch mit quartzgesteuertem Oszillator) kann Phasenmoduliert werden.
- w) Jedes frequenzmodulierte Signal wird in einer ersten Stufe in ein amplitudenmoduliertes Signal umgewandelt und in einer zweiten Stufe durch Gleichrichtung demoduliert.
- x) Im Resonanzfall beträgt im unterkritisch gekoppelten Bandfilter die Phasenverschiebung zwischen Primärspannung und Sekundärspannung  $90^\circ$ .
- y) Die Umwandlung des frequenzmodulierten Signals in ein phasenmoduliertes Signal wird im Phasendiskriminator im Bandfilter vorgenommen. Zur induktiv eingekoppelten Sekundärspannung wird eine kapazitiv eingekoppelte Spannung in Serie geschaltet. Die Phase der kapazitiv eingekoppelten Spannung wird von der Frequenz praktisch nicht beeinflusst. Die Phase der induktiv übertragenen Spannung ist jedoch stark frequenzabhängig. Im Resonanzfall erhalten beide Dioden gleich grosse Spannung. Für Signale ausserhalb der Resonanzfrequenz wird die Phase der induktiv eingekoppelten Spannung gedreht, wodurch die Spannungen an den Dioden ungleich gross werden. Die Differenzspannung tritt am Diskriminatorausgang als Modulationssignal auf.
- z) Der Unterschied zwischen dem Phasendiskriminator und dem Ratiidetektor liegt primär in der Schaltung der Gleichrichter. Der Ratiidetektor ist als Brücke geschaltet, wobei die Dioden in Serie liegen. Das Ausgangssignal fällt an einem Widerstand ab, der in der Brückendiagonale liegt. Der Ratiidetektor wirkt gleichzeitig als Begrenzer, da seine Gleichrichterdioden dem Sekundärkreis parallel liegen und diese einen Innenwiderstand aufweisen, der aussteuerungsabhängig ist.
- aa) Der Vorteil des Ratiidetektors gegenüber dem Phasendiskriminator liegt darin, dass der Ratiidetektor begrenzt und somit eine Begrenzerstufe einspart.
- ab) Der Nachteil des Ratiidetektors äussert sich in der kleineren Ausgangsspannung. Er verlangt eine höhere Niederfrequenzverstärkung als der Phasendiskriminator.

- ac) Der Innenwiderstand der Gleichrichterioden sinkt bei zunehmender Eingangsspannung ab. Die Diodinnenwiderstände liegen beim Verhältnisdiskriminator hochfrequenzmässig parallel zum Sekundärkreis. Ein grosses Eingangssignal bewirkt ein Absinken der Innenwiderstände der Dioden, womit der Sekundärkreis stärker bedämpft wird und die Spannung begrenzt wird.
- ad) Wir messen zuerst die Richtspannung am Lastwiderstand  $R$ .
- ae) Bei fehlender Richtspannung ist entweder die Diode defekt oder der Sekundärkreis ist unterbrochen oder kurzgeschlossen.
- af) Das Verschwinden des Rauschens im Rhythmus der Telegrafiesignale deutet darauf hin, dass diese im Demodulator gleichgerichtet werden. Es findet jedoch keine Mischung statt, was vermuten lässt, dass das Signal des Telegrafieüberlagerers nicht zum Demodulator gelangt.
- ag) Am Diskriminatoreingang wird ein Messsender angeschlossen. Zwischen dem Ausgang NF und der Masse schliessen wir ein Gleichspannungsröhrenvoltmeter an und stellen den Zeiger auf Skalenmitte. Der Messsender wird eingeschaltet und die Frequenz des Diskriminators eingestellt. Der Resonanzfall wird dadurch angezeigt, dass das Röhrenvoltmeter keine Spannung anzeigt, der Zeiger steht in der Skalenmitte. Jede Abweichung von der Resonanzfrequenz verursacht einen Ausschlag am Röhrenvoltmeter. Wir entfernen uns so weit von der Resonanzfrequenz, bis der Ausschlag wieder Null wird. Jetzt nähern wir uns in kleinen Schritten der Resonanzfrequenz und zeichnen für jeden Frequenzwert den gemessenen Spannungswert mit der entsprechenden Polarität auf. Bei der Resonanzfrequenz wird die Spannung wieder Null, um mit umgekehrter Polarität anzusteigen, sobald wir uns in umgekehrter Richtung von der Resonanzfrequenz entfernen. Die Diskriminatoreurve muss einen S-förmigen Verlauf aufweisen.
- ah) De-Emphasis ist eine im Empfänger vorgenommene Korrektur des Frequenzganges des Niederfrequenzverstärkers. Bei frequenzmodulierten Übertragungen werden die hohen Modulationsfrequenzen überbetont, da dabei die Übertragungsqualität besser wird. Diese Höhenanhebung der Sendung muss im Empfänger durch eine Höhenabsenkung rückgängig gemacht werden.
- ai)  $R_5$  und  $C_5$  bilden einen Tiefpass. Sie dienen der De-Emphasis.

## 27. Was wissen Sie schon über den Begrenzer?

Antworten zu den Fragen a bis f (Seite 305)

- a) Eine Diode, die als Begrenzer wirkt, arbeitet entweder mit oder ohne Vorspannung in Sperrichtung. Erreicht der Scheitelwert des zu begrenzenden Signales den Wert der Diodenvorspannung, so beginnt die Diode zu leiten. Gleichzeitig sinkt ihr Innenwiderstand ab, das Signal wird ab diesem Pegel kurzgeschlossen. Siliziumdioden werden oft ohne Vorspannung als Begrenzer betrieben. Sobald das Eingangssignal den Schwellwert der Diodenspannung erreicht, sinkt der Innenwiderstand ab und das Signal wird ab diesem Pegel kurzgeschlossen.

nung erreicht, beginnt die Diode zu leiten und schliesst dadurch das Signal kurz, was eine Begrenzung verursacht.

- b) Ja, jeder Röhren- oder Transistorverstärker kann als Begrenzer wirken. Sobald ein Verstärker übersteuert wird, beginnt er zu begrenzen. Auf diesem Vorgang beruht das Begrenzerprinzip.
- c) Die Information hat ihren Sitz bei einem amplitudenmodulierten Signal in der Signalamplitude. Eine Begrenzung des Signals würde die Modulation beeinträchtigen oder in Extremfällen sogar auslöschen.
- d) Der Begrenzer muss sofort ohne Zeitverzug ansprechen. Eine geregelte HF-Verstärkerstufe weist immer eine unvermeidbare Zeitkonstante auf. Dieser Umstand macht sie als Begrenzer ungeeignet.
- e) Der Ratiodektor (Verhältnisgleichrichter) wirkt zusätzlich zu seiner Aufgabe als Diskriminator noch als Begrenzer.
- f) Nein, jede Amplitudenstörung verursacht eine Phasenstörung, die als Störimpuls hörbar wird.

#### *Bewertung:*

Die Fragen a und e sollten Sie aufgrund Ihrer Ausbildung beantworten können. Die Frage b sollten Sie dank logischer Überlegung richtig beantworten können.

