

Heinz Lützelberger, DL 2 ANM

Lizenzkochbuch

Anleitung zur Lösung von Prüfungsaufgaben

für den Erwerb der

Amateurfunkzeugnisse

der Klasse A

(früher Klassen 1 und 2)

Prüfungsfach technische Kenntnisse

Quelle:

RegTP, Prüfungsfragen für den Erwerb der Amateurfunkzeugnisse der Klasse A
(früher Klassen 1 und 2),
1. Auflage, August 2002

Als Manuskript im Eigenverlag gedruckt.

Für Hinweise auf Fehler und Vorschläge ist der Herausgeber dankbar.

Bezug über DL2ANM@darç.de

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	6
1.1 Allgemeine mathematische Grundkenntnisse und Größen	7
1.1.1 Allgemeine mathematische Grundkenntnisse	7
1.1.2 Größen und Einheiten	7
1.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie	10
1.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator	10
1.2.2 Strom- und Spannungsquellen	11
1.2.3 Elektrisches Feld	13
1.2.4 Magnetisches Feld	14
1.2.5 Elektromagnetisches Feld	14
1.2.6 Sinusförmige Signale	16
1.2.7 Nichtsinusförmige Signale	19
1.2.8 Modulierte Signale	20
1.2.9 Leistung und Energie	20
1.3 Elektrische und elektronische Bauteile	23
1.3.1 Widerstand	23
1.3.2 Kondensator	25
1.3.3 Spule	26
1.3.5 Diode	28
1.3.6 Transistor	28
1.3.7 Einfache digitale und analoge Schaltkreise und sonstige Bauelemente	28
1.4 Elektronische Schaltungen und deren Merkmale	31
1.4.1 Serien- und Parallelschaltung von Widerständen, Spulen und Kondensatoren	31
1.4.2 Schwingkreise und Filter	43
1.4.3 Stromversorgung	50
1.4.4 Verstärker	52
1.4.5 Modulator / Demodulator	55
1.4.6 Oszillator	58
1.4.7 Phasenregelkreise	60
1.5 Analoge und digitale Modulationsverfahren	61
1.5.1 Amplitudenmodulation	61
1.5.2 Frequenzmodulation	62
1.5.3 Text-, Daten- und Bildübertragung	64
1.6 Funk-Empfänger	66
1.6.1 Einfach- und Doppelsuperhet-Empfänger	66
1.6.2 Blockschaltbilder	68
1.6.3 Betrieb und Funktionsweise einzelner Stufen	71
1.6.4 Empfängermerkmale	73
1.7 Sender	75
1.7.1 Blockschaltbilder	75
1.7.2 Betrieb und Funktionsweise einzelner Stufen	77
1.7.3 Betrieb und Funktionsweise von HF-Leistungsverstärkern	80
1.7.4 Unerwünschte Ausstrahlungen	83
1.8 Antennen und Übertragungsleitungen	84
1.8.1 Antennen	84
1.8.2 Antennenmerkmale	86
1.8.3 Übertragungsleitungen	87
1.8.4 Anpassung, Transformation und Symmetrierung	89

1.9	Wellenausbreitung, Ionosphäre	92
1.9.1	Ionosphäre	92
1.9.2	Kurzwellenausbreitung	93
1.9.3	Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz	94
1.10	Messungen und Meßinstrumente	95
1.10.1	Meßinstrumente	95
1.10.1.1	Strom- und Spannungsmesser	95
1.10.1.2	Dip-Meter	98
1.10.1.3	Oszilloskop	98
1.10.2	Durchführung von Messungen	98
1.11	Störemissionen, Störfestigkeit	102
1.11.1	Störungen elektronischer Geräte	102
1.11.2	Ursachen für Störungen	103
1.11.3	Maßnahmen gegen Störungen	103
1.12	Elektromagnetische Verträglichkeit und deren Anwendung, Personen- und Sachschutz	104
1.12.1	Störfestigkeit	104
1.12.2	Schutz von Personen, Nah- und Fernfeld	104
1.12.3	Sicherheit	107
Anlage 1 Formeln		
Anlage 2 Umrechnung in dB		
Anlage 3 Prüfungstest, Prüfungsfach Technische Kenntnisse		

Vorwort

Diese Anleitung soll bei der Vorbereitung auf den Prüfungsteil Technische Kenntnisse der Prüfung zum Erwerb des Amateurfunkzeugnisses der Klassen 1 und 2 Unterstützung geben.

Durch viele Faktoren ist es heute kaum mehr möglich, Amateurfunklehrgänge mit großen Teilnehmerzahlen durchzuführen. So sind am Amateurfunk interessierte Einsteiger oft auf Selbststudium angewiesen. Ich habe versucht, die Aufgaben so zu erklären, daß auch Laien die einzelnen Schritte nachvollziehen können. Sie wollen sich auf die Amateurfunkprüfung und nicht auf den Abschluß als Elektriker vorbereiten. Das ist auch der Grund dafür, daß hier keinesfalls angestrebt wurde den Charakter eines Fachbuches zu erreichen. Ich ließ mich von dem Gedanken leiten, die Aneignung von Wissen zu unterstützen, das nötig ist, die Amateurfunkprüfung zu erfolgreich abzulegen. Es wurden deshalb solche Aufgaben ausgewählt, die nicht schon durch die vorgegebenen Antworten ausreichend beantwortet wurden. Darüber hinaus wurde versucht, einiges Grundwissen zu vermitteln, damit Zusammenhänge insbesondere mit den Gesetzen der Physik erkannt werden.

Bei den Berechnungen habe ich bewußt viele Einzelschritte dargestellt, um es zu ermöglichen, eventuell Fehler bei der eigenen Lösung zu erkennen. Auch wurde berücksichtigt, daß die Schulzeit bei einigen der zukünftigen Funkamateure doch schon etwas zurück liegen könnte. Um die Übersichtlichkeit zu wahren, wurde bei der Bearbeitung von Maßeinheiten im Rechenweg großzügig verfahren. Es wurde also z.B. „Ω“ bei der Berechnung nicht zwischendurch als „V/A“ umgeformt.

Ich empfehle allen, die sich auf die Prüfung als Funkamateure vorbereiten, den Kontakt zu einem Ortsverband des Deutschen Amateur-Radio-Clubs e.V. (DARC) aufzunehmen. Ortsverbände in Ihrer Nähe können Sie über das Internet unter <http://darc.de/aktuell/data/ov.html> finden. Bestimmt werden Sie dort freundlich aufgenommen und unterstützt. Einen guten Ortsverband erkennen Sie daran, daß man Ihnen Hilfe bei der Bewältigung des Lernpensums gewährt oder Sie als Gast zur Ausbildung an einen Ortsverband verweist, der eine solide Ausbildung durchführen kann. Sollte das allerdings so aussehen, daß Ihnen mit viel Worten erklärt wird, wie schwer alles ist und Sie sollen sich zunächst alles unter Zuhilfenahme von Literatur selbst beibringen, haben Sie den falschen Ortsverband erwischt und sollten weitersuchen.

Eine Bitte habe ich aber zum Schluß noch an Sie als zukünftigen Funkamateure. Werden Sie in Ihrem Ortsverband aktiv. Der Amateurfunk ist ein Gebiet, das einerseits weitestgehend im stillen Kämmerlein praktiziert wird, andererseits aber nur in gemeinsamer Arbeit voran gebracht werden kann. Ich möchte dabei nur solche Beispiele wie Betrieb von Amateurfunkrelais, Bewältigung organisatorischer Probleme, Gedankenaustausch auf technischem Gebiet, geselliges Zusammenleben im Ortsverband und eben auch die Bewältigung der Ausbildung nennen. Denken Sie daran, daß Sie Menschen gefunden haben, die Sie auf Ihrem Weg zum Funkamateure unterstützt haben und noch immer helfend zur Seite stehen. Suchen Sie sich eine Aufgabe im Ortsverband, die Sie aufgrund Ihrer Fähigkeiten ausfüllen können und lassen Sie sich nicht von manch unliebsamen Dingen, insbesondere der oft übertriebenen Bürokratie (auch innerhalb des DARC) entmutigen.

Ich wünsche Ihnen bei der Vorbereitung zur Prüfung alles Gute und hoffe, Sie bald auf dem Band begrüßen zu können.

Heinz Lützelberger, DL2ANM

1 Prüfungsfach Technische Kenntnisse

1.1 Allgemeine mathematische Grundkenntnisse und Größen

1.1.1 Allgemeine mathematische Grundkenntnisse

Der erforderliche Prüfungsstoff hierzu ist in den Abschnitten 1.1.2 bis 1.12 enthalten

1.1.2 Größen und Einheiten

In diesem Abschnitt werden einige Grundlagen berührt, die uns aus unserer Schulzeit bekannt sein dürften. Dazu zählen die Einheiten für verschiedene elektrische Werte, die keiner weiteren Erklärung bedürfen und sind, soweit unbekannt, reiner Lernstoff, weshalb ich hier auch nicht darauf eingehe. Auch sollten wir uns mit den Teilen und dem Vielfachen von Maßeinheiten vertraut machen, denn es wird uns nicht erspart bleiben, mit den unterschiedlichsten Größen wie Mega, Nano, Piko umzugehen. In dem Zusammenhang sollten wir uns auch gleich an die Umwandlung dieser Werte in Potenzschreibweise gewöhnen. Aus Erfahrung weiß der Autor, daß von Anfängern immer wieder versucht wird, den Taschenrechner mit einer Unzahl von Nullen zu traktieren. Und regelmäßig haben sich selbst die hartnäckigsten Verfechter dieser Methode verzählt. Außerdem dürfte es spätestens dann lange Gesichter geben, wenn z.B. Werte von Kondensatoren in Pikofarad, also mit bis zu elf Nullen vor der eigentlichen Zahl einzugeben sind, das Display aber nur neun Stellen hat! Also lassen wir diese unsinnigen Versuche. An dieser Stelle sei auf die Anlage 1 „Formeln“ verwiesen, auf der die Zusammenhänge der einzelnen Größen einleitend dargestellt sind.

Und schon sind wir bei den Fragen TA108 bis TA112. Bei diesen Prüfungsaufgaben müssen wir uns mit dem Dezibel, abgekürzt dB, beschäftigen. Was verbirgt sich dahinter?

Es ist eine allseits bekannte Tatsache, daß es leichter ist zu addieren als zu multiplizieren. Von dieser Realität ausgehend, haben sich in grauer Vorzeit findige Köpfe daran erinnert, daß man Potenzen multipliziert, indem man ihre Exponenten addiert. Allgemein bekannt sollte sein, daß z.B. die Zahl 100 gleich $10 \cdot 10$ oder 10^2 ist. 1000 ist dann $10 \cdot 10 \cdot 10 = 10^3$. Was aber ist $100 \cdot 1000$? Ja, schon bei solch einer einfachen Frage fangen wir an nachzudenken. Wir wissen aber, daß die Zahl 100 zwei und die Zahl 1000 drei Nullen hat. Na, schon fällt der Groschen – das Ergebnis muß aus einer Eins mit 2 plus 3 also 5 Nullen bestehen! Die Summe der Exponenten ($10^2, 10^3$) ist aber auch fünf, folglich das Ergebnis unserer einfachen Multiplikation 10^5 oder wie wir es kennen 100000.

Bis hierher war das Ganze noch nachzuvollziehen. 100 ist 10^2 und 1000 ist 10^3 . Wieviel 10 hoch irgend etwas ist aber dann 200? Der Exponent zur Basis 10 müßte dann zwischen 2 und 3 liegen. Und in der Tat, 200 ist $10^{2,301}$. Dieser Exponent wird dekadischer Logarithmus (im allgemeinen als „log“ abgekürzt) genannt, da sich dahinter der Exponent zur Basis 10 verbirgt.

Doch nun zurück zum Dezibel. Darunter verstehen wir weiter nichts als das Verhältnis einer zu einer anderen Größe. Sehr oft wird die Verstärkung einer Spannung, eines Stromes oder einer Leistung in dB angegeben, da es sich dabei um eine Vervielfachung (also einer Multiplikation) eines Ausgangswertes handelt. Wir werden aber später auch erfahren, daß es z.B. bei der Zuleitung zur Antenne auch Verluste gibt. Auch diese werden in dB angegeben. Habe ich, wie es häufig vorkommt, mehrere Verstärker hintereinander, so brauche ich die einzelnen Verstärkungen nicht zu multiplizieren, sondern nur die einzelnen dB zu addieren und eventuelle Verluste zu subtrahieren.

Machen wir es kurz.

Wir müssen zwischen Spannungs- und Stromverhältnissen einerseits und Leistungsverhältnissen andererseits unterscheiden. Wir prägen uns folgende Formeln ein:

$$\text{Leistungsverhältnis: } V_p = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad \rightarrow \quad \frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{V_p}{10}}$$

$$\text{Spannungsverhältnis: } V_U = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} \quad \rightarrow \frac{U_1}{U_2} = 10^{\frac{V_U}{20}}$$

$$\text{Stromverhältnis: } V_I = 20 \cdot \log \frac{I_1}{I_2} \quad \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 10^{\frac{V_I}{20}}$$

Merke: Den Logarithmus des Verhältnisses bei Spannungs- und Stromverhältnissen mit 20 und bei Leistungsverhältnissen mit 10 multiplizieren.

Lösung der Aufgaben:

TA108 Wie viel Dezibel (dB) entsprechen einer vierfachen Leistungsverstärkung?

$$\text{geg.: } \frac{P_1}{P_2} = 4 \quad \text{ges.: } V_P$$

$$V_P = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} = 10 \cdot \log \frac{4}{1} \Rightarrow \log 4 = 0,602 \quad \Rightarrow 10 \cdot 0,602 \approx \underline{\underline{6 \text{ dB}}}$$

Antwort a) ist also richtig.

TA109 Ein Spannungsverhältnis von 15 entspricht ...dB.

$$\text{geg.: } \frac{U_1}{U_2} = 15 \quad \text{ges.: } V_U$$

$$V_U = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} \quad \log 15 = 1,176 \quad \Rightarrow 20 \cdot 1,176 = \underline{\underline{23,5 \text{ dB}}}$$

Antwort a) ist also richtig.

TA110 Eine Leistungsverstärkung von 40 entspricht ...dB.

$$\text{geg.: } \frac{P_1}{P_2} = 40 \quad \text{ges.: } P_U$$

$$V_P = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \quad \log 40 = 1,602 \quad \Rightarrow 10 \cdot 1,602 \approx \underline{\underline{16 \text{ dB}}}$$

oder: $V_P = 40 = 10 \cdot 4 = 10 \text{ dB} + 6 \text{ dB} = \underline{\underline{16 \text{ dB}}}$ $V_P = 10 = 10 \text{ dB}$ $V_P = 4 = 6 \text{ dB}$

Antwort a) ist also richtig.

TA111 Wie groß ist der Unterschied zwischen S4 und S7?

Hierzu muß man wissen, **der Unterschied zwischen zwei S-Stufen beträgt 6dB.** Der Unterschied von S4 bis S7 beträgt 3 S-Stufen ($3 \cdot 6 \text{ dB}$), also **18 dB**.

TA 112 Der Pegelwert 120 dB $\mu\text{V}/\text{m}$ entspricht einer elektrischen Feldstärke von ...?

Bei dieser Aufgabe sollte man wissen, daß sich der Pegel auf 1 $\mu\text{V}/\text{m}$ bezieht. Die Frage heißt in uns allen verständlichem Deutsch: Wie groß ist eine Feldstärke, die 120 dB mal so hoch ist wie 1 $\mu\text{V}/\text{m}$?

Sollte bei der dB-Angabe wie in diesem Beispiel ein Zusatz (μV , mW ...) stehen, so ist der Bezugspunkt immer 1 μV , 1 mW ... Entsprechend ist dann die Grundformel für Spannung und Strom bzw. für die Leistung (Faktor 20 bzw. 10) zu wählen.

geg.: $V_U = 120 \text{ dB } \mu\text{V/m}$

ges.: el. Feldstärke

$$\frac{U_1}{U_2} = 10^{\frac{V_U}{20}} = 10^{\frac{120 \text{ dB}}{20}} = 10^6 \quad (\text{also eine Million})$$

Ein Mikrovolt ist ein Millionstel Volt, folglich sind eine Million Mikrovolt = **1 V/m**.

Da wir uns an die Exponentialschreibweise gewöhnen wollen, könnte man auch damit brillieren, daß man rechnet $1 \cdot 10^{-6} \text{ V} \cdot 10^6 = \text{1 V/m}$.

Hier hätte man es sich auch einfach machen können. Es gilt bei Strom- und Spannungsverhältnissen nämlich folgende Reihe: 10fach = 20 dB, 100fach = 40 dB, 1000fach = 60 dB... Wir stellen fest, daß die Zahl vor den Nullen des dB-Wertes geteilt durch 2 die Anzahl der Nullen des jeweiligen Verhältnisses angibt.

Bei 120dB wäre also die 12 durch 2 zu teilen und ergibt 6. Und irgend einmal waren wir in unserer frühen Jugend darauf stolz, daß wir wußten, daß eine Million 6 Nullen hat. Wir sollten solche Erinnerungen wieder auffrischen!

TA113 100 mW entspricht...

0,1 W oder **10⁻¹ W**

Bitte prägen Sie sich unbedingt die in der Anlage 1 unter der Überschrift „Größenordnungen“ dargestellten Zusammenhänge ein.

TA114 Ein Sender mit 1 Watt Ausgangsleistung ist an eine Endstufe mit einer Verstärkung von 10 dB angeschlossen. Wie groß ist die Ausgangsleistung der Endstufe?

Die vorgegebenen Antworten sehen eine Angabe in dBW vor. Die Bezugsbasis ist also 1 Watt (siehe einleitende Bemerkungen bei Aufgabe **TA112!**). Folglich ist die Ausgangsleistung **10 dBW**.

TA115 Der Ausgangspegel eines Senders beträgt 20 dBW. Dies entspricht einer Ausgangsleistung von...

Es gilt bei Leistungsverhältnissen nämlich folgende Reihe: 10fach = 10 dB, 100fach = 20 dB, 1000fach = 30 dB... Wir stellen fest, daß die Zahl vor den Nullen des dB-Wertes die Anzahl der Nullen des jeweiligen Verhältnisses angibt.

Die Antworten sind in Potentialschreibweise gefordert. Die Bezugsbasis ist wieder 1 Watt. **20 dB** stellen bei einer Leistungsverstärkung **das 100fache** von 1 Watt dar. Richtig, 100 W sind **10² W!**

TA116 Die Periodendauer von 50 µs entspricht einer Frequenz von

Für die Frequenz gilt: $f = \frac{1}{t}$. $\Rightarrow f = \frac{1}{50 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 20\,000 \text{ s}^{-1} = 20\,000 \text{ Hz} = \text{20 kHz}$

Merke : Die Periodendauer, also die Zeit, die für eine komplette Schwingung nötig ist, ist der Kehrwert der Frequenz und umgekehrt.

TA117 Die zweite ungeradzahlige Harmonische der Frequenz 144,690 MHz ist

Hier muß mit einem sich hartnäckig haltenden Gerücht gebrochen werden, nämlich dem, daß Harmonische und Oberwellen das gleiche wären. Richtig ist, daß die erste Harmonische die Grundwelle ist und die zweite Harmonische das doppelte, die dritte das dreifache usw. der Grundwelle oder auch

Bezugsfrequenz ist. Da auch der Begriff „Oberwelle“ neben „Harmonischer“ gebräuchlich ist, möchte ich hier auf den Zusammenhang hinweisen: 2. Harmonische = 1. Oberwelle, 3. Harmonische = 2. Oberwelle...

In unserer Aufgabe ist nach der 2. ungeradzahligem Harmonischen gefragt. Die Zahl 3 ist bekanntlich die 2. ungerade Zahl. Folglich wird die 3. Harmonische, also das 3fache der Grundfrequenz gesucht. Es ist die Frequenz 144,690 mit 3 zu multiplizieren:

$$3 \cdot 144,690 \text{ MHz} = \underline{\underline{434,070 \text{ MHz}}}$$

Es ist in der Regel üblich, bei Dezimalzahlen drei Kommastellen anzugeben (mit Nullen auffüllen).

TA118 Die zweite Harmonische der Frequenz 3,730 MHz befindet sich auf

$$2 \cdot 3,730 \text{ MHz} = \underline{\underline{7,460 \text{ MHz}}}$$

TA 119 Eine Genauigkeit von 1 ppm entspricht

0,0001 %

ppm bedeutet „parts per million“, ein Millionstel. Ein Prozent ist ein Hundertstel, 1 ppm 1 Zehntausendstel (oder 0,0001) Prozent.

TA 120 Die digitale Anzeige eines Senders hat eine Anzeigegenauigkeit von 10 ppm. Sie zeigt die Sendefrequenz von 14,250000 MHz an. In welchen Grenzen kann sich die tatsächliche Frequenz bewegen?

$$14,250\ 000 \text{ MHz} \pm 14,250\ 000 \text{ MHz} \cdot 10 \cdot 10^{-6} = 14,250\ 000 \text{ MHz} \pm 14,250\ 000 \text{ MHz} \cdot 10^{-5} =$$

$$14,250000 \text{ MHz} + 0,0001425 \text{ MHz} = \underline{\underline{14,2501425 \text{ MHz}}} \text{ und}$$

$$14,250000 \text{ MHz} - 0,0001425 \text{ MHz} = \underline{\underline{14,2498575 \text{ MHz}}}$$

Dieser Rechenweg ist durchaus legitim. Aber durch die nötige Nebenrechnung und das Eintippen des Zwischenergebnisses ergibt sich eine Gefahrenquelle. Eleganter ist folgende Lösung:

$$14,250\ 000 \text{ MHz} \cdot (1+10^{-5}) = \underline{\underline{14,2501425 \text{ MHz}}} \text{ und}$$

$$14,250\ 000 \text{ MHz} \cdot (1-10^{-5}) = \underline{\underline{14,2498575 \text{ MHz}}}$$

Bitte die Regel beachten, daß Klammerrechnung vorgeht!

1.2 Elektrizitäts-, Elektromagnetismus- und Funktheorie

1.2.1 Leiter, Halbleiter und Isolator

TB 106 P-dotiertes Halbleitermaterial hat

Löcher, in denen sich Elektronen befinden könnten.

Die Betonung liegt hier auf „könnten“. Durch Dotieren des Halbleitermaterials, das vierwertig ist, also pro Atom vier Valenzelektronen hat, mit Spuren eines dreiwertigen Materials ergibt sich ein Elektronenmangel im Kristallgitter. Man spricht in diesem Fall von Löchern.

TB 107 In einer Halbleiterdiode erweitert sich die Verarmungszone,

wenn man an die Kathode (p-Gebiet) eine positive und an die Anode (n-Gebiet) eine negative Spannung anlegt.

Die Erklärung ist recht einfach. Durch das Anlegen der Spannung in der oben genannten Art werden die Ladungsträger förmlich abgesaugt, wodurch sich die Verarmungszone weiter vergrößert.

TB 109 Welchen Widerstand hat eine Kupferdrahtwicklung, wenn der verwendete Draht eine Länge von 1,8 m und einen Durchmesser von 0,2 mm hat?

geg.: $l = 1,8 \text{ m}$, $d = 0,2 \text{ mm}$, $\rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ ges.: R

$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} = \frac{0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \cdot 1,8 \text{ m}}{0,0314 \text{ mm}^2} \approx 1 \Omega \quad \left| \quad A = \frac{d^2}{4} \cdot \pi = \frac{(0,2 \text{ mm})^2}{4} \cdot \pi = 0,0314 \text{ mm}^2$$

Die Größen Ω und mm^2 und m kürzen sich weg. Ja, ja, ich weiß- die Bruchrechnung!
Antwort a) ist also richtig.

TB 110 Zwischen den Enden eines Kupferkabels mit einem Querschnitt von $0,5 \text{ mm}^2$ messen Sie einen Widerstand von $1,5 \Omega$. Wie lang ist das Kabel?

geg.: $R = 1,5 \Omega$, $A = 0,5 \text{ mm}^2$ $\rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}}$ ges.: l

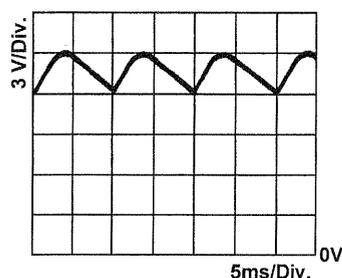
$$R = \frac{\rho \cdot l}{A} \Rightarrow \rho \cdot l = R \cdot A \Rightarrow l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{1,5 \Omega \cdot 0,5 \text{ mm}^2}{0,0178 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}}$$

Die Größen Ω und mm^2 kürzen sich weg und die Größe m (Doppelbruch) kommt auf den Bruchstrich.

Folgendermaßen rechnet man: $l = \frac{1,5 \cdot 0,5 \text{ m}}{0,0178} = \underline{\underline{42,1 \text{ m}}}$

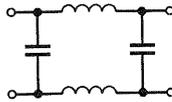
1.2.2 Strom- und Spannungsquellen

TB 201 Im folgenden Bild ist die Spannung am Ausgang einer Stromversorgung dargestellt. Die Restspannung beträgt...



Wenn man eine Spannung aus einem Stromversorgungsgerät an einen Oszillografen anlegt, wird der Strahl je nach Polarität nach oben oder unten ausgelenkt. Wir erkennen aber auch Reste der Netzfrequenz in Form einer Restwelligkeit, die sich dann als Brummspannung bemerkbar machen würde. Oszillografen haben auf dem Bildschirm ein Raster, das in der Ordinate (Y-Achse) in V/cm geeicht ist. Deshalb können wir den Oszillograf zur Spannungsmessung verwenden. Da wir immer den Abstand von einem Extrem zum anderen messen, sprechen wir von dem Wert Spitze-Spitze. Die Auslenkung beträgt in unserem Beispiel 3 V pro Einheit (in der Praxis „cm“) und da die Auslenkung von der einen bis zur anderen Spitze ist genau **eine Einheit** groß ist, beträgt Restwelligkeit **3 V Spitze-Spitze**.

TB 203 Welche der dargestellten Schaltungen könnte in den Netzeingang eines Gerätes eingebaut werden, um HF-Rückfluß in das Stromversorgungsnetz zu verringern?



Die Kondensatoren stellen für die HF einen geringen Widerstand dar. Damit können wir uns die Wirkung für die HF wie einen Kurzschluß vorstellen. Für die niedrige Netzfrequenz haben sie aber einen großen kapazitiven Widerstand, beeinflussen diese also nicht. Die beiden Spulen verhindern zudem ein Abfließen der HF, sie haben für Hochfrequenz einen großen induktiven Widerstand, lassen aber die vergleichsweise äußerst niedrige Netzfrequenz problemlos passieren. Wir sprechen hier von einem Tiefpaß, da die Schaltung die tiefen Frequenzen passieren läßt, die hohen aber sperrt. Im Kapitel 1.4.2. werden wir dazu mehr erfahren.

TB 205 Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,5 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 0,9 A abgibt, sinkt die Klemmenspannung auf 12,4 V. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

geg.: $U_0 = 13,5 \text{ V}$, $U_K = 12,4 \text{ V}$, $I = 0,9 \text{ A}$
 U_0 = Leerlaufspannung
 U_K = Klemmenspannung (unter Belastung)
 R_i = Innenwiderstand der Spannungsquelle

ges.: R_i

Ausgang unserer Berechnung ist das Ohmsche Gesetz: $R = \frac{U}{I}$.

Als Spannung U setzen wir die Spannung ein, die am Innenwiderstand R_i abfällt. Das ist in unserem Fall $U_0 - U_K = 13,5 \text{ V} - 12,4 \text{ V} = 1,1 \text{ V}$. Diesen Wert setzen wir nun in unsere Formel für den Widerstand ein:

$$R_i = \frac{U}{I} = \frac{1,1 \text{ V}}{0,9 \text{ A}} = \underline{1,22 \Omega}$$

Eleganter sieht es natürlich so aus:

$$R_i = \frac{U_0 - U_K}{I} = \frac{13,5 \text{ V} - 12,4 \text{ V}}{0,9 \text{ A}} = \underline{1,22 \Omega}$$

Die Aufgabe **TB 206** ist analog zu dieser hier zu lösen.

TB 207 Die Leerlaufspannung einer Gleichspannungsquelle beträgt 13,5 V. Wenn die Spannungsquelle einen Strom von 1 A abgibt, sinkt die Klemmenspannung auf 12,5 V. Wie groß ist der Wirkungsgrad?

Ein Wirkungsgrad stellt immer ein Verhältnis zwischen zwei Werten dar und kann bekanntlich nie mehr als 100% sein. Folglich müssen wir immer den kleineren Wert durch den größeren teilen.

Achtung! Die Angabe des Stromes ist bei dieser Aufgabe ohne Belang!

$$12,5 \text{ V} : 13,5 \text{ V} \cdot 100 \% = \underline{92,6 \%}$$

Die Aufgabe **TB 208** ist analog zu dieser hier zu lösen.

TB 209 Die Leerlaufspannung einer Spannungsquelle beträgt 5 V. Schließt man einen Belastungswiderstand von $1,2 \Omega$ an, so geht die Klemmenspannung auf 4,8 V zurück. Wie groß ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?

geg.: $U_0 = 5 \text{ V}$, $U_K = 4,8 \text{ V}$, $R = 1,2 \Omega$

ges.: R_i

Im Unterschied zu den Aufgaben **TB 205** und **TB 206** fehlt hier die Angabe des fließenden Stromes. Dieser ist mit der Klemmenspannung $U_K = 4,8 \text{ V}$ und dem Belastungswiderstand $1,2 \Omega$ auszurechnen:

$$I = \frac{U_K}{R} = \frac{4,8 \text{ V}}{1,2 \Omega} = 4 \text{ A}$$

Nun verfahren wir wie bereits gehabt:

$$R_i = \frac{U_0 - U_K}{I} = \frac{5 \text{ V} - 4,8 \text{ V}}{4 \text{ A}} = \underline{\underline{0,05 \Omega}}$$

1.2.3 Elektrisches Feld

TB 301 An den Metallbelägen eines Wickelkondensators mit 0,15 mm starkem Kunststoff-Dielektrikum liegt eine Spannung von 300 V. Wie hoch ist die elektrische Feldstärke zwischen den Metallbelägen?

Diese Aufgabe ist beispielgebend für viele andere, bei denen mit etwas Nachdenken die richtige Lösung gefunden werden sollte. Die vorgegebenen Antworten weisen hier schon auf die richtige Vorgehensweise hin. Es ist eine Spannung durch einen gegebenen Abstand zu teilen, da das Ergebnis, die elektrische Feldstärke, in V/m angegeben wird.

geg.: $U = 300 \text{ V}$, $d = 0,15 \text{ mm}$

ges.: E

$d =$ Plattenabstand

$$E = \frac{U}{d} = \frac{300 \text{ V}}{0,15 \text{ mm}} = \frac{300 \text{ V}}{0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 2000000 \text{ V/m} = \underline{\underline{2000 \text{ kV/m}}}$$

TB 302 Ein Abklatschkondensator am Anodenkreis einer Senderendstufe soll mit einer PTFE-Folie als Dielektrikum hergestellt werden. Die Durchschlagsfestigkeit von PTFE beträgt 400 kV/cm. Wie dick muß die PTFE-Folie mindestens sein, wenn an dem Kondensator mit einer Spannung von 2000 V zu rechnen ist?

geg.: $U = 2000 \text{ V}$, $E = 400 \text{ kV/cm}$

ges.: d

$$E = \frac{U}{d} \quad \Rightarrow \quad d = \frac{U}{E} = \frac{2000 \text{ V}}{400 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot \text{cm}^{-1}} = \frac{2000 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{400 \cdot 10^3} = 0,00005 \text{ m} = \underline{\underline{0,05 \text{ mm}}}$$

Zur Erklärung sei für die, deren Schulzeit schon etwas zurückliegt, folgendes gesagt: Zunächst wurden die gegebenen Werte, so wie sie sind, in die Formel eingesetzt. Die Größe Volt kürzt sich weg und die Größe cm^{-1} wird als m in den Zähler gebracht. Das Ergebnis wurde dann in mm umgerechnet.

TB 303 Ein Abklatschkondensator am Anodenkreis einer Senderendstufe hat eine 0,15 mm starke PTFE-Folie als Dielektrikum. Die Durchschlagsfestigkeit von PTFE beträgt 400 kV/cm. Wie groß wäre die maximale Spannung, die an den Kondensator angelegt werden kann, ohne daß die Folie durchschlagen wird?

geg.: $d = 0,15 \text{ mm}$, $E = 400 \text{ kV/cm}$

ges.: U

$$E = \frac{U}{d} \quad \Rightarrow \quad U = E \cdot d = 400 \text{ kV} \cdot 10^2 \text{ m}^{-1} \cdot 0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m} = 400 \cdot 10^3 \text{ V} \cdot 10^2 \cdot 0,15 \cdot 10^{-3}$$

10^3 (von kV) und 10^{-3} (von mm) sowie die Maßeinheiten m^{-1} (von der Bezeichnung „pro cm“) und m (von der Dicke des Dielektrikums) heben sich auf:

$$= 400V \cdot 10^2 \cdot 0,15 = 6000V = \underline{6 \text{ kV}}$$

Bitte beachten Sie hierbei die Wandlung der Exponenten bei Multiplikation.

1.2.4 Magnetisches Feld

TB 401 Ein Ringkern hat einen mittleren Durchmesser von 2,6 cm und trägt 6 Windungen Kupferdraht. Wie groß ist die mittlere magnetische Feldstärke im Ringkern, wenn der Strom 2,5 A beträgt?

Aus unserer Formelsammlung entnehmen wir zunächst einmal die Formel für die magnetische Feldstärke:

geg.: $d = 2,6 \text{ cm}$, $n = 6$

ges.: H

$$H = \frac{I \cdot n}{l_m}$$

$$l_m = d \cdot \pi = 2,6 \text{ cm} \cdot \pi = 8,17 \text{ cm}$$

$$= \frac{2,5 \text{ A} \cdot 6}{8,17 \text{ cm}} = \frac{2,5 \text{ A} \cdot 6}{8,17 \cdot 10^{-2} \text{ m}} = 183,6 \text{ A/m} \approx \underline{184 \text{ A/m}}$$

TB 402 Eine Spule ohne Eisenkern erzeugt eine Feldstärke von 200 A/m. Wie groß ist die magnetische Flußdichte?

Bemerkung: Wenn Sie diese Frage auf Ihrem Prüfungsbogen haben, haben Sie ein Problem. In der Formelsammlung des Fragenkatalogs finden Sie nämlich keine Angabe zu den Permeabilitätskonstanten, weder μ_0 noch μ_r . Ich erlaube mir, hier Erste Hilfe zu leisten:

$$\mu_0 = \text{magnetische Feldkonstante} \quad \mu_0 = \frac{4\pi \cdot V_S}{10^7 \text{ Am}} \approx 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{V_S}{\text{Am}} \quad (\text{oder } \frac{H}{m})$$

$\mu_r =$ relative Permeabilität (Konstante, die vom jeweiligen Kernwerkstoff abhängig ist)

Doch nun zur **Berechnung:**

$$\text{geg.: } H = 200 \text{ A/m}, \mu_0 = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{V_S}{\text{Am}} \quad (\text{kein Eisenkern}) \quad \text{ges.: } B$$

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H = 1,257 \cdot 10^{-6} \frac{V_S}{\text{Am}} \cdot 200 \text{ Am}^{-1} = 0,00025 \frac{V_S}{m^2} = \underline{0,25 \text{ mT}}$$

T = Tesla, die Maßeinheit der magnetischen Flußdichte

Uff, das wäre geschafft. Und nun die gute Nachricht: Der Rest dieses Kapitels ist Allgemeinwissen und ich muß nicht darauf eingehen.