## **28. Repetitionsaufgaben zu «IX. Begrenzer»**

Antworten zu den Fragen a bis m (Seite 315)

- a) Der Begrenzer soll Amplitudenstörungen in FM-Empfängern unterdrücken.
- b) Nein, jede Amplitudenstörung verursacht eine gewisse Phasenstörung, die sich nach der Demodulation in einem Diskriminator als Störimpuls äussert.
- c) Halbleiterdioden weisen einen gewissen Schwellwert auf. Will man Spannungen auf diesen Schwellwert begrenzen, so müssen die Dioden nicht vorgespannt sein.
- d) Dank einer kleinen Schirmgitter- und Anodenspannung wird der Aussteuerbereich von Pentoden stark eingeengt, wodurch die Begrenzerwirkung schon bei kleinen Eingangssignalen einsetzt.
- e) Dieses RC-Glied passt die Gittervorspannung des Begrenzers weitgehend dem Eingangssignal an. Mit steigendem Eingangssignal nimmt der Gitterstrom und damit die Gittervorspannung zu. Man erreicht dadurch eine gleichmässige Begrenzung aller Signale.
- f) Die durch die Begrenzung verursachten Oberwellen werden im Anodenschwingkreis unterdrückt, da dieser für die Oberwellen eine geringe Impedanz darstellt und diese somit kurzschliesst.
- g) Der Transistorbegrenzer weist nicht so gute Begrenzereigenschaften auf wie ein Röhrenbegrenzer. Zur Unterstützung der Begrenzerwirkung werden diese oft mit einem Diodenbegrenzer kombiniert.
- h) Der Transistorbegrenzer wirkt im Prinzip als übersteuerter Verstärker.

- i) Als erste Massnahme wird der Begrenzer statisch überprüft, indem die Gleichspannungswerte nachgemessen werden.
- k) Die Vermutung liegt nahe, dass sich der Defekt im Anodenschwingkreis befindet.  $L_3$  und  $C_6$  sind zu überprüfen.
- l) Als erste Massnahme wird der Begrenzer statisch überprüft, indem die Gleichspannungswerte nachgemessen werden.
- m) Der Widerstand  $R_8$  und die Spule  $L_5$  müssen auf ihren ohmschen Wert hin überprüft werden.

## 29. Was wissen Sie schon über amplitudenmodulierte Sender?

Antworten zu den Fragen a bis h (Seite 317)

a)

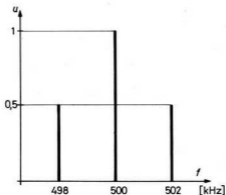


Bild 29 a

- b) Der Modulationsgrad ist ein Mass für die Tiefe der Modulation. Er entspricht dem Verhältnis von Niederfrequenzspannung zur Hochfrequenzspannung an einem amplitudenmodulierten Signal. Er wird in Prozenten gemessen.
- c) Die Seitenbänder treten im Abstand der Modulationsfrequenz symmetrisch zum Träger auf. In unserem Beispiel erscheinen diese  $\pm 6$  kHz zum Träger.
- d) Bei hundertprozentiger Modulation entfallen zwei Drittel der abgestrahlten Leistung auf den Träger.
- e) Die Bandbreite für ein amplitudenmoduliertes Signal entspricht dem doppelten Betrag der höchsten zu übertragenden Modulationsfrequenz. Dieser Wert ist gegeben durch die Tatsache, dass die Seitenbänder im Abstand der Modulationsfrequenz zum Träger erscheinen, und dass beide Seitenbänder übertragen werden müssen.

- f) Der höchst zulässige Modulationsgrad beträgt 100%. Wird stärker moduliert, so spricht man von Übermodulation. Die Übertragung wirkt dann verzerrt.
- g) Die Vorteile des Quarzoszillators sind seine grosse Frequenzgenauigkeit und Frequenzstabilität, sowie der einfache Aufbau.
- h) Als Nachteile des Quarzoszillators sind aufzuführen: Er lässt sich nicht frequenzmodulieren, bei einem Frequenzwechsel muss jeweils der Quarz ausgewechselt werden.

**Bewertung:**

Aufgrund Ihrer Vorbildung sollten Sie in der Lage sein, alle Fragen richtig zu beantworten.

### 30. Repetitionsaufgaben zu «I. Der amplitudenmodulierte Sender»

Antworten zu den Fragen a bis q (Seite 326)

- a) Die Anodenmodulation bringt eine gute Qualität der Übertragung, da sie infolge ihrer Linearität einen kleinen Klirrfaktor verursacht. Anodenmodulierte Sender lassen sich bis zu einem Modulationsgrad von 100% durchmodulieren.
- b) Der Modulator muss bei der Anodenmodulation die Seitenbandleistung aufbringen, womit er ungefähr eine halb so grosse Niederfrequenzleistung abzugeben hat, wie die Trägerleistung in unmoduliertem Zustand beträgt.
- c) Die Schirmgittermodulation benötigt nur eine geringe Niederfrequenzleistung.
- d) Die Schirmgittermodulation arbeitet infolge des nichtlinearen Zusammenhanges zwischen Schirmgitterspannung und Anodenstrom mit etlichen Verzerrungen. Die Endröhre kann nicht voll ausgenutzt werden, da die Schirmgitterspannung auf den halben Wert der zulässigen Spannung einreguliert werden muss.
- e) Infolge der Verzerrungen, die bei Schirmgittermodulation unweigerlich auftreten, kann diese nur für Sprachübertragung verwendet werden.
- f) Die Steuergittermodulation ist inbezug auf Klirrfaktor noch ungünstiger als die Schirmgittermodulation, weshalb sie nur bei Endtrioden zur Anwendung kommt.
- g) Der Zusammenhang zwischen Schirmgitterspannung und Anodenstrom ist nicht linear. Eine Verdoppelung der Schirmgitterspannung bringt nicht eine Verdoppelung des Anodenstromes. Dieser nichtlineare Zusammenhang zwischen den beiden Grössen verursacht Verzerrungen in der Modulation.
- h) Im C-Betrieb ist der Eingangswiderstand der Gitter-Katodenstrecke von der Aussteuerung abhängig. Während der Modulation am Gitter ist deshalb der Eingangswiderstand der Endstufe dauernden Schwankungen im Rhythmus der Modulationsspannung unterworfen. Diese Belastungsschwankungen bewirken Verzerrungen der Modulation.

- i) Die Kollektormodulation ist in ihrer Art mit der Anodenmodulation identisch.
- k) Durch die Rückwirkungen im Transistor vom Ausgang auf den Eingang würden Modulationsverzerrungen entstehen. Dem wirkt man entgegen, indem man die Vorstufe mitmoduliert.
- l) Die Treiberstufe hat die Leistung aufzubringen, die der Gitterkreis einer im C-Betrieb arbeitenden Endstufe verbraucht. Sie ist somit ein kleiner Leistungsverstärker.
- m) Das Antennenanpassgerät hat die Aufgabe, den Wellenwiderstand der Antenne an die Endstufe anzupassen und die Antenne elektrisch auf Resonanz abzustimmen.
- n) Der Vervielfacher arbeitet als übersteuerter Verstärker, um einen möglichst grossen Anteil an Oberwellen zu erzeugen. Oft ist er schaltungsmässig so ausgelegt, dass er als C-Verstärker wirkt, da der C-Verstärker ein kräftiges Oberwellenspektrum aufweist. Die gewünschte Oberwelle wird mit dem Ausgangsschwingkreis aus dem Frequenzspektrum herausgefiltert. Je höher die Oberwelle ist, desto geringer ist ihre Amplitude, die in der Regel nicht ausreicht, um eine Treiberstufe auszusteuern. Es wird deshalb zwischen dem Vervielfacher und der Treiberstufe ein Verstärker eingeschaltet.
- o) Bei einem Mehrbandsender bestimmt der Oszillator, der die Festfrequenzen erzeugt, das Band. Meistens handelt es sich dabei um einen Quarzoszillator.
- p) Beim Mehrbandsender werden die Frequenzen innerhalb des Bandes vom variablen Oszillator bestimmt.
- q) Ein Dynamikkompressor engt die Dynamik der Niederfrequenz ein. Dadurch erreicht man einen besseren Wirkungsgrad des amplitudenmodulierten Senders.

### 31. Was wissen Sie schon über frequenzmodulierte Sender?

Antworten zu den Fragen a bis i (Seite 327)

- a) Frequenzmodulation ist störungsarm, da Amplitudenstörungen im Empfänger unterdrückt werden. Gleichzeitig sind die Frequenzen im UKW-Gebiet bedeutend weniger störungsanfällig auf atmosphärische Störungen als Mittel-, Lang- und Kurzwellen.
- b) Ein frequenzmoduliertes Signal benötigt eine grosse Bandbreite. Frequenzmodulation kann deshalb nur in hohen Frequenzbereichen vernünftig eingesetzt werden. Hohe Frequenzen haben infolge ihres quasi optischen Verhaltens nur eine geringe Reichweite. Der empfängerseitige Aufwand ist grösser als bei Amplitudenmodulation.
- c) Der Frequenzhub ist die der jeweiligen Modulationsspannung proportionale Frequenzänderung symmetrisch zum Träger.
- d) Die Amplitude des Modulationssignals beeinflusst den Frequenzhub. Je grösser die Amplitude der Modulationsspannung, desto grösser der Frequenzhub.



- e) Nein, die Senderleistung eines FM-Senders bleibt unabhängig von der Modulation konstant.
- f) Nein, ein quarzgesteuerter Oszillator lässt sich nicht frequenzmodulieren, da die Frequenz durch die Daten des Quarzes gegeben ist. Die Frequenz eines Quarzes lässt sich wohl durch Zuschalten von Blindwiderständen beeinflussen, der Ziehbereich ist jedoch so gering, dass er sich nicht zur Frequenzmodulation ausnutzen lässt.
- g) Ja, ein Quarzoszillator kann phasenmoduliert werden, da bei der Phasenmodulation der Modulationsvorgang **nach** dem Oszillator in einem Modulator erfolgt, der die Phase des Signals steuert.
- h) Frequenzmodulation ist eigentlich ein Sonderfall der Phasenmodulation, der dann vorliegt, wenn für alle Modulationsfrequenzen bei gleichem Pegel der gleiche Frequenzhub entsteht.
- i) Ja, die Endstufe frequenzmodulierter Sender arbeitet infolge des erreichbaren hohen Wirkungsgrades meistens im C-Betrieb.

### *Bewertung:*

Die Fragen a bis h müssen Sie aufgrund Ihrer Ausbildung richtig beantworten können.

## **32. Repetitionsaufgaben zu «II. Der frequenzmodulierte Sender»**

Antworten zu den Fragen a bis q (Seite 337)

- a) Der Frequenzhub eines frequenzmodulierten Signals wird durch die Amplitude des Modulationssignals bestimmt.
- b) Die Modulationsfrequenz eines frequenzmodulierten Signals gibt an, wie oft pro Sekunde das Signal innerhalb des Frequenzhubes hin und her schwankt.
- c) Der Frequenzhub ist die der jeweiligen Modulationsspannung proportionale Frequenzänderung symmetrisch zum Träger.
- d) Der Modulationsindex ist das Verhältnis des Frequenzhubes zur höchsten Modulationsfrequenz. Je grösser der Index gewählt wird, desto besser ist die Übertragungsqualität.
- e) Nein, der Modulationsindex ändert sich mit der Frequenz und der Amplitude des Modulationssignals. Er lässt sich nur bestimmen, wenn beide Grössen konstant gehalten werden.
- f) Jedes frequenzmodulierte Signal besteht aus unendlich vielen Seitenbändern. Alle Seitenbänder, die amplitudenmässig ins Gewicht fallen, müssen im Empfänger verarbeitet werden, wenn die Übertragungsqualität gut sein soll. Für hohe Modulationsfrequenzen ergibt sich daraus ein Bedarf an Bandbreite, der grösser ist als der Frequenzhub.
- g) Bei der Frequenzmodulation wird die Oszillatorfrequenz durch das Modulationssignal über einen steuerbaren Blindwiderstand direkt beeinflusst. Der Frequenzhub ist dabei proportional der Amplitude des Modulationssignals.

Die Frequenz des Modulationssignals hat keinen Einfluss auf den Frequenzhub.

Bei der Phasenmodulation wird die Phase des Oszillatorsignals durch das Modulationssignal über eine gesteuerte Phasenbrücke beeinflusst. Der Phasenhub ist dabei proportional zur Amplitude des Modulationssignals. Die dabei auftretende Frequenzmodulation weist einen Frequenzhub auf, der von der Amplitude des Modulationssignals **und** dessen Frequenz abhängig ist. Ein Ansteigen der Modulationsfrequenz hat eine proportionale Zunahme des Frequenzhubes zur Folge. Frequenzmodulation ist demzufolge ein Sonderfall der Phasenmodulation, der dann vorliegt, wenn der Frequenzhub bei gleichbleibendem Pegel des Modulationssignals für alle Modulationsfrequenzen denselben Wert beibehält. Welche Modulationsart, ob Frequenz- oder Phasenmodulation, kann nur erkannt werden, wenn die Modulationsfrequenz variiert wird.

- h) Die Frequenz des quartzesteuerten Oszillators ist durch den Quarz gegeben. Sie lässt sich durch Zuschalten von Blindwiderständen in ganz engen Grenzen beeinflussen. Diese reichen jedoch nicht aus, um einen Quarzoszillator direkt in der Frequenz modulieren zu können.
- i) Das feste Oszillatorsignal wird mit einem Phasenmodulator in der Phase moduliert. Der dabei entstehende Phasenhub bedingt zugleich eine Frequenzmodulation. Um den geforderten Frequenzhub zu erreichen, muss das phasenmodulierte Signal in seiner Frequenz vervielfacht werden.
- k) Der Frequenzgang des Modulators muss so beschaffen sein, dass die Amplitude des Modulationssignals mit zunehmender Frequenz linear abnimmt. Dadurch wird erreicht, dass der Frequenzhub des phasenmodulierten Signals unabhängig von der Modulationsfrequenz wird.
- l) Zur Verbesserung der Frequenzkonstanz frequenzmodulierter Sender wird das Signal mit Hilfe von zwei Oszillatoren gewonnen. Dabei wird das Signal eines quartzesteuerten Oszillators mit einer hohen Frequenz mit dem Signal des frequenzmodulierten, freischwingenden Oszillators mit niedriger Frequenz gemischt. Das Summensignal ergibt die Ausgangsfrequenz. Da sich ein freischwingender Oszillator mit tiefer Frequenz besser stabil bauen lässt als ein solcher mit hoher Frequenz, wird bei diesem Verfahren eine recht gute Frequenzkonstanz erreicht.
- m) Die Gleichrichterdiode wird über einen kleinen Kopplungskondensator an den frequenzbestimmenden Schwingkreis angekoppelt. Das Modulationssignal wird der Diode überlagert. Diese wirkt als Gleichrichter für das Hochfrequenzsignal des Schwingkreises. Das Modulationssignal verursacht eine im Takt der Modulationsfrequenz schwankende Steuerung des Stromflusswinkels der Diode. Dadurch wird der Kopplungskondensator im Rhythmus der Modulationsfrequenz mehr oder weniger zum frequenzbestimmenden Schwingkreis geschaltet. Das Oszillatorsignal wird dabei in seiner Frequenz moduliert.
- n) Die Kapazitätsvariationsdiode wird parallel zum frequenzbestimmenden Schwingkreis geschaltet. Das Modulationssignal verursacht eine Änderung

der Diodenkapazität im Takt der Modulationsfrequenz, wodurch der Oszillator frequenzmoduliert wird.