1.2.5 Elektromagnetisches Feld

elektrisches Feld = E-Feld magnetisches Feld = H-Feld

TB 503 Die Polarisation einer elektromagnetischen Welle wird durch...

a) die Richtung des elektrischen Feldes (Vektor des E-Feldes) angeben.

Bemerkung: Hier liegt ein **Druckfehler** im Fragenkatalog bei Antwort a) vor

TB 510 Die Wellenlänge eines 100-MHz-Signals im Freiraum beträgt...geg.: $f = 100 \text{ MHz}$ ges.: λ

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300000 \text{ km s}^{-1}}{100 \text{ MHz}} = \frac{300000 \cdot 10^3 \text{ m s}^{-1}}{100 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}} = \frac{300000 \cdot 10^3 \text{ m}}{100 \cdot 10^6} = \underline{\underline{3 \text{ m}}}$$

Dieses Ergebnis sollte man als Funkamateuer auch ohne Berechnung kennen, denn es gibt folgende Reihe im Zusammenhang zwischen Frequenz und Wellenlänge:

$\lambda = 100 \text{ m}$	=	3 MHz	Beginn des Kurzwellenbereiches (Deka-Meterwellen)
$\lambda = 30 \text{ m}$	=	10 MHz	
$\lambda = 10 \text{ m}$	=	30 MHz	Beginn des UKW-Bereiches (Meterwellen)
$\lambda = 3 \text{ m}$	=	100 MHz	
$\lambda = 0,1 \text{ m}$	=	300 MHz	Beginn des UHF-Bereiches (Dezimeterwellen)
$\lambda = 0,3 \text{ m}$	=	1 GHz	
$\lambda = 0,01 \text{ m}$	=	3 GHz	Beginn des SHF-Bereiches (Zentimeterwellen)
\vdots		\vdots	

TB 511 Eine Halbwelle beträgt im Freiraum bei 30 MHz...

Das Ergebnis sollten kennen wir, da wir uns mit der vorstehenden Tabelle vertraut gemacht haben. Wir wissen, daß 30 MHz einer Wellenlänge von 10 m entsprechen.

Die halbe Wellenlänge (Halbwelle) beträgt also 5 m.

TB 512 Welche Frequenz entspricht einer Wellenlänge von 30 mm im Vakuum?

Wir erkennen natürlich sofort, daß 30 mm 3 cm sind, es sich also um Zentimeterwellen handelt und daß dann die Frequenz von 10 GHz dazu gehören muß.

So einfach ist Amateurfunkprüfung (manchmal)! Und weil das so gut geht, kennen wir natürlich auch sofort das Ergebnis der Aufgabe **TB 513**.

TB 514 Eine vertikale Dipolantenne wird mit 10 W Senderleistung direkt gespeist. Welche elektrische Feldstärke ergibt sich bei Freiraumausbreitung in 10 m Entfernung?geg.: $P = 10 \text{ W}$, $d = 10 \text{ m}$, $Z = 50 \Omega$ (Dipolantenne) ges.: E

$$E = \frac{U}{d} \qquad P = \frac{U^2}{Z} \qquad U = \sqrt{P \cdot Z} = \sqrt{10 \text{ W} \cdot 50 \Omega} = 22,3 \text{ V}$$

$$= \frac{22,3 \text{ V}}{10 \text{ m}} = 2,23 \text{ V/m} \approx \underline{\underline{2,2 \text{ V/m}}}$$

TB 515 Eine Yagiantenne mit 12,2 dBi Antennengewinn wird mit 250 W Senderleistung direkt gespeist. Welche elektrische Feldstärke ergibt sich bei Freiraumausbreitung in 30 m Entfernung?

Achtung! Hier ist eine Falle. Der **Antennengewinn** ist in **dBi** angegeben. Wir müssen diesen Antennengewinn, der einen Isotropstrahler (theoretisches Gebilde, muß man sich als eine unendlich kleine Antenne mit einer kugelförmigen Ausbreitungscharakteristik vorstellen) zur Vergleichsbasis hat, erst auf den Gewinn gegenüber einem Dipol umrechnen. Dazu müssen wir etwa 2,2 dB abziehen.

Die Aufgabe ähnelt der vorherigen.

geg.: $G_Y = 12,2 \text{ dBi}$, $P = 250 \text{ W}$, $d = 30 \text{ m}$, $Z = 50 \Omega$

ges.: E

G_Y = Gewinn der Yagiantenne in dBi
ERP = Strahlungsleistung d. Antenne

$$G = G_Y - 2,2 \text{ dB} = 12,2 \text{ dB} - 2,2 \text{ dB} = 10 \text{ dB}$$

Wir sollten **wissen**, eine Leistungsverstärkung von 10 dB entspricht dem Faktor 10.

$$\text{ERP} = 250 \text{ W} \cdot 10 \text{ dB} = 2500 \text{ W}$$

Das bedeutet, wir strahlen in der Hauptrichtung mit der Yagiantenne so stark, als hätten wir zum Vergleich an einem Dipol 2500 W.

$$U = \sqrt{P \cdot Z} = \sqrt{2500 \text{ W} \cdot 50 \Omega} = 353,6 \text{ V}$$

$$E = \frac{U}{d} = \frac{353,6 \text{ V}}{30 \text{ m}} = 11,79 \text{ V/m} \approx \underline{\underline{11,8 \text{ V/m}}}$$

TB 516 Welche elektrische Feldstärke E herrscht in der Mitte der dargestellten, symmetrisch aufgebauten Meßzelle, wenn der angeschlossene Sender 1 W Ausgangsleistung liefert?

geg.: $p = 1 \text{ W}$, $Z = 50 \Omega$, $d = 25 \text{ cm}$

ges.: E

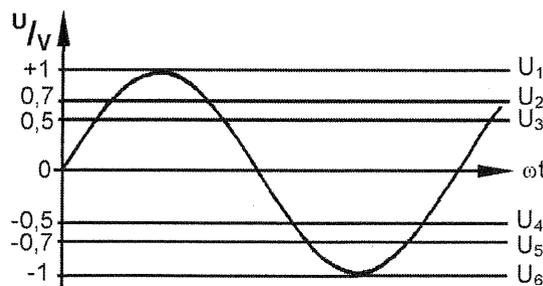
$$E = \frac{U}{d} = \frac{7,07 \text{ V}}{25 \text{ cm}} = \frac{7,07 \text{ V}}{0,25 \text{ m}} = 28,28 \text{ V/m} \approx \underline{\underline{28,3 \text{ V/m}}}$$

$$U = \sqrt{P \cdot Z} = \sqrt{1 \text{ W} \cdot 50 \Omega} = 7,07 \text{ V}$$

1.2.6 Sinusförmige Signale

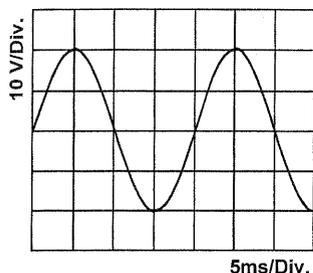
TB 601 Welche der im folgenden Diagramm eingezeichneten Gleichspannungen ($U_1 \dots U_6$) setzen an einem Wirkwiderstand die gleiche Verlustleistung um wie die dargestellte sinusförmige Wechselspannung?

Hier ist auf komplizierte Art nach der Effektivspannung gefragt. Wir sollten uns den Wert 0,7 unbedingt merken. Er wird uns bei sinusförmigen Spannungen und Strömen noch oft begegnen. Der Wert 0,7 (genauer: 0,707) mit dem die Spitzenspannung zu multiplizieren ist, gilt aber **nur für sinusförmige** Spannungen und Ströme.



Andere Bezeichnungen für 0,707 sind: $\sqrt{\frac{1}{2}}$ und -3dB.

TB 602 Wie groß ist der Spitzen-Spitzen-Wert (U_{ss}) der in der Abbildung dargestellten Spannung?

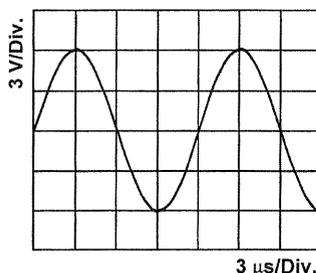


Zur Lösung sind die Kästchen der Ordinate (Spannungsachse) zu zählen und mit der Größe der Einheit für ein Kästchen zu multiplizieren.

Lösung: $4 \cdot 10 \text{ V} = \underline{40 \text{ V}_{ss}}$

Wir erinnern uns hier an die Aufgabe **TB 201**. Bei der folgenden Aufgabe ist ebenso zu verfahren.

TB 604 Welche Frequenz hat die in diesem Oszillogramm dargestellte Spannung?



Wir erkennen, daß für eine komplette Schwingung 4 Kästchen benötigt werden. Ein Kästchen entspricht $3 \mu\text{s}$, insgesamt vergehen für eine Schwingung $4 \cdot 3 \mu\text{s} = 12 \mu\text{s}$. Die Zeit für eine komplette Schwingung nennen wir Schwingungsdauer, abgekürzt: „ t “.

Es gilt:
$$f = \frac{1}{t} = \frac{1}{12 \mu\text{s}} = \frac{1}{12 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 83333 \text{ s}^{-1}.$$

Das bedeutet 83333 Schwingungen pro Sekunde, also **83,3 kHz**.

Bei den beiden folgenden Aufgaben ist ebenso zu verfahren.

TB 607 Ein sinusförmiges Signal hat einen Effektivwert von 12 V. Wie groß ist der Spitze-Spitze-Wert?

$$U_{ss} = 2 \cdot U_{\text{eff}} \cdot 1,414 = 2 \cdot 12 \text{ V} \cdot 1,414 = \underline{33,9 \text{ V}}$$

Andere Bezeichnungen für 1,414 sind: $\sqrt{2}$ und 3dB.

TB 608 Der Spitzenwert der häuslichen 230-V-Stromversorgung ist...

$$U_s = U_{\text{eff}} \cdot 1,414 = 230 \text{ V} \cdot 1,414 = \underline{325 \text{ V}}$$

Bei der Aufgabe **TB 609** ist ebenso wie bei der Aufgabe **TB 607** zu verfahren. Wir erkennen am Ergebnis, daß der Spitze-Spitze-Wert immer doppelt so groß ist wie der Spitzenwert.

TB 610 Ein sinusförmiger Wechselstrom mit einer Amplitude (I_{max}) von 0,5 A fließt durch einen Widerstand von 20 Ohm. Wie hoch ist die aufgenommene Leistung?

Zunächst ist der Effektivwert des Stromes zu bestimmen:

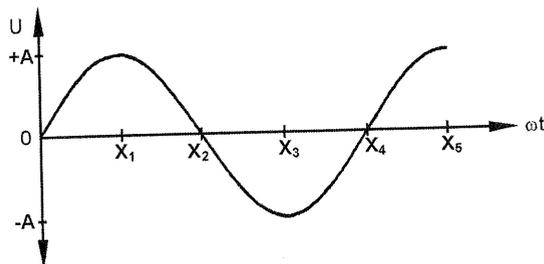
$$I_{\text{eff}} = I_s \cdot 0,707 = 0,5 \text{ A} \cdot 0,707 = 0,35 \text{ A}$$

Dann setzt man diesen Strom in die Formel für die Leistung ein.

$$P = I^2 \cdot R = (0,35 \text{ A})^2 \cdot 20 \Omega = \underline{2,45 \text{ W}}$$

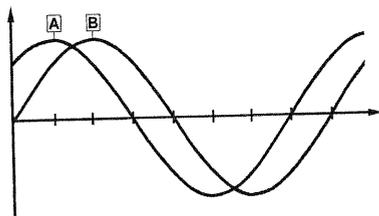
Antwort a) ist richtig, die Abweichung entsteht durch Rundungen.

TB 611 Welche Antwort enthält den richtigen Phasenwinkel einer sinusförmigen Wechselspannung an der mit X_3 bezeichneten Stelle?



Eine komplette Schwingung umfaßt 360° . Bei Punkt X_3 sind folglich 270° erreicht.

TB 612 Die Phasendifferenz zwischen den beiden in der Abbildung dargestellten Sinussignalen beträgt...



Besonders deutlich läßt sich die Phasendifferenz bei den Nulldurchgängen ablesen. Die Differenz beträgt $1/8$ einer ganzen Schwingung folglich $360^\circ : 8 = \underline{45^\circ}$.

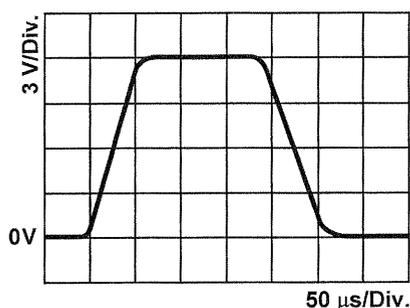
Die folgenden Aufgaben dieses Kapitels ähneln der Aufgabe **TB 510** und können selbständig gelöst werden.

1.2.7 Nichtsinusförmige Signale

TB 701 Ein symmetrisches Rechtecksignal hat eine Grundfrequenz von 1500 Hz. Welche Frequenzen sind in diesem Signal enthalten?

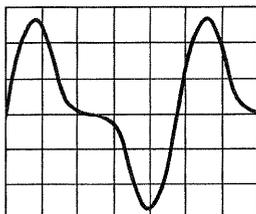
Es sind in einem **Rechtecksignal** immer **alle ungeradzahigen** Vielfachen der Grundfrequenz enthalten, also $3 \cdot 1500 \text{ Hz} = 4500 \text{ Hz}$, $5 \cdot 1500 \text{ Hz} = 7500 \text{ Hz}$, ...

TB 702 Die Impulsdauer beträgt hier...



Die mittlere Impulsbreite beträgt 4 Einheiten á. $50 \mu\text{s} = 200 \mu\text{s} = \underline{\underline{0,2 \text{ ms}}}$.

TB 705 Welche Schwingungen sind in der folgenden Wechselspannung enthalten?



Die Schwingung ähnelt eher einem Dreieck. Deshalb ist außer der Grundschwingung (1. Harmonische) auch die 2. Harmonische enthalten (**geradzahlig Vielfache**).

TB 706 Welche Schwingungen sind in der folgenden Wechselspannung enthalten?



Die Schwingung ähnelt eher einem Rechteck. Deshalb ist außer der Grundschwingung (1. Harmonischen) auch die 3. Harmonische enthalten (**ungeradzahlig Vielfache**).

1.2.8 Modulierte Signale

TB 802 Ein Träger von 7,05 MHz wird mit der NF-Frequenz von 2 kHz amplitudenmoduliert. Welche Frequenzen treten im modulierten Signal auf?

Beim Modulieren werden aus der Träger- und der NF-Frequenz die Summe und die Differenz gebildet. Es entstehen die Frequenzen: $f_T \pm f_{NF}$.

$$f_1 = 7,05 \text{ MHz} + 2 \text{ kHz} = 7,05 \text{ MHz} + 0,002 \text{ MHz} = \underline{7,052 \text{ MHz}} \text{ und}$$

$$f_2 = 7,05 \text{ MHz} - 2 \text{ kHz} = 7,05 \text{ MHz} - 0,002 \text{ MHz} = \underline{7,048 \text{ MHz}}.$$

Es handelt sich um eine Amplitudenmodulation (kein SSB-Signal), folglich ist auch noch der Träger, nämlich 7,05 MHz vorhanden.

TB 803 Ein Träger von 145 MHz wird mit der NF-Frequenz von 2 kHz und einem Hub von 1,8 kHz frequenzmoduliert. Welche Frequenzen treten im modulierten Signal auf?

Es entstehen wieder die Frequenzen: $f_T \pm f_{NF}$.

$$f_1 = 145 \text{ MHz} + 2 \text{ kHz} = 145 \text{ MHz} + 0,002 \text{ MHz} = \underline{145,002 \text{ MHz}} \text{ und}$$

$$f_2 = 145 \text{ MHz} - 2 \text{ kHz} = 145 \text{ MHz} - 0,002 \text{ MHz} = \underline{144,998 \text{ MHz}}.$$

Es handelt sich um eine Frequenzmodulation (kein SSB-Signal), folglich ist auch noch der Träger, nämlich 145 MHz vorhanden.

Die Angabe des Hubes von 1,8 kHz interessiert hier nicht.

Alle anderen Aufgaben dieses Abschnitts sind im Fragenkatalog hinreichend erklärt.

1.2.9 Leistung und Energie

Die Fragen und Aufgaben zu Beginn dieses Kapitels sind ausreichend im Fragenkatalog beantwortet. Die Antwort bei Aufgabe **TB 906** liest sich allerdings wie ein deutscher Gesetzestext. Deshalb möchte ich hier dazu einige Ausführungen machen.

Es wird gemeint, daß die Leistung bei der oberen und unteren durch unser Signal belegten Frequenzgrenze auf 0,5 % der normalen Leistung abgesunken ist. Und, obwohl es nicht Bestandteil der Frage ist, es sich aber anbietet, wollen wir doch gleich einmal ausrechnen, wie viel dB das sind.

geg.: 0,5 % der Leistung ges.: D

$$0,5 \% = 0,5 \cdot 10^{-2} \quad \Rightarrow \quad V_p = 10 \cdot \log 0,5 \cdot 10^{-2} = 23 \text{ dB}$$

TB 910 Wie wird die EIRP ermittelt?

Die Antwort ist etwa die gleiche wie bei Aufgabe TB 909. Nur sind die Antennengewinne G_{Antenne} auf den Isotropstrahler bezogen (deshalb das „I“ bei EIRP).

TB 914 Ein 10-Ω-Widerstand, durch den 2 A fließen, gibt...

geg.: $R = 10 \Omega$, $I = 2 \text{ A}$ ges.: P

$$P = R \cdot I^2 = 10 \Omega \cdot (2 \text{ A})^2 = \underline{40 \text{ W}} \text{ Wärmeleistung ab.}$$

TB 915 An einem Kondensator mit einer Kapazität von $1 \mu\text{F}$ wird eine NF-Spannung von 10 kHz und $12 \text{ V}_{\text{eff}}$ angelegt. Wie groß ist die aufgenommene Wirkleistung im eingeschwungenen Zustand?

Die Wirkleistung ist bei einem Kondensator immer fast Null, da infolge seines Aufbaus (Dielektrikum zwischen den Platten) gar kein Strom über den Kondensator fließt.

TB 916 Ein $100\text{-}\Omega$ -Widerstand, an dem 10 V anliegen, muß mindestens eine Belastbarkeit von

geg.: $R = 100 \Omega$, $U = 10 \text{ V}$ ges.: P

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{10^2 \text{ V}^2}{100 \Omega} = \frac{100}{100} \text{ W} = \underline{1 \text{ W}} \text{ haben.}$$

TB 917 Eine Glühlampe hat einen Nennwert von 12 V und 48 W . Bei einer 12-V -Versorgungsspannung beträgt die Stromaufnahme...

geg.: $U = 12 \text{ V}$, $P = 48 \text{ W}$ ges.: I

$$P = U \cdot I \quad I = \frac{P}{U} = \frac{48 \text{ W}}{12 \text{ V}} = \underline{4 \text{ A}}$$

TB 918 Der Effektivwert der Spannung an einer künstlichen $50\text{-}\Omega$ -Antenne wird mit 100 V gemessen. Die Leistung an der Last beträgt...

An dieser Stelle sei zunächst einmal erklärt, daß eine **künstliche Antenne** ein Gebilde aus rein Ohmschen Widerständen darstellt, das man u.a. zu Meßzwecken an den Antennenausgang des Senders schaltet. Der Widerstand muß dem des Antennenausgangs (in der Regel 50Ω) gleich sein und in der Belastbarkeit mindestens der Ausgangsleistung des Senders entsprechen. Doch nun zur eigentlichen Aufgabe:

geg.: $Z = 50 \Omega$, $P = 100 \text{ V}$ ges.: P

$$P = \frac{U^2}{Z} = \frac{(100 \text{ V})^2}{50 \Omega} = \underline{200 \text{ W}}$$

TB 919 Eine künstliche $50\text{-}\Omega$ -Antenne besteht aus elf $560\text{-}\Omega$ -Widerständen mit einem Belastungsnennwert von jeweils 5 W . Wie hoch ist die zulässige Gesamtbelastung, die abgegeben werden darf?

geg.: $n = 11$, $P = 5 \text{ W}$ ges.: P_{ges}

$$P_{\text{ges}} = n \cdot P = 11 \cdot 5 \text{ W} = \underline{55 \text{ W}}$$

TB 920 Ein mit einem $10\text{-k}\Omega$ -Widerstand in Serie geschaltetes Amperemeter zeigt 5 mA an. Die vom Widerstand aufgenommene Leistung beträgt...

geg.: $R = 10 \text{ k}\Omega$, $I = 5 \text{ mA}$ ges.: P

$$P = I^2 \cdot R = (5 \text{ mA})^2 \cdot 10 \text{ k}\Omega = (5 \cdot 10^{-3} \text{ A})^2 \cdot 10 \cdot 10^3 \Omega = \underline{0,250 \text{ W}}$$

Bei Aufgabe **TB 921** ist ebenso zu verfahren.

TB 922 Ein HF-Verstärker ist an eine 12,5-V-Gleichspannung angeschlossen. Wenn die HF-Ausgangsleistung 90 W beträgt, zeigt das an die Stromversorgung angeschlossene Amperemeter 16 A an. Der Wirkungsgrad des Verstärkers beträgt demnach...

geg.: $U = 12,5 \text{ V}$, $I = 16 \text{ A}$, $P_{\text{HF}} = 90 \text{ W}$

$$P = U \cdot I = 12,5 \text{ V} \cdot 16 \text{ A} = 200 \text{ W}$$

ges.: η $\eta = \text{Wirkungsgrad (sprich: Eta)}$

$$\eta = \frac{90 \text{ W}}{200 \text{ W}} = 0,45 = \underline{45 \%}$$

TB 923 Eine HF-Ausgangsleistung von 100 W wird in eine angepaßte Übertragungsleitung eingespeist. Am antennenseitigen Ende der Leitung beträgt die Leistung 50 W bei einem Stehwellenverhältnis von 1 : 1. Wie hoch ist die Leitungsdämpfung?

geg.: $P_1 = 100 \text{ W}$, $P_2 = 50 \text{ W}$

ges.: D

Wir könnten hier die Dämpfung mit der Formel für das Leistungsverhältnis ausrechnen. 50 W ist die Hälfte von 100 W. Wenn wir uns dann noch erinnern, daß ein Leistungsverhältnis von 1:2 immer **3 dB** beträgt, können wir uns die Rechnerei sparen und aus der mittelschweren Prüfungsfrage wird plötzlich eine leichte.

TB 924 Ein Spannungsmesser und ein Amperemeter werden für die Ermittlung der Gleichstromeingangsleistung einer Schaltung verwendet. Der Spannungsmesser zeigt 10 V und das Amperemeter 1 A an. Falls beide dabei im Rahmen ihrer Meßgenauigkeit einen um 5 % geringeren Wert anzeigen würden, entspräche die tatsächliche Leistung...

$$P = U \cdot I = 10 \text{ V} \cdot 1,05 \cdot 1 \text{ A} \cdot 1,05 = 11,025 \text{ W}$$

Achtung! Es wird in der Aufgabenstellung behauptet, die Instrumente zeigen zu wenig an und es ist die wirkliche Leistung gesucht. Deshalb sind die 5 % zu den Anzeigewerten hinzuzurechnen. Wir erinnern uns an unsere Schulzeit, in der wir erfuhren, daß 100% = 1 und 5 % fünf Hundertstel oder auch 0,05 sind. Folglich sind **105 % = 1,05**. Na bitte schön, Prozentrechnung beherrschen wir nun auch wieder!

TB 925 bis TB 927 beschäftigen sich mit der Umstellung der Leistungsformel, was hier nur einmal an einem Beispiel demonstriert werden sollte. Wer dabei Probleme hat, sollte die Aufgaben als Übungsstoff betrachten.

geg.: P , R ges.: U

$$P = U \cdot I$$

Der Strom ist aber nicht gegeben. Wir wissen aber vom Ohmschen Gesetz,

daß $I = \frac{U}{R}$ ist.

Nun setzen wir dies in unsere Ausgangsformel ein:

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

Diese Formel haben wir in unserer Formelsammlung!

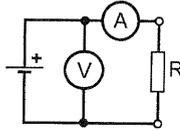
Nun kommen wir zur eigentlichen Lösung:

Wir wissen jetzt: $P = \frac{U^2}{R} \Rightarrow U^2 = P \cdot R \Rightarrow U = \sqrt{P \cdot R}$

1.3 Elektrische und elektronische Bauteile

1.3.1 Widerstand

TC 102 Welche Schaltung könnte dazu verwendet werden, den Wert eines Widerstandes anhand des Ohmschen Gesetzes zu ermitteln?



Spannungsmesser (Voltmeter) werden immer parallel, Strommesser (Amperemeter) immer in Reihe zu dem Meßobjekt geschaltet.

TC 105 Drahtwiderstände

Sind besonders als Hochlastwiderstände bei niedrigen Frequenzen geeignet. Der Aufbau gleicht dem einer Spule und so verhalten sich Drahtwiderstände bei Hochfrequenz auch. Deshalb niemals einen solchen Widerstand für HF-Meßzwecke einsetzen. Die Schaltung könnte es übel nehmen!

TC 107 Ein Widerstand von $50 \text{ k}\Omega$ hat eine maximale Spannungsfestigkeit von $0,7 \text{ kV}$ und eine maximale Belastbarkeit von 2 Watt . Welche Gleichspannung darf höchstens an den Widerstand angelegt werden, ohne ihn zu zerstören?

geg.: $R = 50 \text{ k}\Omega$, $P = 2 \text{ W}$ ges.: U

$$P = \frac{U^2}{R} \quad \Rightarrow \quad U = \sqrt{P \cdot R} = \sqrt{2 \text{ W} \cdot 50 \cdot 10^3 \Omega} = \sqrt{100000} = \underline{\underline{316 \text{ V}}}$$

Bitte lassen Sie sich nicht durch die $0,7 \text{ kV}$ irritieren. Bei einer höheren Spannung als 316 V wird mehr Wärme als die erlaubten 2 W am Widerstand umgesetzt und er verbrennt.

TC 108 Welche Belastbarkeit muß ein Vorwiderstand haben, an dem bei einem Strom von 48 mA eine Spannung von 208 V abfallen soll?

geg.: $I = 48 \text{ mA}$, $U = 208 \text{ V}$ ges.: P

$$P = U \cdot I = 208 \text{ V} \cdot 48 \text{ mA} = 208 \text{ V} \cdot 48 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 9,98 \text{ W} \approx \underline{\underline{10 \text{ W}}}$$

TC 109 Ein Widerstand von 120Ω hat eine Belastbarkeit von 23 Watt . Welcher Strom darf höchstens durch den Widerstand fließen, damit er nicht überlastet wird?

geg.: $R = 120 \Omega$, $P = 23 \text{ W}$ ges.: I

$$P = R \cdot I^2 \quad \Rightarrow \quad I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{23 \text{ W}}{120 \Omega}} = 0,438 \text{ A} = \underline{\underline{438 \text{ mA}}}$$

TC 110 Welche Spannung läßt einen Strom von 2 A durch einen Widerstand von 50 Ohm fließen?

Geg.: $R = 50 \Omega$, $I = 2 \text{ A}$ ges.: U

$$U = R \cdot I = 50 \Omega \cdot 2 \text{ A} = \underline{\underline{100 \text{ V}}}$$

TC 111 Welcher Widerstand ist erforderlich, um einen Strom von 3 A bei einer Spannung von 90 Volt fließen zu lassen?

geg.: $U = 90 \text{ V}$, $I = 3 \text{ A}$ ges.: R

$$R = \frac{U}{I} = \frac{90 \text{ V}}{3 \text{ A}} = \underline{30 \Omega}$$

TC 112 Ein Widerstand hat die Toleranz von 15 %. Bei einem normalen Widerstandswert von 5,6 k Ω liegt der tatsächliche Wert zwischen...

geg.: $R = 5,6 \text{ k}\Omega$, Toleranz = 15 % ges.: Toleranzgrenzen R_{\min} , R_{\max}

$$R_{\min} = R \cdot (1 - 15 \%) = 5,6 \text{ k}\Omega \cdot 0,85 = 5600 \Omega \cdot 0,85 = \underline{4760 \Omega}$$

$$R_{\max} = R \cdot (1 + 15 \%) = 5,6 \text{ k}\Omega \cdot 1,15 = 5600 \Omega \cdot 1,15 = \underline{6440 \Omega}$$

TC 113 eine Glühlampe hat einen Nennwert von 12 V und 3 W. Wie viel Strom fließt bei einem Anschluß an 12 V?

geg.: $U = 12 \text{ V}$, $P = 3 \text{ W}$ ges.: I

$$P = U \cdot I \quad \Rightarrow \quad I = \frac{P}{U} = \frac{3 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 0,25 \text{ A} = \underline{250 \text{ mA}}$$

TC 114 Zwei parallelgeschaltete 10-k Ω -Widerstände sind an eine 5-V-Gleichstromversorgung angeschlossen. Die gesamte Stromaufnahme beträgt...

geg.: $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$, $U = 5 \text{ V}$ ges.: I

Bei dieser Aufgabe müssen wir zunächst den Gesamtwiderstand $R_1 \parallel R_2$ ausrechnen. Wir prägen uns folgenden Lehrsatz ein: **Bei einer Parallelschaltung von Widerständen ist der Gesamtwiderstand kleiner als der kleinste Einzelwiderstand.**

Bei der Parallelschaltung gleicher Widerstände haben wir es einfach, wir müssen nur den Widerstandswert durch die Anzahl der Widerstände teilen. Bei Aufgabe **TB 919** hatten wir es schon einmal mit solch einem Fall zu tun. Wir erinnern uns, daß dort aus elf 560- Ω -Widerständen eine künstliche Antenne von 50 Ohm hergestellt wurde ($560 \Omega : 11 = 50,91 \Omega$ - für die Praxis 50 Ω). Doch nun weiter mit unserer Aufgabe:

$$R_1 \parallel R_2 = 10 \text{ k}\Omega \parallel 10 \text{ k}\Omega = 5 \text{ k}\Omega \quad I = \frac{U}{R} = \frac{5 \text{ V}}{5 \cdot 10^3 \Omega} = 0,001 \text{ A} = \underline{1 \text{ mA}}$$

TC 115 Ein Oszilloskop zeigt einen Spitzen-Spitzen-Wert von 25 V an einem 1000- Ω -Widerstand an. Der Effektivstrom durch den Widerstand beträgt...

geg.: $U_{ss} = 25 \text{ V}$, $R = 1000 \Omega$ ges.: I_{eff}

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{ss}}{2} \cdot 0,707 = \frac{25 \text{ V}}{2} \cdot 0,707 = 8,8 \text{ V}$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{eff}}}{R} = \frac{8,8 \text{ V}}{1000 \Omega} = 0,0088 \text{ A} = \underline{8,8 \text{ mA}}$$

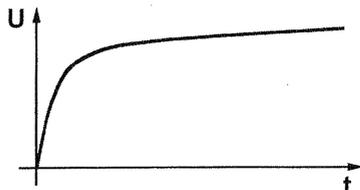
TC 116 Ein Lastwiderstand besteht aus zwölf parallelgeschalteten 600-Ω-Drahtwiderständen. Er eignet sich höchstens ...

für Tonfrequenzen bis etwa 15 kHz.

Die Werte sind hier völlig gleichgültig. Es sind Drahtwiderstände und die eignen sich nun einmal nur für niedrige Frequenzen (siehe dazu auch Aufgabe **TC 105!**).

1.3.2 Kondensator

TC 202 Welches der nachfolgenden Diagramme zeigt den zeitlichen Verlauf der Spannung beim Aufladen eines Kondensators über einen Widerstand mit der Gleichspannung U?



Der Verlauf der der Spannung wird einleuchtend, wenn wir daran denken, daß der Kondensator am Anfang überhaupt keine Ladung hat, die dann aber beim Aufladen bis zur Sättigung ansteigt. Ist der Kondensator geladen, d.h. seine Beläge sind voll, so bleibt die Spannung etwa konstant. Wir können uns den Vorgang vorstellen wie bei einem Omnibus, der zunächst leer ist. Zu Beginn steigen viele Leute in kurzer Zeit ein. Dann wird es eng, und es dauert länger mit dem Zustieg. Schließlich ist der Bus voll und es ändert sich nichts mehr.

TC 205 Wie verhält sich der komplexe Widerstand eines verlustbehafteten Kondensators bei steigender Frequenz?

Er wird kleiner, weil sich die Kreisfrequenz ω (Omega) erhöht

Die Antwort können wir auf den kapazitiven Widerstand reduzieren (alles andere ist etwas für Akademiker). Es gilt: Der kapazitive Widerstand sinkt mit steigender Frequenz oder je höher die Frequenz, um so kleiner wird der kapazitive Widerstand. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} \quad \omega = 2\pi \cdot f = \text{Kreisfrequenz}$$

TC 207 Wie hoch ist der kapazitive Blindwiderstand eines 10-pF-Kondensators bei 100 MHz?

geg.: $C = 10 \text{ pF}$, $f = 100 \text{ MHz}$ ges.: x_c

$$x_c = \frac{1}{\omega \cdot C} = \frac{1}{2\pi f \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \text{ MHz} \cdot 10 \text{ pF}} = \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 10 \cdot 10^{-12} \text{ F}} = \underline{\underline{159 \Omega}}$$

TC 208 An einem unbekanntem Kondensator liegt eine Wechselspannung mit 16 V und 50 Hz. Es wird ein Strom von 32 mA gemessen. Welche Kapazität hat der Kondensator?

geg.: $U = 16 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $I = 32 \text{ mA}$ ges.: C

$$x_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \quad \Rightarrow \quad C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot x_c} \quad \left| x_c = \frac{U}{I} \right.$$

$$C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot \frac{U}{I}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot \frac{16 \text{ V}}{32 \cdot 10^{-3} \text{ A}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \text{ Hz} \cdot 500 \text{ VA}^{-1}}$$

$$= 0,000\,006\,37 \text{ F} = \underline{\underline{6,37 \mu\text{F}}}$$

TC 210 Wie verhält sich der Blindwiderstand eines Kondensators mit zunehmender Frequenz?

Siehe Aufgabe TC 105!

TC 212 Ein HF-Abklatchkondensator am Anodenkreis einer Senderendstufe hat eine Plattenfläche von 60 cm^2 und eine $0,15 \text{ mm}$ starke PTFE-Folie als Dielektrikum. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

geg.: $A = 60 \text{ cm}^2$, $d = 0,15 \text{ mm}$, Dielekt. PTFE ($\epsilon_r = 2,0$) ges.: C

$$\Rightarrow 60 \text{ cm}^2 = 0,6 \text{ dm}^2 = 0,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2 = 6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{Vm}} \cdot 2,0 \cdot \frac{6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2}{0,15 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{As}}{\text{V}} \cdot 2,0 \cdot \frac{6}{0,15}$$

$$= 7,08 \cdot 10^{-10} \text{ F} = 708 \cdot 10^{-12} \text{ F} = \underline{708 \text{ pF}}$$

1.3.3 Spule

TC 305 Was läßt sich über den komplexen Widerstand einer verlustbehafteten Spule bei steigender Frequenz aussagen?

Die Antwort können wir auch hier auf den induktiven Widerstand reduzieren. Es gilt: Der induktive Widerstand steigt mit steigender Frequenz. Oder: Je höher die Frequenz, um so größer wird der induktive Widerstand. Es gilt folgender Zusammenhang:

$$x_L = \omega \cdot L \quad \omega = 2\pi \cdot f = \text{Kreisfrequenz}$$

Siehe auch Aufgabe TC 304!