- o) Eine Reaktanzröhre ist eine Elektronenröhre, die als steuerbarer Blindwiderstand geschaltet ist. Über einen Phasenschieber, der die Phase um nahezu  $90^\circ$  dreht, wird dem Gitter ein Teil der an der Anode liegenden Hochfrequenzwechselspannung zugeführt. Dadurch fliesst in der Röhre ein Strom, der gegenüber der angelegten Spannung eine Phasenverschiebung von nahezu  $90^\circ$  aufweist. Die Röhre wirkt wie ein Blindwiderstand. Der Wert des Blindwiderstandes ist unter anderem von der Röhrensteilheit abhängig. Durch Verändern der Röhrensteilheit lässt sich die Stufe als steuerbarer Blindwiderstand verwenden.
- p) Über die Steilheit lässt sich die Kapazität oder die Induktivität steuern, die durch eine Reaktanzröhre simuliert wird.
- q) Zur Phasenmodulation benötigt man eine Schaltung, die es erlaubt, die Phase einer Wechselspannung zu beeinflussen. Im Prinzip eignet sich hierzu jedes RL- oder RC-Glied bei dem der Wirk- oder der Blindwiderstand gesteuert werden kann. In der Praxis verwendet man oft eine Phasenbrücke, wobei ein Blindwiderstand steuerbar gemacht wird. Die Phasenmodulation erfolgt immer **nach** dem Oszillator. Die frequenzbestimmenden Elemente des Oszillators werden dabei **nicht** beeinflusst.

### 33. Was wissen Sie schon über einseitenbandmodulierte Sender?

Antworten zu den Fragen a bis h (Seite 338)

- a) Wenn ein amplitudenmodulierter Sender mit einem Sinussignal hundertprozentig moduliert wird, so entfallen zwei Drittel der abgestrahlten Leistung auf den Träger und je ein Sechstel auf jedes Seitenband. Beim Einseitenbandsender konzentriert sich die gesamte Senderleistung auf ein einzelnes Seitenband. Der Einseitenbandsender weist somit gegenüber dem amplitudenmodulierten Sender einen Leistungsgewinn um den Faktor Sechs auf.
- b) Die Bandbreite im Einseitenbandempfänger ist nur halb so gross wie im Empfänger für Amplitudenmodulation. Somit sinkt die Rauschleistung auf die Hälfte ab, während die Signalleistung konstant bleibt, was zum besseren Signal- zu Rauschverhältnis führt.
- c) Zum einwandfreien Empfang eines amplitudenmodulierten Signals ist der Empfang des Trägers und beider Seitenbänder notwendig. Weder Träger noch Seitenbänder dürfen auf dem Übertragungsweg irgendwie deformiert worden sein, da sonst sofort erhebliche Verzerrungen auftreten. Es ist nun die Eigenheit des selektiven Schwundes, dass dieser ein Seitenband oder den Träger nicht oder nur schlecht überträgt, während das andere Seitenband unbeeinträchtigt zum Empfänger gelangt. Der Selektivschwund hat seine Ursache in den Vorgängen in der Ionosphäre. Diese werden in einem folgenden Abschnitt eingehend besprochen. Da ein Einseitenbandsignal

nur aus einem einzigen Seitenband besteht, fällt die Beeinflussung durch den Selektivschwund weitgehend weg. Er kann sich höchstens in linearen Verzerrungen äussern, indem nicht das ganze Seitenband gleichmässig übertragen wird. Wir wissen jedoch, dass das menschliche Ohr gegenüber linearen Verzerrungen weitgehend unempfindlich ist.

- d) Jede Frequenzabweichung des Empfängers verursacht eine entsprechende Verschiebung des übertragenen Niederfrequenzspektrums. Ein Ton, der als 800-Hz-Ton den Sender verlässt, wird in einen 500-Hz-Ton umgewandelt, wenn der Empfänger eine Frequenzabweichung von 300 Hz aufweist.
- e) Ein Quarzfilter ist ein Filter, das Quarze anstelle von Schwingkreisen aufweist. Quarzfilter zeichnen sich durch steile Flanken der Bandfilterkurven aus.
- f) Das mechanische Filter macht sich die mechanische Eigenresonanz kleiner Metallresonatoren zunutze. Die Filterkurve ist durch die Art der Resonatoren und deren Anzahl bestimmt. Die elektrische Eingangsenergie wird in einem magnetostriktiven Wandler in mechanische Energie umgewandelt. Die Resonatoren übertragen die mechanischen Schwingungen, diese werden am Filterausgang wiederum in elektrische Schwingungen umgewandelt. Mechanische Filter erlauben die Realisierung von annähernd rechteckförmigen Filterkurven.
- g) Mechanische Filter haben Filterkurven mit extrem steilen Flanken. Sie sind sehr stabil und brauchen nicht abgeglichen zu werden.
- h) Nein, der Einseitenbandsender verlangt eine lineare Verstärkung der Einseitenbandsignale. Aus diesem Grund ist eine Endstufe im C-Betrieb für Einseitenbandsender unbrauchbar.

#### *Bewertung:*

Die Fragen a bis d sollten Sie aufgrund Ihrer bisherigen Ausbildung richtig beantworten können.

### **34. Repetitionsaufgaben zu «III. Der einseitenbandmodulierte Sender»**

Antworten zu den Fragen a bis m (Seite 346)

- a) Im Träger eines mit einem Sinuston hundertprozentig modulierten Senders verbleiben zwei Drittel der abgestrahlten Senderleistung.
- b) Die Trägerunterdrückung erfolgt im Einseitenbandsender im Modulator. Meistens wird als Modulator ein Ring- oder Gegentaktmodulator verwendet.
- c) Zur Trägerunterdrückung werden meistens Ring- oder Gegentaktmodulatoren verwendet.
- d) Im Einseitenbandsender wird das eine Seitenband in einem Filter unterdrückt. Als Einseitenbandfilter eignen sich Quarz- oder mechanische Filter.

- e) Das Quarzfilter basiert auf einer Brückenschaltung.
- f) Die Frequenzen der Quarze eines Quarzfilters werden so gewählt, dass die Serieresonanzfrequenz des einen Quarzes mit der Parallelresonanzfrequenz des anderen Quarzes zusammenfällt.
- g) Unter dem Einfluss eines magnetischen Feldes ändert sich die Länge eines Nickelstabes. Der Effekt heisst Magnetostriktion.
- h) Die Magnetostriktion wird im mechanischen Filter zur Umwandlung elektrischer Energie in mechanische Energie ausgenutzt. Ein Nickelstab liegt im Wechselfeld der Eingangsspule. Seine Länge ändert sich im Takt der Frequenz des Eingangssignals und stösst die mechanischen Resonatoren an.
- i) Einseitenbandsignale verlangen eine lineare Verstärkung, das heisst der Zusammenhang zwischen Signalspannung und Signalstrom im Verstärker muss linear sein. Diese Bedingung erfüllt der C-Verstärker nicht, weshalb er für die Verstärkung von Einseitenbandsignalen nicht in Frage kommt.
- k) Frequenzvervielfacher sind nichtlineare Verstärker und eignen sich deshalb nicht zur Verstärkung von Einseitenbandsignalen.
- l) Frequenzverwerfungen auf dem Übertragungsweg einer Einseitenbandübertragung verursachen untolerierbare Modulationsverzerrungen. Die Oszillatoren müssen daher sender- wie empfängerseitig absolut stabil arbeiten.
- m) Wenn ein Einseitenbandsender nicht moduliert wird, wird auch kein Signal abgestrahlt, da bei fehlender Modulation keine Seitenbänder entstehen.