TC 308 Mit einem Schalenkern, dessen A_L -Wert mit 250 angegeben ist, soll eine Spule mit einer Induktivität von 2 mH hergestellt werden. Wie groß ist die erforderliche Windungszahl?

geg.: $A_L = 250$, $L = 2 \text{ mH}$ ges.: n

Erklärung: Der A_L -Wert wird in der Regel in nH / Wdg.² angegeben.

$$L = n^2 \cdot A_L \quad \Rightarrow \quad n = \sqrt{\frac{L}{A_L}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{-3} \text{ H}}{250 \cdot 10^{-9} \text{ H} \cdot \text{Wdg.}^{-2}}} = \underline{89 \text{ Wdg.}}$$

Aufgabe TC 311 ist auf gleiche Weise zu lösen.

TC 309 Wie groß ist die Induktivität einer Spule mit 300 Windungen, die auf ein Kernmaterial mit einem A_L -Wert von 1250 gewickelt ist?

Geg.: $n = 300$, $A_L = 1250$ ges.: L

$$L = n^2 \cdot A_L = 300^2 \cdot 1250 \cdot 10^{-9} \text{ H} = 0,1125 \text{ H} = \underline{112,5 \text{ mH}}$$

Aufgabe TC 310 ist auf gleiche Weise zu lösen.

TC 312 Wie groß ist der Wechselstromwiderstand einer Spule mit $3 \mu\text{H}$ Induktivität bei einer Frequenz von 100 MHz ?

geg.: $L = 3 \mu\text{H}$, $f = 100 \text{ MHz}$

ges.: X_L

$$X_L = \omega \cdot L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2\pi \cdot 100 \cdot 10^6 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \text{ H} = \underline{1.885 \Omega}$$

1.3.4 Übertrager und Transformatoren

TC 401 Ein Trafo liegt an 45 Volt und gibt 180 Volt ab. Seine Primärwicklung hat 150 Windungen. Wie groß ist seine Sekundärwindungszahl?

Geg.: $U_1 = 45 \text{ V}$, $U_2 = 180 \text{ V}$, $n_1 = 150$

ges.: n_2

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} \Rightarrow n_2 \cdot U_1 = n_1 \cdot U_2 \Rightarrow n_2 = \frac{n_1 \cdot U_2}{U_1} = \frac{150 \cdot 180 \text{ V}}{45 \text{ V}} = \underline{600}$$

TC 402 Die Primärspule eines Übertragers hat die fünffache Anzahl von Windungen der Sekundärspule. Wie hoch ist die erwartete Sekundärspannung, wenn die Primärspule an eine 250-V -Stromversorgung angeschlossen wird?

geg.: $n_1 = 5 \cdot n_2$, $U_1 = 250 \text{ V}$

ges.: U_2

$$U_2 = U_1 : 5 = 250 \text{ V} : 5 = \underline{50 \text{ V}}$$

TC 403 Eine Transformatorwicklung hat einen Drahtdurchmesser von $0,5 \text{ mm}$. Die zulässige Stromdichte beträgt $2,5 \text{ A/mm}^2$. Wie groß ist der zulässige Strom?

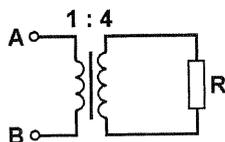
geg.: $d = 0,5 \text{ mm}$, $D_1 = 2,5 \text{ A/mm}^2$

ges.: I_{\max}

$D_1 = \text{Stromdichte}$

$$I_{\max} = A \cdot D_1 = \frac{d^2}{4} \cdot \pi \cdot D_1 = \frac{(0,5 \text{ mm})^2}{4} \cdot \pi \cdot 2,5 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2} = \underline{0,49 \text{ A}}$$

TC 404



In dieser Schaltung ist $R = 16 \text{ k}\Omega$. Die Impedanz zwischen den Anschlüssen A und B beträgt dann

Geg.: $\dot{u} = 1:4$, $R = Z_s = 16 \text{ k}\Omega$

ges.: $R_{AB} = Z_p$

$$\dot{u} = \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} \Rightarrow \dot{u}^2 = \frac{Z_p}{Z_s} \Rightarrow Z_p = \dot{u}^2 \cdot Z_s = \frac{1}{4^2} \cdot 16 \text{ k}\Omega = \frac{16 \text{ k}\Omega}{16} = \underline{1 \text{ k}\Omega}$$

Na, diese Rechnung haben wir nur einmal gemacht. Wir haben nämlich erkannt, daß die Impedanzen (Scheinwiderstände) im Quadrat des Übersetzungsverhältnisses transformiert (übertragen) werden.

In Zukunft rechnen wir nur noch $Z_p = Z_s : \dot{u}^2 = 16 \text{ k}\Omega : 4^2 = \underline{1 \text{ k}\Omega}$.

TC 406 Für die Anpassung einer 300- Ω -Antenne an eine 75- Ω -Übertragungsleitung kann ein Übertrager von...

2 : 1 verwendet werden.

Erklärung: $Z_{1Z} : Z_2 = 300\Omega : 75\Omega = 4 : 1 \Rightarrow \dot{u} = \sqrt{4:1} = \underline{2:1}$

TC 407 Für die Anpassung einer 50- Ω -Übertragungsleitung an eine 600- Ω -Antenne wird ein Übertrager verwendet. Er sollte ein Windungsverhältnis von...

$Z_{1Z} : Z_2 = 50\Omega : 600\Omega = 1 : 12 \Rightarrow \dot{u} = \sqrt{1:12} = \underline{1 : 3,5}$

1.3.5 Diode

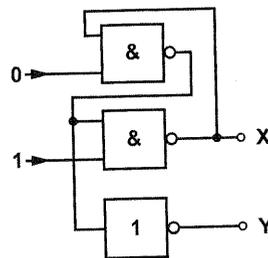
Die Aufgaben sind im Fragenkatalog ausreichend gut beantwortet. Es empfiehlt sich jedoch, im Ortsverband weitergehende Informationen dazu einzuholen.

1.3.6 Transistor

Die Bemerkung unter 1.3.5. gilt hier ebenso.

1.3.7 Einfache digitale und analoge Schaltkreise und sonstige Bauelemente

TC 704 Welche der Aussagen trifft für diese Schaltung zu?

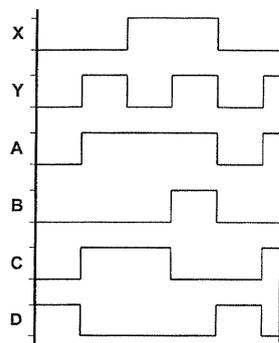


Wir haben es bei dieser Aufgabe mit zwei NAND-Gliedern (**N**ICHT **U**ND, engl.: **AND**) und einem Inverter (Signalumkehrung) zu tun. An einem Eingang des oberen NAND-Gliedes liegt ein 0-Signal. Somit liegt am Ausgang dieses NAND ein 1-Signal.

Ein **NAND**-Glied hat am Ausgang immer eine 1, wenn an mindestens einem Eingang eine 0 ist. Es schaltet nur durch, wenn an beiden Eingängen ein 1-Pegel anliegt. Da der Ausgang negiert ist, würde in diesem Fall am Ausgang ein 0-Signal anliegen.

Das 1-Signal des oberen NAND-Ausgangs geht an den zweiten Eingang des unteren NAND-Gliedes. Dort liegen nun an beiden Eingängen 1-Signale, das Gatter schaltet durch und das Signal wird am Ausgang negiert, d.h. aus den 1-Signalen wird nun ein 0-Signal am Ausgang X. Das 1-Signal vom Ausgang des oberen NAND-Gliedes wird dem Eingang des Negators zugeführt und wird so am Ausgang Y ein 0-Signal.

TC 707 Welches der vier im Bild dargestellten Ausgangssignale A bis D liefert ein ODER-Gatter, wenn an dessen Eingängen die Signale X und Y anliegen?

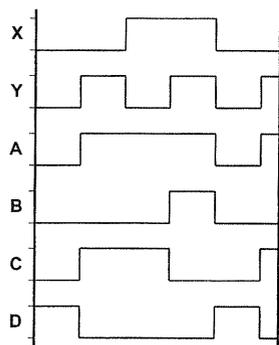


Ein **ODER**-Glied schaltet immer dann, wenn der eine oder andere Eingang oder alle ein 1-Signal haben.

Takt 1:	X = 0, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: A, B, C
Takt 2:	X = 0, Y = 1	→	Sollzustand: Ausgang = 1	→	richtig: A, C
Takt 3:	X = 1, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 1	→	richtig: A, C
Takt 4:	X = 1, Y = 1	→	Sollzustand: Ausgang = 1	→	richtig: A, B
Takt 5:	X = 0, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: A, B, C

Die Kurve A erfüllt alle diese Bedingungen.

TC 708 Welches der vier im Bild dargestellten Ausgangssignale A bis D liefert ein EXOR-Gatter, wenn an dessen Eingängen die Signale X und Y anliegen?

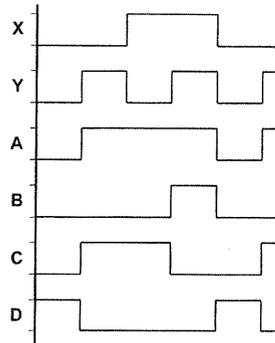


Ein **EXOR**-Glied schaltet immer dann, wenn der eine oder andere Eingang, nicht aber beide ein 1-Signal haben. Da es sich um ein **Exklusiv-ODER** handelt, schaltet es nur, wenn an den Eingängen exklusiv Unterschiede bestehen.

Takt 1:	X = 0, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: A, B, C
Takt 2:	X = 0, Y = 1	→	Sollzustand: Ausgang = 1	→	richtig: A, C
Takt 3:	X = 1, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 1	→	richtig: A, C
Takt 4:	X = 1, Y = 1	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: C, D
Takt 5:	X = 0, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: A, B, C

Die Kurve C erfüllt alle diese Bedingungen.

TC 709 Welches der vier im Bild dargestellten Ausgangssignale A bis D liefert ein UND-Gatter, wenn an dessen Eingängen die Signale X und Y anliegen?



Ein UND-Glied schaltet immer dann, wenn der eine und andere Eingang ein 1-Signal haben.

Takt 1:	X = 0, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: A, B, C
Takt 2:	X = 0, Y = 1	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: B, D
Takt 3:	X = 1, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: B, D
Takt 4:	X = 1, Y = 1	→	Sollzustand: Ausgang = 1	→	richtig: A, B
Takt 5:	X = 0, Y = 0	→	Sollzustand: Ausgang = 0	→	richtig: A, B, C

Die **Kurve B** erfüllt alle diese Bedingungen.

1.4 Elektronische Schaltungen und deren Merkmale

1.4.1 Serien- und Parallelschaltung von Widerständen, Spulen und Kondensatoren

Einleitend zu diesem Kapitel möchte ich darauf hinweisen, daß die Berechnungsformeln bei Widerständen und Spulen (Induktivitäten) bei Parallel- und Reihenschaltung den gleichen Aufbau haben. Kondensatoren (Kapazitäten) verhalten sich umgekehrt.

In der Formelsammlung, wie sie im Anhang des Fragenkatalogs enthalten ist und Ihnen auch bei der Prüfung vorliegt, wird bei der Parallelschaltung von Widerständen und Spulen (bzw. Reihenschaltung bei Kondensatoren mit Kehrwerten gerechnet. Das birgt aber die Gefahr, daß es zu Eingabefehlern am Taschenrechner kommt. Deshalb schlage ich die Verwendung folgender Formeln vor, da wir es bei den Prüfungsaufgaben ohnehin fast immer nur mit zwei parallel- bzw. reihengeschalteten Bauelementen zu tun haben (Formeln für drei Bauelemente folgen an anderer Stelle):

Parallelschaltung von 2 Widerständen (Induktivitäten):

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad L_{ges} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Reihenschaltung von 2 Kapazitäten:

$$C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Die Formeln für die Reihenschaltung von Widerständen (Spulen) und die Parallelschaltung von Kondensatoren werden wie in der Formelsammlung benutzt.

TD 101 Zwei Widerstände von je 10 kΩ liegen parallel an einer Stromquelle von 5 V. Welcher Strom fließt durch diese Schaltung?

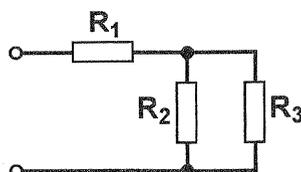
Diese Aufgabe entspricht der Aufgabe **TC 114** (mit leicht verändertem Text). Bitte nehmen Sie die dort gemachten Erläuterungen nochmals zu Kenntnis.

TD 102 Zwei Widerstände von je 5 kΩ liegen hintereinander geschaltet an einer Stromquelle von 10 V. Welcher Strom fließt durch diese Schaltung?

Geg.: $R_1 = R_2 = 5 \text{ k}\Omega$, $U = 10 \text{ V}$ ges.: I

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{R_{ges}} = \frac{10V}{5k\Omega + 5k\Omega} = \frac{10V}{10 \cdot 10^3 \Omega} = 1 \cdot 10^{-3} A = \underline{1 \text{ mA}}$$

TD 103 Wie groß ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung, wenn $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ und $R_3 = 27 \text{ k}\Omega$ beträgt?



$$\text{geg.: } R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega, R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega, R_3 = 27 \text{ k}\Omega$$

$$\text{ges.: } R_{\text{ges}}$$

Bei solchen Berechnungen empfiehlt es sich, immer vom Ende der Schaltung zum Eingang zu gehen. Das heißt in unserem Beispiel, wir stellen fest, daß R_2 zu R_3 parallel und dieses Gebilde in Reihe zu R_1 liegt.

$$\begin{aligned} R_{\text{ges}} = R_2 \parallel R_3 + R_1 &= R_{\text{ges}} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} + R_1 = \frac{4,7 \text{ k}\Omega \cdot 27 \text{ k}\Omega}{4,7 \text{ k}\Omega + 27 \text{ k}\Omega} + 3,3 \text{ k}\Omega \\ &= \frac{126,9 \text{ k}\Omega}{31,7 \text{ k}\Omega} + 3,3 \text{ k}\Omega = 4,00 \text{ k}\Omega + 3,3 \text{ k}\Omega = \underline{\underline{7,3 \text{ k}\Omega}} \end{aligned}$$

TD 104 Eine Serienschaltung besteht aus drei Kondensatoren von je $0,03 \mu\text{F}$. Wie groß ist die Gesamtkapazität dieser Schaltung?

Bei der Lösung dieser Aufgabe gehen wir ähnlich wie bei den Aufgaben **TB 019** und **TC 114** (dort handelt es sich aber um eine Parallelschaltung gleicher Widerstände) vor.

$$\text{geg.: } C_1 = C_2 = C_3 = 0,03 \mu\text{F}$$

$$\text{ges.: } C_{\text{ges}}$$

$$C_{\text{ges}} = C_1 : 3 = \underline{\underline{0,01 \mu\text{F}}}$$

TD 105 Wie groß ist die Gesamtkapazität von drei parallelgeschalteten Kondensatoren von 20 nF , $0,03 \mu\text{F}$ und 15000 pF ?

$$\text{geg.: } C_1 = 20 \text{ nF}, C_2 = 0,03 \mu\text{F}, C_3 = 15.000 \text{ pF}$$

$$\text{ges.: } C_{\text{ges}}$$

Um die verschiedenen Kapazitäten addieren zu können, müssen wir sie erst einmal in die gleiche Größenordnung bringen. In den vorgegebenen Lösungen ist die Angabe in μF vorgesehen. Deshalb formen wir zuerst alle Kapazitäten entsprechend um:

$$C_1 = 20 \text{ nF} = 0,020 \mu\text{F}$$

$$C_2 = 0,03 \mu\text{F} = 0,030 \mu\text{F}$$

$$C_3 = 15.000 \text{ pF} = \underline{\underline{0,015 \mu\text{F}}}$$

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + C_3 = \underline{\underline{0,065 \mu\text{F}}}$$

$$\underline{\underline{0,065 \mu\text{F}}}$$

TD 106 Wie groß ist die Gesamtinduktivität von drei in Reihe geschalteten Spulen von 2.000 nH , $0,03 \text{ mH}$ und $1.500 \mu\text{H}$?

$$\text{geg.: } L_1 = 2.000 \text{ nH}, L_2 = 0,03 \text{ mH}, L_3 = 15.000 \mu\text{H}$$

$$\text{ges.: } L_{\text{ges}}$$

Das Ergebnis wird in μH erwartet:

$$L_1 = 2.000 \text{ nH} = 2 \mu\text{H}$$

$$L_2 = 0,03 \text{ mH} = 30 \mu\text{H}$$

$$L_3 = 1.500 \mu\text{H} = \underline{\underline{1.500 \mu\text{H}}}$$

$$L_{\text{ges}} = L_1 + L_2 + L_3 = \underline{\underline{1.532 \mu\text{H}}}$$

$$\underline{\underline{1.532 \mu\text{H}}}$$

So langsam sollten Ihnen jetzt die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Größenordnungen vertraut werden. Informieren Sie sich dazu auch nochmals mit Hilfe der Übersicht zu Beginn der Anlage 1.

TD 107 Wie groß ist die Gesamtinduktivität von drei parallelgeschalteten Spulen von $2000 \mu\text{H}$, $0,03 \text{ mH}$ und $1.500 \mu\text{H}$?

geg.: $L_1 = 2.000 \text{ nH}$, $L_2 = 0,03 \text{ mH}$, $L_3 = 15.000 \mu\text{H}$ ges.: L_{ges}

Um die Berechnung über die Kehrwerte der Induktivitäten zu vermeiden, könnten wir erst die Parallelschaltung von zwei Spulen berechnen und rechnen dann die dritte Spule dazu. Schneller geht es mit folgender Formel, die allerdings nicht in der Formelsammlung enthalten ist (wohl aber in Aufgabe **TD 119**, allerdings für Kondensatoren, erfragt wird).