### 35. Was wissen Sie schon über Wellenausbreitung?

Antworten zu den Fragen a bis h (Seite 347)

- a) Je nach Zustand der reflektierenden Schicht werden Signale mit Frequenzen bis über 30 MHz reflektiert.
- b) Eine Bodenwelle ist der Anteil einer elektromagnetischen Welle, der sich entlang der Erdoberfläche ausbreitet.
- c) Eine Raumwelle ist derjenige Anteil einer elektromagnetischen Welle, der in den Raum abgestrahlt wird.
- d) Die Heaviside-Schicht befindet sich in der Ionosphäre.
- e) Die Ionosphäre besteht aus mehreren Schichten, die sich in bezug auf das Reflexionsvermögen verschieden verhalten.
- f) Die Röntgen- und Ultraviolettstrahlung sowie die Korpuskularstrahlung der Sonne sind die Ursachen der Ionisation der Ionosphäre.
- g) Die Sonnenflecken üben keinen direkten Einfluss auf die Ionosphäre aus. Sie sind jedoch ein Anzeichen erhöhter Sonnenaktivität. Die dabei auftretenden verstärkten Strahlungen der Sonne haben eine stärkere Ionisation der Ionosphäre zur Folge.
- h) Die Ionisation der reflektierenden Schichten hängt von der Sonneneinstrahlung ab. Somit ist der Sonnenstand massgebend und dieser hängt wiederum von der Tages- und Jahreszeit ab.

### Bewertung:

Wer sich noch nie mit der Materie der Wellenausbreitung befasst hat, der kann keine der gestellten Einführungsfragen beantworten. Die Fragen sollten Ihnen einen Einblick in den zu behandelnden Stoff geben.

## 36. Repetitionsaufgaben zu «IV. Wellenausbreitung»

Antworten zu den Fragen a bis v (Seite 361)

- a) Unter «Ionisation» versteht man das Abtrennen eines Elektrons von einem Atom oder Molekül unter Aufwendung einer bestimmten Ionisationsenergie.
- b) Korpuskularstrahlung ist eine aus stofflichen Teilen bestehende Strahlung. Die Korpuskularstrahlung der Sonne besteht vor allem aus Elektronen, Protonen und Alpha-Teilchen.
- c) In den tieferen Schichten ist die Ionosphäre so dicht, dass die Ionen rasch rekombinieren, in den höheren Schichten dagegen ist die Dichte so klein, dass weniger Ionen entstehen können.
- d) Die D-Schicht absorbiert langwellige Signale und dämpft bei Durchgang kurzwellige Signale.
- e) Die D-Schicht ist nur am Tag wirksam.
- f) Die E-Schicht reflektiert die längeren Kurzwellen.
- g) Die E-Schicht ist nur am Tag wirksam. Sie erreicht ihre maximale Ionisationsdichte um die Mittagszeit.
- h) Die F2-Schicht ist die wichtigste Schicht für den interkontinentalen Funkverkehr.
- i) Die F1-Schicht reflektiert Kurzwellen. Ihre Grenzfrequenz liegt unterhalb derjenigen der F2-Schicht.
- k) Die F2-Schicht befindet sich in einer Höhe, wo die Ionosphäre bereits so dünn ist, dass nicht alle Ionen rekombinieren können, wenn die Sonneneinwirkung fehlt.
- l) Die sporadische E-Schicht tritt in Form von stark ionisierten «Wolken» in unregelmässigen Abständen auf: Am häufigsten erscheint sie im Sommer. Ihre Grenzfrequenzen erreichen hohe Werte bis zu 20 MHz. Ihre Wirkung kann so stark werden, dass andere Schichten durch sie abgedeckt werden.
- m) Der Interferenzschwund wird durch die ungleich langen Ausbreitungswege der Signale zwischen Sender und Empfänger verursacht, indem dadurch am Empfangsort Phasendifferenzen entstehen, die zu einer starken Anhebung oder zu gänzlichen Auslöschung des Empfangssignales führen können.
- n) Der Selektivschwund verursacht eine Verstümmelung der Modulation.
- o) Einseitenbandmodulation ist am unempfindlichsten gegenüber dem Selektivschwund.
- p) Die Sonnenfleckenzahl ist ein Mass für die Häufigkeit von Sonnenflecken.

- q) Eine Raumwellenverbindung kann durch starke Eruptionen auf der Sonne, durch Sonnenwind und Störungen des Erdmagnetfeldes beeinträchtigt oder verunmöglicht werden.
- r) Die MUF-Frequenz entspricht der Grenzfrequenz. Es ist dies die höchste Frequenz, die an der F2-Schicht gerade noch reflektiert wird.
- s) Die FOT-Kurve wird aus der MUF-Kurve abgeleitet, indem man die MUF-Werte um 15% reduziert. Die Wahrscheinlichkeit, dass die MUF-Kurve erreicht wird, ist bedeutend geringer als diejenige, dass die FOT-Kurve erreicht wird. Die FOT-Kurve trifft mit einer Wahrscheinlichkeit von 90% ein.
- t) Eine Raumwellenverbindung mit einer Frequenz unter der LUF-Kurve kommt nicht zustande, da die Raumwelle von der D-Schicht absorbiert wird.
- u) Die Arbeitsfrequenz soll zwischen den Werten der FOT und der LUF liegen.
- v) Die sicherste und beste Verbindung erhält man mit einer Arbeitsfrequenz möglichst nahe der FOT.

### 37. Was wissen Sie schon über Antennen?

Antworten zu den Fragen a bis l (Seite 362)

- a) Ja, die meisten Antennen können als Sende- wie als Empfangsantennen verwendet werden.
- b) Rahmenantennen, Ferritantennen und die erst neuerdings im Kommen begriffene aktive Antenne lassen sich nicht als Sendeantennen verwenden.
- c) Das Strahlungsdiagramm ist eine grafische Darstellung der Strahlungscharakteristik einer Antenne. Es wird unterschieden zwischen Horizontalstrahlungsdiagramm und Vertikalstrahlungsdiagramm.
- d) Eine Viertelwellenantenne entspricht elektrisch einem Serieschwingkreis.
- e) Die Halbwellenantenne, sowie alle Eindrahtantennen, deren Länge einem ganzzahligen Vielfachen einer halben Wellenlänge entspricht, verhalten sich elektrisch wie Parallelschwingkreise.
- f)

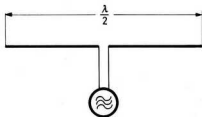


Bild zu 37 f

- g) Eine Antenne kann durch Serieschaltung einer Induktivität künstlich verlängert werden.

- h) Eine Antenne kann durch Serieschaltung einer Kapazität künstlich verkürzt werden.
- i) Eine Yagi-Antenne ist eine Richtantenne, bestehend aus einem Dipol als Strahler, einem Reflektor und einem oder mehreren Direktoren.
- k) Stehwellen sind Strom- und Spannungsmaxima und Minima, die sich auf einer nicht richtig abgeschlossenen Hochfrequenzleitung oder auf Antennen bilden.
- l) Feederleitungen und Koaxialkabel werden zur Speisung von Antennen verwendet, das heisst als Verbindung zwischen Sender oder Empfänger und Antenne.

### *Bewertung:*

Wer sich überhaupt noch nie mit Antennen befasst hat, der kann keine Frage beantworten. Die Fragen a, c, f, i und l sollten jedoch allgemein richtig beantwortet werden können, wenn man sich nur am Rande und sehr oberflächlich mit der Technik der Antennen beschäftigt hat.