Auch hier muß die Größenordnung vereinheitlicht werden. Wie schon bei der vorhergehenden Aufgabe geübt, ergeben sich folgende Einzelwerte:

$$L_1 = 2.000 \text{ nH} = 2 \mu\text{H}, L_2 = 0,03 \text{ mH} = 30 \mu\text{H}, L_3 = 1.500 \mu\text{H} = 1.500 \mu\text{H}$$

$$L_{\text{ges}} = \frac{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3}{L_1 \cdot L_2 + L_2 \cdot L_3 + L_1 \cdot L_3} = \frac{2\mu\text{H} \cdot 30\mu\text{H} \cdot 1500\mu\text{H}}{2\mu\text{H} \cdot 30\mu\text{H} + 30\mu\text{H} \cdot 1500\mu\text{H} + 2\mu\text{H} \cdot 1500\mu\text{H}}$$

$$= \frac{90000\mu\text{H}}{60 + 45000 + 3000} = \frac{90000\mu\text{H}}{48060} = \underline{\underline{1,873 \mu\text{H}}}$$

Der **Merksatz** lautet: Bei einer Parallelschaltung von Induktivitäten (Widerständen) ist die Gesamtinduktivität (der Gesamtwiderstand) kleiner als die kleinste Einzelinduktivität (der kleinste Einzelwiderstand).

Die kleinste Einzelinduktivität beträgt bei unserer Aufgabe 2.000 nH , also $2 \mu\text{H}$, die Gesamtinduktivität ist nur $1,873 \mu\text{H}$. Nach dieser überschlägigen Kontrolle könnte das Ergebnis richtig sein.

TD 108 Wie groß ist die Gesamtkapazität, wenn drei Kondensatoren $C_1 = 10,9 \text{ pF}$, $C_2 = 40 \text{ pF}$ und $C_3 = 20 \text{ pF}$ in Reihe geschaltet sind?

Merksatz: Bei einer Reihenschaltung von Kapazitäten ist die Gesamtkapazität kleiner als die kleinste Einzelkapazität.

Geg.: $C_1 = 0,06 \text{ nF}$, $C_2 = 40 \text{ pF}$, $C_3 = 20 \text{ pF}$ ges.: C_{ges}
 $\Rightarrow C_1 = 60 \text{ pF}$

Wir probieren es diesmal mit unserer Formel aus der Formelsammlung:

$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{0,06\text{nF}} + \frac{1}{40\text{pF}} + \frac{1}{20\text{pF}} = \frac{1}{60\text{pF}} + \frac{1}{40\text{pF}} + \frac{1}{20\text{pF}} = 0,0917 \text{ pF}^{-1}$$

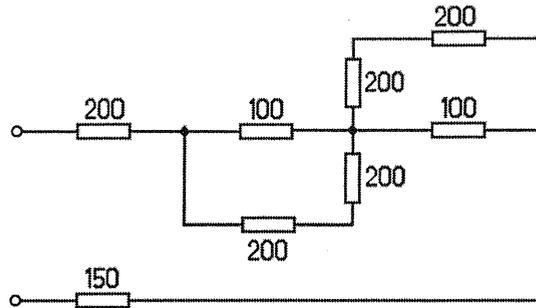
$$\frac{1}{C_{\text{ges}}} = 0,0917 \text{ pF}^{-1} \quad C_{\text{ges}} = \underline{\underline{10,9 \text{ pF}}}$$

Na, mal ehrlich. Wie oft haben Sie sich verrechnet. Dabei haben wir es doch einfach, denn unser Taschenrechner hat eine Reziprok-Funktion und einen addierenden Speicher (der aber zu Beginn unserer Rechnung leer sein muß!). Früher mußte man sogar den Hauptnenner suchen, um überhaupt addieren zu können.

Nun zu der Verfahrensweise, wie wir sie bei der vorherigen Aufgabe angewandt haben:

$$C_{1,2} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_1 \cdot C_3} = \frac{60\text{pF} \cdot 40\text{pF} \cdot 20\text{pF}}{60\text{pF} \cdot 40\text{pF} + 40\text{pF} \cdot 20\text{pF} + 60\text{pF} \cdot 20\text{pF}}$$

$$= \frac{48000\text{pF}}{2400 + 800 + 1200} = \frac{48000\text{pF}}{4400} = \underline{\underline{10,9 \text{ pF}}}$$

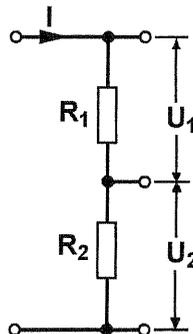
TD 109 Wie groß ist der Gesamtwiderstand der dargestellten Schaltung?


Es handelt sich hier um eine Reihenschaltung aus einem Widerstand von $200\ \Omega$, und zwei Kombinationen aus einem $100\text{-}\Omega$ -Widerstand, dem eine Reihenschaltung von zwei $200\text{-}\Omega$ -Widerständen parallel geschaltet ist, in Reihe liegt. Dann folgt in Reihe ein Widerstand von $150\ \Omega$.

Als ersten Schritt errechnen wir das Schaltungsglied $200\ \Omega + 200\ \Omega \parallel 100\ \Omega$:

$$R = \frac{(200\ \Omega + 200\ \Omega) \cdot 100\ \Omega}{(200\ \Omega + 200\ \Omega) + 100\ \Omega} = \frac{400\ \Omega \cdot 100\ \Omega}{400\ \Omega + 100\ \Omega} = \frac{40000\ \Omega}{500\ \Omega} = 80\ \Omega$$

Nun wird es einfach: $R_{ges} = 200\ \Omega + 80\ \Omega + 80\ \Omega + 150\ \Omega = \underline{510\ \Omega}$

TD 110 Wie teilt sich die Spannung an zwei in Reihe geschalteten Widerständen auf, wenn $R_1 = 5$ mal so groß ist wie R_2 ?


Wir stellen wir fest, daß der Strom I durch die Widerstände R_1 und R_2 fließt. Das Ohmsche Gesetz besagt: $U = R \cdot I$.

Auch ohne Kenntnis einer Spannungsteiler-Regel wissen wir: Wenn R_1 fünf mal so groß ist wie R_2 , muß die über R_1 abfallende Spannung U_1 folglich auch fünf mal größer als U_2 sein.

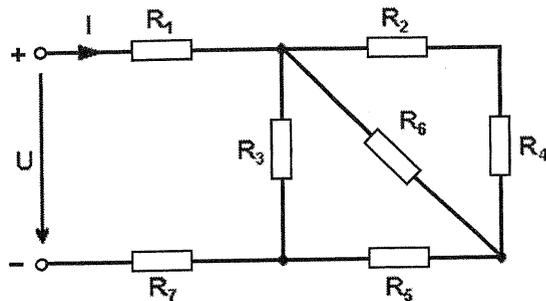
Die Überlegung bei Aufgabe **TD 111** ist die gleiche.

TD 112 Was ist bei der Berechnung von Wechselstromkreisen, die Kombinationen von R , L und C enthalten zu beachten?

Blindwiderstände (x_L , x_C) und Ohmsche Widerstände stehen rechtwinklig zueinander. Der komplexe Widerstand Z errechnet sich geometrisch. Wir müssen uns die Blind- und die ohmschen Anteile wie die Katheten eines rechtwinkligen Dreiecks vorstellen. Der komplexe Widerstand ist dann die Hypotenuse. Somit errechnet sich er sich nach folgender Formel, die uns schon vom Geometrieunterricht bekannt sein sollte

$$Z = \sqrt{R^2 + x^2}$$

TD 113 Wie groß ist der Strom I bei dieser Schaltung, wenn $U = 14\text{ V}$, $R_1 = 470\ \Omega$, $R_2 = 180\ \Omega$, $R_3 = 860\ \Omega$, $R_4 = 100\ \Omega$, $R_5 = 100\ \Omega$, $R_6 = 560\ \Omega$ und $R_7 = 15\ \Omega$ ist?



geg.: $U = 14\text{ V}$, $R_1 = 470\ \Omega$, $R_2 = 180\ \Omega$, $R_3 = 860\ \Omega$, $R_4 = 100\ \Omega$, $R_5 = 100\ \Omega$, $R_6 = 560\ \Omega$, $R_7 = 15\ \Omega$
ges.: I

Als ersten Schritt rechnen wir die Anordnung R_6 parallel $R_2 + R_4$ aus.

$$R_{2,4,6} = \frac{(R_2 + R_4) \cdot R_6}{R_2 + R_4 + R_6} = \frac{(180\ \Omega + 100\ \Omega) \cdot 560\ \Omega}{180\ \Omega + 100\ \Omega + 560\ \Omega} = \frac{156800}{840} = \mathbf{186,7\ \Omega}$$

Diese Anordnung liegt dann wiederum mit R_5 in Reihe und es ergibt sich der Teilwiderstand $R_{2,4,5,6}$:

$$R_{2,4,5,6} = R_{2,4,6} + R_5 = 186,7\ \Omega + 100\ \Omega = \mathbf{287,6\ \Omega}$$

Dazu liegt R_3 parallel:

$$R_{2\dots6} = \frac{R_{2,4,5,6} \cdot R_3}{R_{2,4,5,6} + R_3} = \frac{286,7\ \Omega \cdot 860\ \Omega}{286,7\ \Omega + 860\ \Omega} = \frac{246562\ \Omega}{1146,7} = \mathbf{215,0\ \Omega}$$

Dieses Widerstandsnetzwerk aus R_2 bis R_6 liegt nun in Reihe mit R_1 und R_7 .

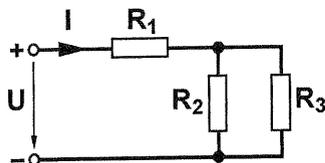
$$R_{\text{ges}} = R_1 + R_7 + R_{2\dots6} = 470\ \Omega + 15\ \Omega + 215\ \Omega = \mathbf{700\ \Omega}$$

$$I = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{14\text{ V}}{700\ \Omega} = 0,020\ \text{ A} = \mathbf{20\ \text{ mA}}$$

Eine Gefahr bei dieser Aufgabe besteht darin, daß man durch die gewählte Darstellung des Widerstandsnetzwerkes den Eindruck erhält, daß R_3 und R_5 zu R_2 , R_4 und R_6 parallel geschaltet wären.

An dieser Stelle sei deshalb die Frage erlaubt, ob man eine Aufgabe in dieser Art bei einer Amateurfunkprüfung stellen darf.

TD 114 Wie groß ist der Strom durch R_3 , wenn $U = 10\text{ V}$, $R_1 = 3\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 2,5\ \text{k}\Omega$ und $R_3 = 10\ \text{k}\Omega$ beträgt?



geg.: $U = 10\text{ V}$, $R_1 = 3\ \text{k}\Omega$, $R_2 = 2,5\ \text{k}\Omega$, $R_3 = 10\ \text{k}\Omega$

ges.: I_3

$$I_{\text{ges}} = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{U}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = \frac{U}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{10\text{ V}}{3\ \text{k}\Omega + \frac{2,5\ \text{k}\Omega \cdot 10\ \text{k}\Omega}{2,5\ \text{k}\Omega + 10\ \text{k}\Omega}} = \frac{10\text{ V}}{3\ \text{k}\Omega + 2\ \text{k}\Omega}$$

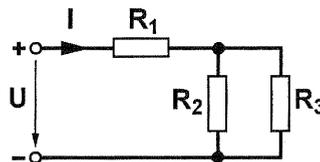
$$= \frac{10V}{3k\Omega + 2k\Omega} = \frac{10V}{5 \cdot 10^3 \Omega} = 2 \text{ mA}$$

Dieser Strom verzweigt sich hinter R_1 in die Ströme I_2 (durch R_2) und I_3 (durch R_3). Um I_3 bestimmen zu können, wenden wir die Formel für die Stromteilung an (nicht in der Formelsammlung enthalten!):

$$\begin{aligned} \frac{I_3}{I_{ges}} &= \frac{R_2}{R_2 + R_3} &\Rightarrow I_3 \cdot (R_2 + R_3) &= I_{ges} \cdot R_2 \\ & &\Rightarrow I_3 &= \frac{I_{ges} \cdot R_2}{R_2 + R_3} = \frac{2 \text{ mA} \cdot 2,5 \text{ k}\Omega}{2,5 \text{ k}\Omega + 10 \text{ k}\Omega} = \frac{5 \text{ mA}}{12,5} = \underline{\underline{0,4 \text{ mA}}} \end{aligned}$$

Aufgabe **TD 115** ist zur Kontrolle nach diesem Muster selbständig zu lösen.

TD 116 Welche Leistung wird in R_2 verbraucht, wenn $U = 130 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 330 \Omega$ und $R_3 = 3,3 \text{ k}\Omega$ beträgt?



geg.: $U = 130 \text{ V}$, $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 330 \Omega$ und $R_3 = 3,3 \text{ k}\Omega$

ges.: P_2

Zuerst berechnen wir wie bei den vorhergegangenen Aufgaben den Gesamtstrom:

$$\begin{aligned} I_{ges} &= \frac{U}{R_1 + R_2 \parallel R_3} = \frac{U}{R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3}} = \frac{130V}{1k\Omega + \frac{330\Omega \cdot 3,3k\Omega}{330\Omega + 3,3k\Omega}} \\ &= \frac{130V}{(1+0,3) \cdot 10^3 \Omega} = \frac{130 \cdot 10^{-3} A}{1,3} = \underline{\underline{100 \text{ mA}}} \end{aligned}$$

An R_2 (und natürlich auch R_3) liegt nun die Spannung

$$U_2 = U - I_{ges} \cdot R_1 = 130V - 0,1A \cdot 1k\Omega = 130V - 100V = \underline{\underline{30V}}$$

Daraus errechnet sich die Leistung für R_2 :

$$P_2 = \frac{U^2}{R_2} = \frac{(30V)^2}{330\Omega} = \frac{900W}{330} = \underline{\underline{2,73 \text{ W}}}$$

TD 117 Drei parallel geschaltete Widerstände haben einen Gesamtwiderstand von $1,66 \text{ k}\Omega$. R_1 hat $3,3 \text{ k}\Omega$, R_2 hat $5,6 \text{ k}\Omega$. Welchen Wert hat R_3 ?

In diesem Fall ist es angebracht, die Formel mit den Kehrwerten aus der Formelsammlung zu benutzen, statt Versuche zu unternehmen, die Formel mit dem Aufbau $R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$ nach R_3 umstellen zu wollen.

geg.: $R_{ges} = 1,66 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 3,3 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 5,6 \text{ k}\Omega$ ges.: R_3

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \quad \Rightarrow \quad \frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_{ges}} - \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} = \frac{1}{1,66 \text{ k}\Omega} - \frac{1}{3,3 \text{ k}\Omega} - \frac{1}{5,6 \text{ k}\Omega}$$

$$\frac{1}{R_3} = 0,12081 \text{ k}\Omega^{-1}$$

$$R_3 = \frac{1}{0,12081} \text{ k}\Omega = 8,3 \text{ k}\Omega$$

Hinweis: Benutzen Sie bei der Rechnung den addierenden Speicher Ihres Taschenrechners. Vergessen Sie aber nicht bei den Kehrwerten von R_1 und R_2 das negative Vorzeichen vorm Speichern zu setzen (es ist ein addierender Speicher, wir wollen aber subtrahieren).

TD 118 Zwei parallel geschaltete Widerstände stehen im Verhältnis $R_1 : R_2 = 1 : 2$. Durch R_2 fließt ein Strom von 50 mA. Wie groß ist der Strom durch R_1 ?

Da der Strom immer umgekehrt proportional dem Widerstand ist, d.h. großer Widerstand – kleiner Strom und umgekehrt, muß der Strom durch R_1 (halb so groß wie R_2) das Doppelte des Stromes durch R_2 betragen.

TD 120 Ein Elektrolytkondensator wird auf 20 V aufgeladen und dann über einen Widerstand mit 10 k Ω auf 5,1 V entladen. Dabei dauert der Entladevorgang 30 Sekunden. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

geg.: $U = 20 \text{ V}$, $u_c = 5,1 \text{ V}$, $R = 10 \text{ k}\Omega$, $t = 30 \text{ s}$ ges.: C

Bei dieser Aufgabe sind vielleicht ein paar einleitende Bemerkungen nötig. In der Ausgangsformel, wie wir sie unserer Formelsammlung entnehmen können, kommt der Ausdruck „e“ vor. Das ist die Zahl des natürlichen Wachstums, eine Zahl mit einer bestimmten Ziffernfolge, $e = 2,717...$ (ähnlich der feststehenden Zahl π).

Im Exponenten unserer Formel finden wir u.a. die **Zeitkonstante** τ . Es gilt die Beziehung $\tau = R \cdot C$. Somit ist die Zeitkonstante der Schlüssel zur Bestimmung der Kapazität mit Hilfe der Ausgangsgrößen, die uns bei der Aufgabe zur Verfügung stehenden.

Um den Exponenten $-t/\tau$ zu erhalten, müssen wir den Logarithmus und zwar diesmal den natürlichen (hier ist die Basis nicht 10 sondern „e“) auf unserem Taschenrechner bilden (**ln** nicht **log!!!**).

Nun widmen wir uns aber der eigentlichen Aufgabe:

$$u_c = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad \Rightarrow \quad e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{u_c}{U}$$

$$\Rightarrow \quad -\frac{t}{\tau} = -\frac{t}{R \cdot C} = \ln \frac{u_c}{U} \quad \left| \tau = R \cdot C \right.$$

$$C = \frac{-t}{R \cdot \ln \frac{u_c}{U}} = \frac{-30 \text{ s}}{10 \cdot 10^3 \Omega \cdot \ln \frac{5,1 \text{ V}}{20 \text{ V}}} = \frac{-30 \text{ s}}{10 \cdot 10^3 \Omega \cdot \ln 0,255} \quad \left| \Omega = \frac{\text{V}}{\text{A}} \right.$$

$$= \frac{-30 \text{ s}}{10 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot -1,3665} = \frac{30 \text{ s} \cdot \text{A}}{136650 \text{ V}} = 0,0002195 \frac{\text{As}}{\text{V}} = \underline{\underline{2195 \mu\text{F}}}$$

TD 121 Ein Elektrolytkondensator wird auf seine Nennspannung aufgeladen und dann über ein Meßgerät mit einem Innenwiderstand von $0,5 \text{ M}\Omega$ bis auf 37 % der Nennspannung entladen. Dabei dauert der Entladevorgang 60 Sekunden. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators?