## **38. Repetitionsaufgaben zu «V. Antennen»**

Antworten zu den Fragen a bis av (Seite 412)

- a) Wird ein Leiter von einem Wechselstrom durchflossen, so entstehen gleichzeitig ein magnetisches und ein elektrisches Feld. Beide Felder sind miteinander verknüpft. Sie stehen senkrecht zueinander.
- b) Die Abstrahlung einer Antenne hat ihre Ursache in der endlichen Laufzeit des elektromagnetischen Feldes. Dadurch werden die Felder gegenüber dem erzeugenden Strom verzögert. Wechselt nun der Strom seine Polarität, so können die Felder nicht mehr in den Leiter zurückkehren, da sie infolge ihrer Laufzeit beim Eintreffen bereits einen Strom mit umgekehrter Polarität vorfinden. Die durch diesen Strom erzeugten Felder stossen das ursprüngliche Feld in den Raum ab.
- c) Am Antennenende ist der Strom immer Null und die Spannung weist immer ihren Maximalwert auf.
- d) Die in eine Eindrahtantenne hineinfließende Stromwelle wird am Antennenende reflektiert und fließt zum Generator zurück. Die hin- und rücklaufende Wellen überlagern sich und bilden so auf der Antenne eine stehende Welle.
- e) Eine Viertelwellenantenne wirkt im Speisungspunkt als niederohmiger Ohmscher Widerstand. Die Antenne wirkt als Serieresonanzkreis, der mit seiner Resonanzfrequenz erregt wird.
- f) Die Antenne kann durch einen Serieschwingkreis dargestellt werden.
- g) Die Halbwellenantenne wirkt im Speisungspunkt wie ein hochohmiger Ohmscher Widerstand.
- h) Die Halbwellenantenne wirkt als Parallelschwingkreis.



- j) Eine Antenne, die kürzer ist als ein Viertel einer Wellenlänge, wirkt elektrisch als Serieschaltung von Kapazität und Ohmschem Widerstand.
- k) Eine Antenne, deren Länge drei Viertel einer Wellenlänge misst, wirkt im Speisungspunkt als niederohmige rein ohmsche Last.
- l) Eine Antenne, die länger als eine halbe Wellenlänge aber kürzer als drei Viertelwellenlängen ist, wirkt im Speisungspunkt als Serieschaltung einer Induktivität mit einem ohmschen Widerstand.
- m) Der Strahlungswiderstand ist eine reine Rechengrösse. Man stellt sich die abgestrahlte Leistung als im Strahlungswiderstand verbraucht vor. Er ist immer auf das Strommaximum bezogen.
- n) Bei allen verlustarmen Antennen, die im Strombauch gespeist werden, ist der Strahlungswiderstand praktisch mit dem Fusspunktwiderstand identisch, da sich der Fusspunktwiderstand aus dem Strahlungswiderstand und dem Verlustwiderstand zusammensetzt.
- o) Die effektive Antennenhöhe ist eine reine Rechengrösse. Ihr Wert wird so gewählt, dass sie mit dem Strom im Fusspunkt die gleiche Energie abstrahlen würde, wie die tatsächliche Antenne mit der auf ihr ungleichmässig verteiltem Strom.
- p) Das Horizontaldiagramm zeigt die Abstrahlung der Antenne in der Ebene, während das Vertikaldiagramm die Abstrahlung in vertikaler Richtung darstellt.
- q) Der Viertelwellenvertikalstrahler wirkt in der Horizontalen als Rundstrahler.
- r) Gegengewichte treten an Stelle der Erde. Sie verbessern die Abstrahlung bei schlecht leitender Erde.
- s) Der Halbwellendipol wirkt im Speisungspunkt als niederohmiger ohmscher Widerstand.
- t) Das Horizontalstrahlungsdiagramm des horizontalen Halbwellendipols ist achterförmig.
- u) Der Ganzwellendipol hat einen besseren Wirkungsgrad als der Halbwellendipol.
- v) Der Faltdipol ist breitbandig.
- w) Die Langdrahtantenne strahlt in der Richtung der Antennenachse nach beiden Seiten.
- x) Die V-Antenne strahlt in der Richtung der Antennenachse nach beiden Seiten.
- y) Die nicht abgeschlossene Rhombusantenne strahlt nach beiden Richtungen in der Antennenachse. Wird sie mit einem ohmschen Widerstand abgeschlossen, dann strahlt sie nur noch in der Richtung der Antennenachse nach der Seite des Abschlusswiderstandes.
- z) Rahmenantennen und Ferritantennen eignen sich nur für den Empfang, da sie als Sendeantennen einen sehr schlechten Wirkungsgrad aufweisen.
- aa) Rahmenantennen und Ferritantennen sind ausgesprochen richtungsempfindlich. Sie eignen sich deshalb zur Funkpeilung.
- ab) Der Reflektor macht die Dipolantenne zur Richtantenne. Signale aus der dem Reflektor abgewandten Seite werden bevorzugt empfangen.

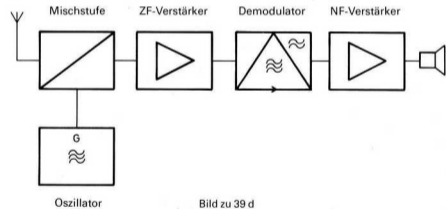
- ac) Der Reflektor ist etwa fünf Prozent länger als der Strahler. Er wirkt dadurch induktiv.
- ad) Durch Anbringen eines oder mehrerer Direktoren kann die Richtwirkung einer Dipolantenne wesentlich gesteigert werden.
- ae) Hochfrequenzleitungen dienen der Speisung von Antennen. Sie transportieren die Hochfrequenzenergie des Senders möglichst verlustfrei und ohne zu strahlen zur Antenne. In Empfangsanlagen leiten sie die von der Antenne aufgenommene Empfangsenergie dem Empfänger zu.
- af) Hochfrequenzleitungen werden als Zweidrahtleitungen oder als Koaxialkabel hergestellt.
- ag) Eine Hochfrequenzleitung, die elektrisch eine Viertelwellenlänge misst, wirkt als Transformator.
- ah) Eine am Ende kurzgeschlossene Hochfrequenzleitung, die elektrisch eine halbe Wellenlänge lang ist, stellt am Leitungsanfang einen sehr kleinen ohmschen Widerstand dar. Wäre die Leitung verlustfrei, so würde sie als Kurzschluss wirken.
- ai) Eine Hochfrequenzleitung, die elektrisch drei Viertel einer Wellenlänge lang ist, stellt am Leitungsanfang einen sehr kleinen ohmschen Widerstand dar. Wäre die Leitung verlustfrei, so würde sie als Kurzschluss wirken.
- ak) Eine am Ende offene verlustfreie Hochfrequenzleitung wirkt als Induktivität, wenn sie länger als eine Viertelwellenlänge und kürzer als eine halbe Wellenlänge ist.
- al) Eine Hochfrequenzleitung, die mit ihrem Wellenwiderstand abgeschlossen ist, wirkt wie eine unendlich lange Leitung.
- am) Wenn eine Hochfrequenzleitung nicht mit dem richtigen Widerstandswert abgeschlossen ist, bilden sich auf ihr stehende Wellen, da dann ein Teil der transportierten Energie am Leitungsende reflektiert wird, und wieder gegen den Generator läuft. Dadurch entsteht eine Überlagerung zwischen der wegfließenden und der reflektierenden Welle.
- an) Das Dielektrikum und eventuell vorhandene Ferrite bewirken eine Verkürzung der Hochfrequenzleitung. Das bedeutet, dass eine Leitung, die kürzer als eine Viertelwellenlänge ist, sich verhält wie eine Leitung mit Luft als Dielektrikum und ohne Ferrite, die eine Viertelwellenlänge lang ist.
- ao) Eine Lecherleitung ist eine Hochfrequenzleitung, die als Schwingkreis benutzt wird.
- ap) Die geometrischen Abmessungen und das Dielektrikum bestimmen den Wellenwiderstand einer Zweidrahtleitung. Unter den geometrischen Abmessungen versteht man den Leiterabstand und den Leiterdurchmesser.
- aq) Manteldurchmesser, Leiterdurchmesser, das Dielektrikum und die verwendeten Ferrite bestimmen den Wellenwiderstand einer Koaxialleitung.
- ar) Das Antennenanpassgerät hat zwei Aufgaben: es muss die Antenne abstimmen und die abgestimmte Antenne an den Sender anpassen.
- as) Antennen können elektrisch verkürzt werden, indem man zur Antenne einen Kondensator in Serie schaltet.
- at) Antennen können elektrisch verlängert werden, indem man zur Antenne eine Induktivität in Serie schaltet.

- au) Die abgestimmte Antenne an die Endstufe angepasst.
- av) Das Collinsfilter weist folgende Vorteile auf:
- einfache Bedienung
  - einfacher Aufbau
  - universell in der Anwendung
  - gute Oberwellenunterdrückung

### 39. Was wissen Sie schon über den Überlagerungsempfänger?

Antworten zu den Fragen a bis g (Seite 415)

- a) Der Detektor wirkt als Demodulator.
- b) Der Geradeusempfänger hat weder eine konstante Verstärkung, noch eine konstante Bandbreite. Die Bandbreite steigt mit zunehmender Empfangsfrequenz an, die Empfängerempfindlichkeit dagegen nimmt ab. Der mechanische Aufwand zur Erzielung des Empfängergerleichlaufes ist gross.
- c) Der Geradeusempfänger ist eindeutig in bezug auf die empfangene Frequenz.
- d)



- e) Der Überlagerungsempfänger ist nicht eindeutig in bezug auf die empfangene Frequenz. Neben der eigentlichen Empfangsfrequenz wird auch noch die unerwünschte Spiegelfrequenz empfangen.
- f) Die Spiegelfrequenz erscheint in einem Abstand, der der doppelten Zwischenfrequenz entspricht, von der Empfangsfrequenz. Durch die Wahl einer hohen Zwischenfrequenz lässt sich der Einfluss der Spiegelfrequenz herabsetzen. Will man die damit verbundenen Nachteile nicht in Kauf nehmen, dann wendet man das Prinzip der Doppelüberlagerung an.

- g) Der Zwischenfrequenzverstärker ist für die Bandbreite des Empfängers massgebend.

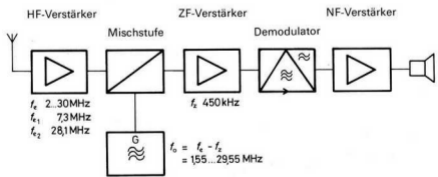
**Bewertung:**

Aufgrund Ihrer Vorbildung sollten Sie die Fragen a und b beantworten können, wobei Sie die Antwort auf die Frage b durch logisches Überlegen finden sollten, da Ihnen die Eigenschaften von HF-Verstärkern bekannt sind.

**40. Repetitionsaufgaben zu «I. Der Überlagerungsempfänger»**

Antworten zu den Fragen a bis k (Seite 428)

- a) Die Bandbreite ist bestimmt durch den Quotienten von Empfangsfrequenz zu Kreisgüte. Wenn die Empfangsfrequenz ansteigt und zusätzlich mit steigender Frequenz die Kreisgüte absinkt, wird die Bandbreite automatisch grösser.
- b) Die Verstärkung einer Hochfrequenzstufe ist proportional zur Steilheit der Röhre und zur Impedanz des Anodenkreises im Resonanzfall.  $v \approx S R_a$ . Die Kreisimpedanz entspricht für die Resonanzfrequenz dem Produkt aus Kreisgüte und kapazitivem oder induktivem Blindwiderstand. Die Kreisgüte nimmt mit steigender Frequenz ab. Der kapazitive Blindwiderstand des Kreiskondensators ist für höhere Frequenzen ebenfalls kleiner, was bewirkt, dass die Kreisimpedanz und mit ihr die Stufenverstärkung kleiner werden.
- c) Der Geradeempfänger ist in bezug auf die empfangene Frequenz eindeutig. Er wird deshalb zu Messzwecken noch oft verwendet.
- d)



$$f_{s1} = f_{e1} - 2 f_z = 7,3 - 0,9 = \mathbf{6,4 \text{ MHz}}$$

$$f_{s2} = 28,1 - 0,9 = \mathbf{27,2 \text{ MHz}}$$

Bild zu 40 d

- e) Die Spiegelfrequenz ist diejenige Frequenz, die in einem Überlagerungsempfänger die gleiche Zwischenfrequenz erzeugt wie das Nutzsignal.

$$f_s = f_e \pm 2 f_z$$

- f) *Vorgehen:*

1. Schritt: Bestimmen der Empfängergesamtbandbreite

- Grundformel für die Bandbreite anschreiben ( $b_g$  = Gesamtbandbreite)
 
$$b_g = \frac{f_0}{Q} \sqrt{2^{\frac{1}{3}} - 1}$$
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen ( $f_{e1}$ )
 
$$b_{g1} = \frac{1,6}{90} \sqrt{\sqrt[3]{2} - 1} \quad \text{MHz}$$

$$b_{g1} = \mathbf{9,06 \text{ kHz}}$$
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen ( $f_{e2}$ )
 
$$b_{g2} = \frac{24}{70} \sqrt{\sqrt[3]{2} - 1} \quad \text{MHz}$$

$$b_{g2} = \mathbf{174,8 \text{ kHz}}$$

2. Schritt: Bestimmen der Gesamtverstärkung

- Grundformel für die Gesamtverstärkung anschreiben
 
$$v_g = (S \cdot Q_b \cdot X_C)^2 \cdot \frac{A}{V} \cdot \frac{V_s}{A_s} = 1$$
- Zahlenwerte einsetzen und ausrechnen ( $f_{e1}$ )
 
$$v_{g1} = \left( 3 \cdot 10^{-3} 90 \frac{1}{2\pi 1,6 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-12}} \right)^2$$

$$v_{g1} = \mathbf{4,51 \cdot 10^5}$$
- Zahlenwerte für  $f_{e2}$  einsetzen und ausrechnen
 
$$v_{g2} = \left( 3 \cdot 10^{-3} 70 \frac{1}{2\pi 24 \cdot 10^6 \cdot 40 \cdot 10^{-12}} \right)^2$$

$$v_{g2} = \mathbf{1212}$$

- g) Die erste Zwischenfrequenz kann sehr hoch gewählt werden, wodurch der Abstand der Spiegelfrequenz zur Eingangsfrequenz stark vergrößert wird. Die Spiegelfrequenz lässt sich somit im Eingangskreis besser unterdrücken.
- h) Die Bandbreite des Doppelüberlagerungsempfängers wird durch die Durchlasskurve des zweiten Zwischenfrequenzverstärkers bestimmt.
- k) Bei hohen Eingangsfrequenzen liegt die Spiegelfrequenz prozentual gesehen näher bei der Eingangsfrequenz als bei tiefen, weshalb die Unterdrückung der störenden Spiegelfrequenz im HF-Eingangskreis bei hohen Eingangsfrequenzen schwieriger ist.