Diese Aufgabe ähnelt der vorherigen.

geg.: $u_C/U = 37 \%$, $t = 60 \text{ s}$, $R = 0,5 \text{ M}\Omega$ ges.: C

$$u_C = U \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \Rightarrow \frac{u_C}{U} = e^{-\frac{t}{\tau}} = \frac{u_C}{U} = e^{-\frac{t}{R \cdot C}} \quad \left| \frac{u_C}{U} = 37\% = 0,37 \right.$$

$$0,37 = e^{-\frac{60 \text{ s}}{0,5 \text{ M}\Omega \cdot C}} \quad \left| \Omega = \frac{V}{A} \right.$$

$$\ln 0,37 = \frac{60 \text{ s}}{0,5 \cdot 10^6 \frac{V}{A} \cdot C} = \frac{60 \text{ s} \cdot A}{0,5 \cdot 10^6 V \cdot C} \quad \left| \ln 0,37 = -1 \right.$$

$$-1 \cdot C = -120 \cdot 10^{-6} \frac{As}{V} \quad \left| \cdot -1 \right.$$

$$C = 120 \cdot 10^{-6} F = \underline{120 \mu F}$$

Bei diesen beiden Aufgaben sei auf meine Bemerkung zu Aufgabe **TD 113** verwiesen.

TD 122 Welche Gesamtkapazität ergibt sich aus einer Parallelschaltung der Kondensatoren $0,1 \mu F$, 150 nF und 50000 pF ?

geg.: $C_1 = 0,1 \mu F$, $C_2 = 150 \text{ nF}$, $C_3 = 50000 \text{ pF}$ Ges.: C_{ges}

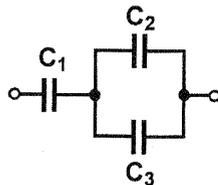
$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + C_3 = 0,1 \mu F + 150 \text{ nF} + 50000 \text{ pF} = 0,1 \mu F + 0,15 \mu F + 0,05 \mu F = \underline{0,3 \mu F}$$

TD 123 Welche Gesamtkapazität ergibt sich aus einer Reihenschaltung der Kondensatoren $0,1 \mu F$, 150 nF und 50000 pF ?

geg.: $C_1 = 0,1 \mu F$, $C_2 = 150 \text{ nF}$, $C_3 = 50000 \text{ pF}$ Ges.: C_{ges}

Diese Aufgabe ist wie die Aufgabe **TD 108** zu lösen.

TD 124 Welche Gesamtkapazität hat diese Schaltung, wenn $C_1 = 0,01 \mu F$, $C_2 = 5 \text{ nF}$ und $C_3 = 5000 \text{ pF}$ beträgt?

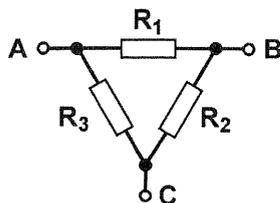


Geg.: $C_1 = 0,01 \mu F$, $C_2 = 5 \text{ nF}$, $C_3 = 5000 \text{ pF}$ ges.: C_{ges}

$$C_{\text{ges}} = \frac{C_1 \cdot C_2 \parallel C_3}{C_1 + C_2 \parallel C_3} = \frac{0,01 \mu F \cdot (5 \text{ nF} + 5000 \text{ pF})}{0,01 \mu F + 5 \text{ nF} + 5000 \text{ pF}} = \frac{10 \text{ nF} \cdot (5 \text{ nF} + 5 \text{ nF})}{10 \text{ nF} + 5 \text{ nF} + 5 \text{ nF}} = \frac{100}{20} \text{ nF} = \underline{5 \text{ nF}}$$

Wie schon mehrfach darauf hingewiesen, ist alles in die gleiche Größenordnung umzuformen. Lösen Sie nun die Aufgabe **TD 125** nach dem gleichen Schema.

TD 126 in der folgenden Schaltung liegen zwischen A und B 10 V an. Wenn $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 50 \Omega$ und $R_3 = 50 \Omega$ beträgt, fließt in der Schaltung ein Gesamtstrom von...



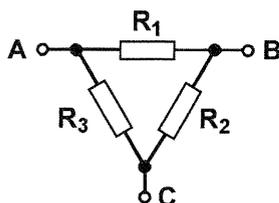
geg.: $U = 10 \text{ V}$, $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 50 \Omega$, $R_3 = 50 \Omega$

ges.: I_{ges}

Wir erkennen, daß zu R_1 die Reihenschaltung von R_2 und R_3 parallel liegt.

$$I = \frac{U}{R_{\text{ges}}} = \frac{U}{\frac{R_1 \cdot (R_2 + R_3)}{R_1 + (R_2 + R_3)}} = \frac{10 \text{ V}}{\frac{100 \Omega \cdot (50 \Omega + 50 \Omega)}{100 \Omega + (50 \Omega + 50 \Omega)}} = \frac{10 \text{ V}}{50 \Omega} = 0,2 \text{ A} = \underline{\underline{200 \text{ mA}}}$$

TD 127 Wie groß muß die an A und B angelegte Spannung sein, wenn $R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 50 \Omega$ und $R_3 = 50 \Omega$ beträgt und zwischen A und C 50 Volt gemessen werden?



Die Spannung teilt sich am Punkt C 1:1 auf, da R_2 und R_3 sind gleich groß sind. Wenn über R_3 50 V abfallen, müssen über R_2 auch 50 V abfallen, da sie in Reihe liegen und folglich auch vom selben Strom durchflossen werden (solch eine Reihenschaltung mit dazwischen liegendem Abgriff nennt man übrigens Spannungsteiler).

Deshalb ist die Spannung zwischen den Punkten A und B: $50 \text{ V} + 50 \text{ V} = \underline{\underline{100 \text{ V}}}$.

TD 128 Die effektive Kapazität von drei seriengeschalteten 33-pF-Kondensatoren beträgt...

geg.: $C = 33 \text{ pF}$, Anzahl $n = 3$

ges.: C_{ges}

$$C_{\text{ges}} = \frac{C}{n} = \frac{33 \text{ pF}}{3} = \underline{\underline{11 \text{ pF}}}$$

Ähnliche Aufgabe: TD 104

TD 129 Eine 50- μH -Spule, ein 50-pF-Kondensator und ein 50- Ω -Widerstand werden seriengeschaltet. Der Widerstand bei Resonanz beträgt...

Wir haben bisher gelernt, daß x_C bei steigender Frequenz kleiner und x_L größer wird. Nun gibt es doch auch eine Frequenz, bei der x_C und x_L gleich groß sind. Diese Frequenz nennt man Resonanzfrequenz. Bei der Erklärung der Aufgabe TD 112 wurde darauf hingewiesen, daß die Blindanteile einer Schaltung und der Ohmsche Widerstand rechtwinklig zueinander stehen und der komplexe Widerstand die Hypotenuse des dabei entstehenden Dreiecks darstellt.

Zur Beantwortung dieser Aufgabe müssen wir weiter wissen, daß x_C und x_L entgegengesetzt sind. Ist nun $x_C = x_L$, so ist der Blindanteil gleich Null, es existiert nur noch der Ohmsche Anteil. Folglich entspricht der Widerstand einer solchen Schaltung, die wir Reihen- oder Serienschwingkreis nennen, bei Resonanz immer dem Ohmschen Widerstand.

Antwort a) ist richtig.

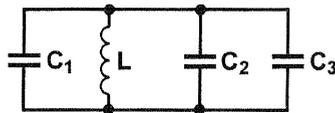
TD 130 Zwei 20-k Ω -Widerstände werden über eine 10-V-Gleichstromversorgung parallel geschaltet. Die gesamte Stromaufnahme beträgt ...

geg.: $R_1 = R_2 = 20 \text{ k}\Omega$, $U = 10 \text{ V}$ ges.: I

Wir erkennen sofort, daß hier zwei gleich große Widerstände parallelgeschaltet sind und erinnern uns ähnlicher Problematik bei den Aufgaben **TD 104** und **TD 128**. Deshalb rechnen wir zunächst auch gar nicht, denn wir wissen, daß der Gesamtwiderstand zweier parallelgeschalteter gleicher Widerstände halb so groß ist wie ein Teilwiderstand.

$$I = \frac{U}{R_1 \parallel R_2} = \frac{10\text{V}}{20\text{k}\Omega \parallel 20\text{k}\Omega} = \frac{10\text{V}}{10\text{k}\Omega} = \frac{10\text{V}}{10 \cdot 10^3 \Omega} = 10^{-3} \text{ A} = \underline{\underline{1 \text{ mA}}}$$

TD 131 Wie groß ist die Gesamtkapazität dieser Schaltung, wenn $C_1 = 0,1 \text{ nF}$, $C_2 = 1,5 \text{ nF}$, $C_3 = 220 \text{ pF}$ und die Eigenkapazität der Spule 1 pF beträgt?

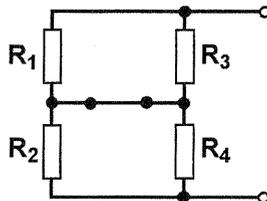


geg.: $C_1 = 0,1 \text{ nF}$, $C_2 = 1,5 \text{ nF}$, $C_3 = 220 \text{ pF}$, $C_L = 1 \text{ pF}$ ges.: C_{ges}

Da die kleinste Größenordnung pF ist, formen wir alle Kapazitäten in pF um.

$$C_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + C_3 + C_L = 0,1\text{nF} + 1,5\text{nF} + 220\text{pF} + 1\text{pF} = 100\text{pF} + 1500\text{pF} + 220\text{pF} + 1\text{pF} \\ = \underline{\underline{1.821 \text{ pF}}}$$

TD 132 Wenn R_1 und R_3 je 2 k Ω hat und R_2 und R_4 je 200 Ω , hat die Schaltung einen Gesamtwiderstand von...

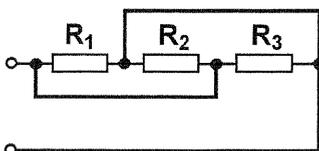


geg.: $R_1 = R_3 = 2 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_4 = 200 \Omega$ ges.: R_{ges}

R_1 und R_3 sowie R_2 und R_4 liegen jeweils parallel und diese beiden Komponenten wiederum in Reihe.

$$R_{\text{ges}} = R_1 \parallel R_3 + R_2 \parallel R_4 = 2\text{k}\Omega \parallel 2\text{k}\Omega + 200\Omega + 200\Omega = 1\text{k}\Omega + 400\Omega = 1,4 \text{ k}\Omega = \underline{\underline{1.400 \Omega}}$$

TD 133 Wie groß ist der Gesamtwiderstand der folgenden Schaltung, wenn $R_1 = R_2 = R_3 = 150 \Omega$ ist?



Beim genauen Hinsehen stellen wir fest, daß alle drei Widerstände parallel liegen.

geg.: $R_1 = R_2 = R_3 = 150 \Omega$

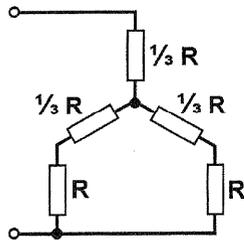
ges.: R_{ges}

$$R_{ges} = \frac{R}{3} = \frac{150\Omega}{3} = \underline{50 \Omega}$$

Die Lösung der folgenden Aufgabe sollte uns nun keine Probleme mehr bereiten.

TD 135 Wie groß ist der Gesamtwiderstand der folgenden Schaltung, wenn $R = 50 \Omega$ ist?

geg.: $R = 50 \Omega$



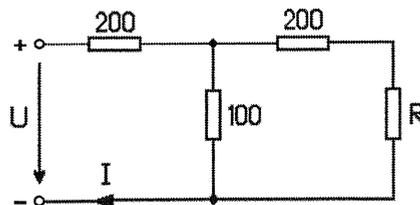
Betrachten wir zunächst einen Parallelzweig. Er besteht aus den Widerständen $R + 1/3 R$. Der Gesamtwiderstand dieses Zweiges ist also $4/3 R$. Bei einer Parallelschaltung gleicher Widerstände halbiert sich der Widerstand. Damit ergibt sich für die Parallelschaltung:

$$4/3 R : 2 = 2/3 R$$

Dazu ist $1/3 R$ in Reihe geschaltet und der Gesamtwiderstand somit

$$R_{ges} = 2/3 R + 1/3 R = R = \underline{50 \Omega}.$$

TD 136 In welchem Bereich bewegt sich der Eingangswiderstand der folgenden Schaltung, wenn R kurzgeschlossen bzw. entfernt wird?



Bei dieser Aufgabe geht es darum, den Gesamtwiderstand der Schaltung bei folgenden Zuständen zu bestimmen:

1. $R = 0$
2. $R = \infty$

Im ersten Fall stellen wir uns den Widerstand R als ein Stück Draht vor. Der rechte 200Ω -Widerstand liegt damit dem 100Ω -Widerstand parallel. Es handelt sich folglich um die Parallelschaltung eines 200Ω - und eines 100Ω -Widerstandes in Reihe mit einem 200Ω -Widerstand.

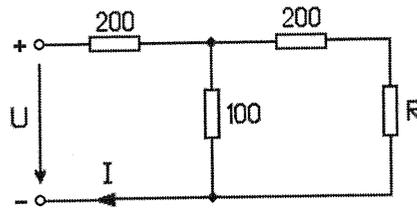
Der Gesamtwiderstand für diesen Fall errechnet sich:

$$R_{ges} = 200\Omega + (100\Omega \parallel 200\Omega) = 200\Omega + \frac{100\Omega \cdot 200\Omega}{100\Omega + 200\Omega} = 200\Omega + 66,7\Omega = \underline{266,7 \Omega}$$

Im zweiten Fall ist der Widerstand R nicht vorhanden. Damit fließt auch durch den zweiten 200Ω -Widerstand kein Strom und er ist damit unwirksam. Der 200Ω -Widerstand liegt nun mit dem 100Ω -Widerstand in Reihe.

Der Gesamtwiderstand für diesen Fall errechnet sich: $R_{ges} = 200\Omega + 100\Omega = \underline{300 \Omega}.$

TD 137 Wie groß ist der Widerstand R in der folgenden Schaltung, wenn $U = 14\text{ V}$ und $I = 50\text{ mA}$ beträgt.



geg.: $U = 14\text{ V}$, $I = 50\text{ mA}$

ges.: R

Als ersten Schritt rechnen wir den Gesamtwiderstand aus:

$$R_{ges} = \frac{U}{I} = \frac{14\text{ V}}{50 \cdot 10^{-3}\text{ A}} = 280\ \Omega$$

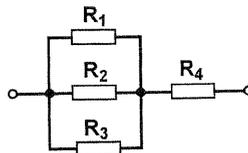
Der Gesamtwiderstand wird gebildet durch eine Reihenschaltung aus dem ersten $200\text{-}\Omega$ -Widerstand und der Parallelschaltung $100\ \Omega \parallel (200\ \Omega + R)$.

Die Kombination $100\ \Omega \parallel (200\ \Omega + R)$, wir nennen sie R'_{ges} , ist demzufolge $80\ \Omega$ ($280\ \Omega - 200\ \Omega$). Zur Berechnung von $(R + 200\ \Omega)$ benutzen wir wieder die Formel mit den Kehrwerten.

$$\frac{1}{R'_{ges}} = \frac{1}{R_{200\ \Omega}} + \frac{1}{(R + 200\ \Omega)} \Rightarrow \frac{1}{R + 200\ \Omega} = \frac{1}{R'_{ges}} - \frac{1}{100\ \Omega} = \frac{1}{80\ \Omega} - \frac{1}{100\ \Omega} = 0,0025$$

$$R + 200\ \Omega = \frac{1}{0,0025} = 400\ \Omega \Rightarrow \underline{\underline{R = 200\ \Omega}}$$

TD 138 Wie groß ist der Gesamtwiderstand dieser Schaltung, wenn $R_1 = 30\text{ k}\Omega$, $R_2 = 15\text{ k}\Omega$, $R_3 = 10\text{ k}\Omega$ und $R_4 = 2,7\text{ k}\Omega$ beträgt?



geg.: $R_1 = 30\text{ k}\Omega$, $R_2 = 15\text{ k}\Omega$, $R_3 = 10\text{ k}\Omega$ und $R_4 = 2,7\text{ k}\Omega$

ges.: R_{ges}

$$\begin{aligned} R_{ges} &= (R_1 \parallel R_2 \parallel R_3) + R_4 = \left(\frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3} \right) + R_4 = (30\text{ k}\Omega \parallel 15\text{ k}\Omega \parallel 10\text{ k}\Omega) + 2,7\text{ k}\Omega \\ &= \left(\frac{30\text{ k}\Omega \cdot 15\text{ k}\Omega \cdot 10\text{ k}\Omega}{30\text{ k}\Omega \cdot 15\text{ k}\Omega + 15\text{ k}\Omega \cdot 10\text{ k}\Omega + 30\text{ k}\Omega \cdot 10\text{ k}\Omega} \right) + 2,7\text{ k}\Omega \\ &= \left(\frac{4500\text{ k}\Omega}{450 + 150 + 300} \right) + 2,7\text{ k}\Omega = \frac{4500\text{ k}\Omega}{900} + 2,7\text{ k}\Omega = 5\text{ k}\Omega + 2,7\text{ k}\Omega = \underline{\underline{7,7\text{ k}\Omega}} \end{aligned}$$

Lösen Sie nun die Aufgabe **TD 139** nach dem gleichen Schema.

1.4.2 Schwingkreise und Filter

Um hier das notwendige Verständnis bei der Lösung der Aufgaben zu finden, möchte ich einige einleitende Bemerkungen machen.

Schwingkreise und Filter finden in der Hochfrequenztechnik auf vielfältige Art Verwendung. Sie dienen hauptsächlich dazu, erwünschte von unerwünschten Signalen zu trennen.