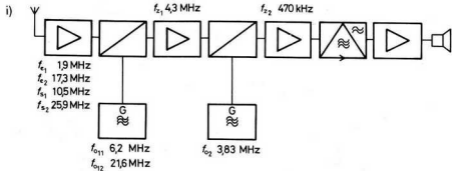


Bild zu 40 i

#### 41. Was wissen Sie schon über die verschiedenen Empfängertypen?

Antworten zu den Fragen a bis m (Seite 429)

- Die Nachteile des Geradeausempfängers sind so gravierend, dass ein Empfänger nach dem Geradeausprinzip undenkbar ist. Die Überlagerungsempfänger vermeiden diese Nachteile und sind deshalb fast ausschliesslich anzutreffen.
- Der Zwischenfrequenzverstärker bestimmt die Selektivität des Überlagerungsempfängers.
- Der Demodulator für amplitudenmodulierte Signale arbeitet als Gleichrichter.
- Ein tonloses Telegrafiezeichen wird im Demodulator hörbar gemacht, indem dem ankommenden Signal ein weiteres Signal mit leicht abweichender Frequenz beigemischt wird. Die Frequenzdifferenz liegt im Hörbereich, womit das ursprünglich tonlose Zeichen hörbar wird.
- Im Ratio-Detektor wird das frequenzmodulierte Signal in ein amplitudenmoduliertes umgewandelt und nachher demoduliert. Durch eine spezielle Schaltung – Serieschaltung der Demodulatordioden – wird eine automatische Begrenzerwirkung erreicht, indem diese Dioden bei kleinen Signalen infolge der Kennlinienkrümmung einen grossen Innenwiderstand aufweisen und somit den angeschlossenen Schwingkreis nur schwach bedämpfen. Für grosse Eingangssignale dagegen sinkt der Diodeninnenwiderstand stark ab, wodurch eine zusätzliche Bedämpfung des Schwingkreises eintritt. Als Folge davon sinkt die Verstärkung ab, was einer Begrenzung gleichkommt.
- Die unter e beschriebene Begrenzerwirkung reicht aus, ein Begrenzer vor dem Ratio-Detektor wird überflüssig.

- g) Jede Demodulation eines frequenzmodulierten Signals erfolgt in zwei Schritten. In einem ersten Schritt wird das frequenzmodulierte Signal in ein amplitudenmoduliertes umgewandelt, in einem zweiten Schritt wird dieses amplitudenmodulierte Signal gleichgerichtet.
- h) Bei der Frequenzmodulation entstehen sehr viele Seitenbänder. Zur Gewährleistung einer einwandfreien Übertragung müssen alle Seitenbänder, die mindestens eine Amplitude von einem Prozent der Trägeramplitude in unmoduliertem Zustand aufweisen, übertragen werden. Bei hohen Modulationsfrequenzen liegen diese Seitenbänder ausserhalb des Frequenzhubes. Aus diesem Grund muss die Empfängerbandbreite sehr gross sein, sie ist grösser als der doppelte Hub.
- i) Unter Frequenzhub versteht man die zur jeweiligen Modulationsspannung proportionale Frequenzänderung des Trägers.
- k) Ja, bei der Frequenzmodulation treten sehr viele Seitenbänder auf.
- l) Die Bandbreite eines Einseitenbandempfängers entspricht der höchsten zu übertragenden Modulationsfrequenz.
- m) Zur Demodulation eines Einseitenbandsignales muss in einer Mischstufe der Träger wieder zugesetzt werden. Man verwendet als Demodulatoren meistens Ringmodulatoren.

*Bewertung:*

Aufgrund Ihrer Vorkenntnisse sollten Sie in der Lage sein, alle Fragen richtig zu beantworten.

## 42. Repetitionsaufgaben zu «II. Empfänger für verschiedene Modulationsarten»

Antworten zu den Fragen a bis r (Seite 437)

- a) Die Nachteile des Geradeausempfängers sind so gravierend, dass sich der Bau eines Empfängers nach dem Geradeausprinzip nicht lohnt. Da die Überlagerungsempfänger die Nachteile des Geradeausempfängers vermeiden, sind sie heute die Basis für alle Empfängertypen.
- b) Mit der automatischen Lautstärkeregelung soll die Lautstärke eines Empfängers in gewissen Grenzen unabhängig vom Eingangssignal gehalten werden.
- c) Die automatische Lautstärkeregelung muss zeitlich verzögert werden, damit sie die Modulation des empfangenen Signals nicht beeinträchtigt und damit sie nicht auf sehr kurzzeitigen Schwund reagiert. Der Einsatz der Regelung wird verzögert, damit die Empfängerempfindlichkeit bei sehr schwachen Eingangssignalen durch die Regelung nicht schon herabgesetzt wird.
- d) Ein Telegrafiesignal benötigt eine sehr geringe Bandbreite. Diese hängt von der Telegrafiergeschwindigkeit ab und bewegt sich im Bereich von maximal

einigen hundert Hertz. Die Bandbreite des Empfängers soll immer der Bandbreite des gesendeten Signals angepasst sein, weil man dadurch den besten Störabstand erhält. Aus diesem Grund muss die Bandbreite der ZF-Stufe des  $A_1$ -Empfängers entsprechend klein gehalten werden.

- e) Der Antiresonanzpunkt eines Quarzfilters entspricht der Parallelresonanzfrequenz des Quarzes. Signale, die mit dem Antiresonanzpunkt zusammenfallen, werden im Filter unterdrückt.
- f) Das einfache Quarzfilter für  $A_1$ -Empfang basiert auf einer Brückenschaltung.
- g) Mit dem Kondensator  $C_p$  wird die Brücke abgeglichen. Gleichzeitig lässt sich der Antiresonanzpunkt in engen Grenzen damit verschieben.
- h) Der Q-Multiplier erhöht die Kreisgüte eines ZF-Kreises. Diese Entdämpfung ist einstellbar, wodurch sich die Bandbreite des Kreises verändern lässt.
- i) Der Q-Multiplier ist ein Oszillator, dessen Schwingungsbedingung nicht erfüllt ist, wodurch er entdämpfend wirkt.
- k) Beim Q-Multiplier muss die Entdämpfung geändert werden, damit die Bandbreite vergrößert oder verkleinert wird. Zur Veränderung der Entdämpfung wird das Produkt Verstärkung mal Kopplung variiert. Wenn man nahe an den Wert Eins herangeht, wird die Entdämpfung sehr gross und somit die Bandbreite klein. Für den Wert Eins wird die Schaltung instabil und beginnt zu schwingen.
- l) Die Selektivität kann bei  $A_1$ -Empfängern weiter gesteigert werden, indem man im NF-Teil ein NF-Filter einbaut, das nur die vom Demodulator erzeugte Signalfrequenz passieren lässt.
- m) Der FM-Empfänger verlangt eine grosse Bandbreite. Eine solche lässt sich nur bei entsprechend hoher Zwischenfrequenz erzielen.
- n) Der Begrenzer unterdrückt Störspitzen und Anteile von Amplitudenmodulation.
- o) Bei frequenzmodulierten Sendungen wird zur Verbesserung des Störabstandes senderseitig das NF-Signal vorverzerrt, indem die hohen Frequenzen angehoben werden. Diese Höhenanhebung muss im Empfänger im De-Emphasisglied wieder rückgängig gemacht werden, weil sonst die hohen Frequenzen mit zu grossem Pegel zum NF-Verstärker gelangen würden, was eine starke lineare Verzerrung zur Folge hätte.
- p) Das NF-Signal eines Einseitenbanddemodulators entspricht der Frequenzdifferenz zwischen dem Einseitenbandsignal und dem zugemischten Trägersignal. Jede Frequenzverwerfung verursacht eine Verschiebung des gesamten Niederfrequenzspektrums um den Betrag der Frequenzverwerfung. Das menschliche Ohr reagiert sehr empfindlich auf Verfälschungen dieser Art. Aus diesem Grunde müssen die Oszillatoren des Einseitenbandempfängers sehr stabil arbeiten.
- q) Die Umschaltung vom oberen auf das untere Seitenband erfolgt durch Umschalten der Trägeroszillatorfrequenz.
- r) Die rechteckähnliche Durchlasskurve des ZF-Verstärkers beim Einseitenbandempfänger wird durch ein Quarzfilter oder ein mechanisches Filter erreicht.



## **N. Schlussbestimmungen**

<sup>1</sup> Mit dem Inkrafttreten dieses Reglementes wird das Reglement 65.9 «Elektrotechnik II. Teil», Ausgabe 1967, ausser Kraft gesetzt.

<sup>2</sup> Das vorliegende Reglement tritt am 1. Januar 1977 in Kraft.

**DIREKTOR DER KRIEGSMATERIALVERWALTUNG**

**Brigadier Haug**