Wir kennen folgende Gruppen:

- Hochpaß Er läßt Frequenzen oberhalb der Grenzfrequenz passieren und sperrt tiefere.
- Tiefpaß Er läßt Frequenzen unterhalb der Grenzfrequenz passieren und sperrt höhere.
- Bandpaß Er läßt nur bestimmte Frequenzen passieren und sperrt höhere und tiefere.

Am häufigsten haben wir es mit Schwingkreisen zu tun, die im allgemeinen als Bandpässe wirken. Wir unterscheiden in:

- Parallelschwingkreis Er hat im Resonanzfall einen hohen Widerstand.
- Reihenschwingkreis Er hat im Resonanzfall einen kleinen Widerstand.

Die Resonanzfrequenz für beide Arten der Schwingkreise errechnet sich nach der Thomsonschen Schwingungsformel:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}}$$

Die Resonanzfrequenz ist also nur von der Größe der jeweils verwendeten Induktivitäten L und Kapazitäten C abhängig. Interessant für uns ist auch der Verlauf der Durchlaßkurve. Sie stellt eine Glockenkurve dar. Je steiler sie verläuft, um so schärfer werden die Signale von einander getrennt (selektiert).

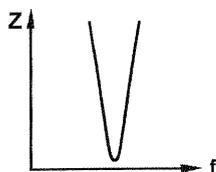
Da wir über die Resonanzfrequenz und eine bekannte Größe von Induktivität oder Kapazität die andere unbekannte Größe errechnen können, sollten wir uns auch gleich die Umstellung der Thomsonschen Schwingungsformel nach L bzw. C einprägen.

$$C = \frac{1}{\omega^2 \cdot f} = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot L} \quad \left| \begin{array}{l} \omega = \text{Kreisfrequenz} \\ \omega = 2\pi \cdot f \end{array} \right.$$

$$L = \frac{1}{\omega^2 \cdot f} = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot C}$$

Doch nun zur Lösung der Aufgaben:

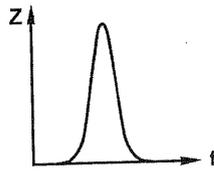
TD 201 Der Impedanzgang in der Abbildung zeigt die Kennlinie...



eines Serienschwingkreises (Serienschwingkreis ist ein anderer Ausdruck für Reihenschwingkreis).

Der Scheinwiderstand (die Impedanz) ist im Resonanzfall fast Null.

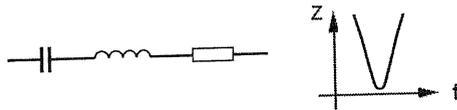
TD 202 Der im folgenden Bild dargestellte Impedanzgang ist typisch für...



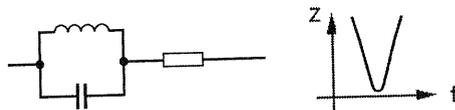
einen Parallelschwingkreis.

Der Scheinwiderstand (die Impedanz) ist im Resonanzfall groß.

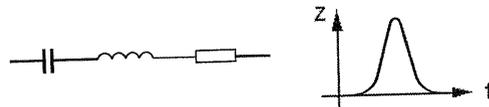
TD 203 Welcher Schwingkreis paßt zu dem neben der jeweiligen Schaltung dargestellten Verlauf des Scheinwiderstandes?



- a) **richtig** – Der Scheinwiderstand eines **Serienschwingkreises** ist im Resonanzfall fast Null



- b) **falsch** – Der Scheinwiderstand eines **Parallelschwingkreises** ist im Resonanzfall groß



- c) **falsch** – Der Scheinwiderstand eines **Serienschwingkreises** ist im Resonanzfall fast Null



- d) **falsch** – Der Scheinwiderstand eines **Parallelschwingkreises** ist im Resonanzfall groß

TD 205 Kann die Wicklung eines Übertragers zusammen mit einem Kondensator als Schwingkreis dienen?

Ja, die Wicklung eines Übertragers dient als Schwingkreisinduktivität.

Ein Schaltungsbeispiel dazu ist bei Aufgaben TD 232 und TD 233 dargestellt. Diese Art der Schaltung werden wir später noch zur Genüge kennenlernen.

TD 206 Wie ändert sich die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises, wenn

1. die Spule mehr Windungen erhält,
2. Die Länge der Spule durch Zusammenschieben der Drahtwicklung verringert wird,
3. ein Kupferkern in das Innere der Spule gebracht wird?

Im Fall 1. und 2. wird die Induktivität größer und damit die Resonanzfrequenz kleiner.
Im Fall 3. wird die Induktivität durch den Kupferkern kleiner (da Kupfer diamagnetisch ist) und die Frequenz größer.

Antwort a) ist richtig.

TD 207 Die Frequenz eines BFO ist von einer LC-Schaltung abhängig. Die Frequenz wird bestimmt durch die Quadratwurzel...

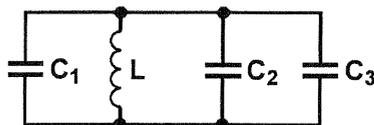
des Produkts von L und C.

Zur Verdeutlichung rufen wir uns die Thomsonsche Schwingungsformel in Erinnerung. Dort finden wir im Nenner die Quadratwurzel mit dem Produkt aus L und C:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Sagen Sie es ruhig: „Ach, so war das gemeint!“

TD 208 Wie groß ist die Resonanzfrequenz dieser Schaltung, wenn $C_1 = 0,1 \text{ nF}$, $C_2 = 1,5 \text{ nF}$, $C_3 = 200 \text{ pF}$ und $L_1 = 1 \text{ mH}$ beträgt?



geg.: $C_1 = 0,1 \text{ nF}$, $C_2 = 1,5 \text{ nF}$, $C_3 = 200 \text{ pF}$ und $L_1 = 1 \text{ mH}$ ges.: f

Alle Kapazitäten liegen parallel, also ist die Gesamtkapazität die Summe der Einzelkapazitäten. Es bietet sich an, alle in nF umzuformen.

$$G_{\text{ges}} = C_1 + C_2 + C_3 = 0,1\text{nF} + 1,5\text{nF} + 0,22\text{nF} = \mathbf{1,82 \text{ nF}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C_{\text{ges}}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{1 \cdot 10^{-3} \text{ H} \cdot 1,82 \cdot 10^{-9} \text{ F}}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{1,82 \cdot 10^{-12} \text{ s}^2}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1,35 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 117973 \text{ s}^{-1} = 117973 \text{ Hz} = \mathbf{117,973 \text{ kHz}}$$

TD 209 Welche Resonanzfrequenz f_{res} hat die Serienschaltung einer Spule von $100 \mu\text{H}$ mit einem Kondensator von $0,01 \mu\text{F}$ und einem Widerstand von 100Ω ?

geg.: $L = 100 \mu\text{H}$, $C = 0,01 \mu\text{F}$, $R = 100 \Omega$ ges.: f_{res}

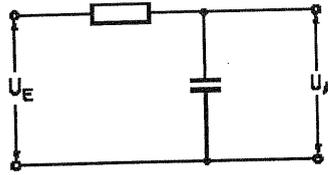
Vorsicht! Bei dieser Aufgabe ist ein Widerstand R gegeben. Dieser spielt aber bei der Berechnung der Resonanzfrequenz gar keine Rolle, ist also nicht in unsere Berechnung mit einzubeziehen.

$$f_{\text{res}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{100 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot 0,01 \cdot 10^{-6} \text{ F}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{1 \cdot 10^{-12} \text{ s}^2}}$$

$$= \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 159155 \text{ s}^{-1} = 159155 \text{ Hz} = \mathbf{159,155 \text{ kHz}}$$

Die Aufgaben **TD 210** bis **TD 212** sind nach dem gleichen Schema zu rechnen. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um einen Serien- (Reihen-) oder einen Parallelschwingkreis handelt.

TD 214 Welche Grenzfrequenz ergibt sich bei einem Tiefpaß mit einem Widerstand von 10 kΩ und einem Kondensator von 50 nF?



geg.: $R = 10 \text{ k}\Omega$, $C = 50 \text{ nF}$

ges.: f_g

$$f_g = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \Omega \cdot 50 \cdot 10^{-9} \text{ F}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^3 \frac{\text{V}}{\text{A}} \cdot 50 \cdot 10^{-9} \frac{\text{As}}{\text{V}}}$$

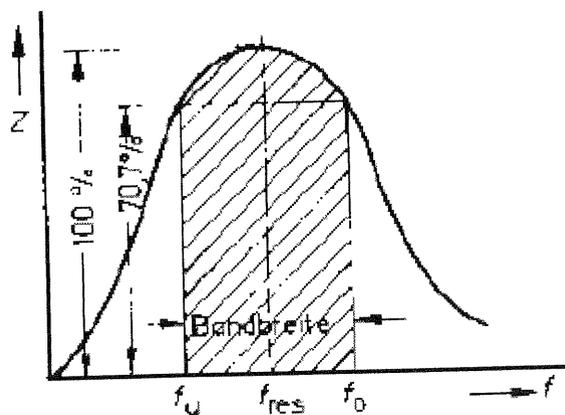
$$= \frac{1}{2\pi \cdot 500 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = 318 \text{ s}^{-1} = \underline{\underline{318 \text{ Hz}}}$$

Wir sehen an diesem Beispiel die Wandlung der Maßeinheiten. Das soll uns aber genügen. Bei den folgenden Berechnungen werde ich nach Möglichkeit nur die Maßeinheiten der Eingangs- und Endgrößen verwenden, um die Übersichtlichkeit zu wahren (auch wenn sich dann dem einen oder anderen Pedanten die Haare sträuben).

TD 215 Welchen Gütefaktor Q hat die Serienschaltung einer Spule von 100 μH mit einem Kondensator von 0,01 μF und einem Widerstand von 10 Ω?

Diese und die folgenden Aufgaben beschäftigen sich mit der Güte eines Schwingkreises. Deshalb möchte ich an dieser Stelle erst einmal erklären, was wir unter dem Gütefaktor, kurz der Güte eines Schwingkreises verstehen. Der Begriff beschreibt keinesfalls die Qualität eines Schwingkreises hinsichtlich seiner Verarbeitung o.ä. sondern kennzeichnet seine Eignung, Frequenzen zu selektieren.

Wir sehen uns zunächst einmal den Verlauf einer Durchlaßkurve am Beispiel eines Parallelschwingkreises an. [Quelle: DJ4UF, Ausbilderunterlagen Team-West]



Bei der Resonanzfrequenz erreicht der Scheinwiderstand Z sein Maximum. Die Frequenzen, bei denen er bis auf 70,7 % (Faktor 0,707, -3 dB) abgesunken ist nennen wir obere bzw. untere Grenzfrequenz. Die Differenz zwischen beiden ist die Bandbreite b . Je geringer die Bandbreite ist, um so selektiver ist der Schwingkreis. Es besteht folgende Beziehung:

$$Q = \frac{f_0}{b} \quad f_0 = \text{Resonanzfrequenz}$$

$$b = \text{Bandbreite}$$

Die Güte eines Schwingkreises ist vom LC-Verhältnis und von vielfältig auftretenden Verlusten abhängig, die als Widerstand in unsere Berechnungen eingehen.

Für unsere Prüfungsaufgaben sind folgende Beziehungen von Interesse:

$$Q = \frac{f_0}{b} = \frac{R_p}{x_L} = \frac{x_L}{R_s} \quad R_p = \text{paralleler Verlustwiderstand}$$

$$R_s = \text{serieller Verlustwiderstand}$$

Nun aber zurück zu unserer Aufgabe.

geg.: $L = 100 \mu\text{H}$, $C = 0,01 \mu\text{F}$, $R = 10 \Omega$ ges.: Q

Es handelt sich um einen Serienschwingkreis.

$$Q = \frac{x_L}{R} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R} = \frac{2\pi \cdot \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \cdot L}{R} = \frac{L}{\sqrt{L \cdot C}}$$

$$= \frac{L}{R \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{100 \cdot 10^{-6} \text{ H}}{10 \Omega \cdot \sqrt{100 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}}}$$

$$= \frac{100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot \sqrt{10^{-12}}} = \frac{100 \cdot 10^{-6}}{10 \cdot 10^{-6}} = \frac{100}{10} = \underline{\underline{10}}$$

Eine andere Möglichkeit wäre, erst die Resonanzfrequenz auszurechnen und diesen Wert dann in die Formel einzusetzen. Ich halte diesen Weg für übersichtlicher.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{100 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{ F}}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{10^{-12}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6}} = \underline{\underline{159,155 \text{ kHz}}}$$

$$Q = \frac{x_L}{R} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R} = \frac{2\pi \cdot 159,155 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ F}}{10 \Omega} = \frac{100}{10} = \underline{\underline{10}}$$

TD 216 Welchen Gütefaktor Q hat die Parallelschaltung einer Spule von $2 \mu\text{H}$ mit einem Kondensator von 60 pF und einem Widerstand von $1 \text{ k}\Omega$?

geg.: $L = 2 \mu\text{H}$, $C = 60 \text{ pF}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$ ges.: Q

Es handelt sich um einen Parallelschwingkreis.

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-6} \text{ H} \cdot 60 \cdot 10^{-12} \text{ F}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 1 \cdot 10^{-8}} = 14528792 \text{ Hz} = \underline{\underline{14,529 \text{ MHz}}}$$

$$Q = \frac{R_p}{x_L} = \frac{R_p}{2\pi \cdot f \cdot L} = \frac{10^3 \Omega}{2\pi \cdot 14,529 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ H}} = \underline{\underline{5,5}}$$

TD 217 Welche Bandbreite b hat die Serienschaltung einer Spule von $100 \mu\text{H}$ mit einem Kondensator von $0,01 \mu\text{F}$ und einem Widerstand von 10Ω ?

geg.: $L = 100 \mu\text{H}$, $C = 0,01 \mu\text{F}$, $R = 10 \Omega$

ges.: b

$$Q = \frac{f_0}{b}$$

Wir müssen zunächst die Resonanzfrequenz und die Güte bestimmen.

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{100 \cdot 10^{-6} \text{H} \cdot 10 \cdot 10^{-9} \text{F}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-6}} = \mathbf{159,155 \text{ kHz}}$$

$$Q = \frac{x_L}{R_s} = \frac{2\pi \cdot f \cdot L}{R} = \frac{2\pi \cdot 159,155 \cdot 10^3 \text{ Hz} \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ H}}{10 \Omega} = \frac{2\pi \cdot 15,9155}{10} = \mathbf{10}$$

(siehe Aufgabe **TD 215!**)

Nun können wir mit Hilfe der ermittelten Güte und Resonanzfrequenz die Bandbreite errechnen.

$$Q = \frac{f_0}{b} \quad \Rightarrow \quad b = \frac{f_0}{Q} = \frac{159,155 \text{ kHz}}{10} = \mathbf{15,9 \text{ kHz}}$$

TD 218 Welche Bandbreite b hat die Parallelschaltung einer Spule von $2 \mu\text{H}$ mit einem Kondensator von 60 pF und einem Widerstand von $1 \text{ k}\Omega$?

geg.: $L = 2 \mu\text{H}$, $C = 60 \text{ pF}$, $R = 1 \text{ k}\Omega$

ges.: b

$Q = \frac{f_0}{b}$ Wir müssen zunächst wieder die Resonanzfrequenz und die Güte bestimmen:

$$f = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}} = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{2 \cdot 10^{-6} \text{H} \cdot 60 \cdot 10^{-12} \text{F}}} = \frac{1}{2\pi \cdot 10^{-8} \text{s}} = \mathbf{14,529 \text{ MHz}}$$

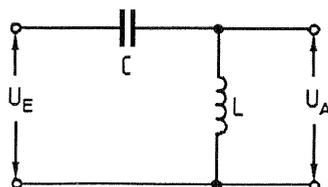
$$Q = \frac{R_p}{x_L} = \frac{R_p}{2\pi \cdot f \cdot L} = \frac{10^3 \Omega}{2\pi \cdot 14,529 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ H}} = \frac{10^3}{2\pi \cdot 29,058} = \mathbf{5,5}$$

(siehe Aufgabe **TD 216!**)

Nun errechnen wir mit Hilfe der ermittelten Güte und Resonanzfrequenz die Bandbreite:

$$Q = \frac{f_0}{b} \quad \Rightarrow \quad b = \frac{f_0}{Q} = \frac{14,529 \text{ MHz}}{5,5} = \mathbf{2,64 \text{ MHz}} \quad (\text{Abweichung durch Rundungen})$$

TD 222 Was stellt diese Schaltung dar?



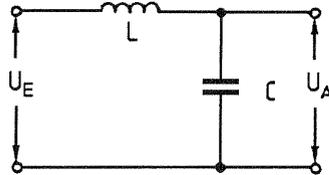
a) Hochpaß

Ein **Kondensator in Flußrichtung des Signals** deutet immer auf einen **Hochpaß** hin.

Der Kondensator hat bei hohen Frequenzen einen niedrigen, die Spule aber einen hohen Blindwiderstand. Deshalb können die hohen Frequenzen passieren.

Für niedrige Frequenzen hat der Kondensator einen hohen Blindwiderstand und sperrt diese. Der Blindwiderstand der Spule ist in diesem Fall dagegen klein und die niedrigen Frequenzen werden kurzgeschlossen.

TD 223 Was stellt diese Schaltung dar?

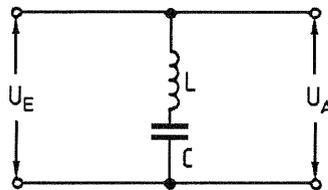


a) Tiefpaß

Eine **Spule in Flußrichtung des Signals** deutet immer auf einen **Tiefpaß** hin.

Die Spule hat bei niedrigen Frequenzen einen niedrigen Blindwiderstand, der Kondensator aber einen hohen. Deshalb können die tiefen Frequenzen passieren, hohe werden gesperrt. Der Blindwiderstand des Kondensators ist bei hohen Frequenzen klein, wodurch diese kurzgeschlossen werden.

TD 224 Was stellt diese Schaltung dar?

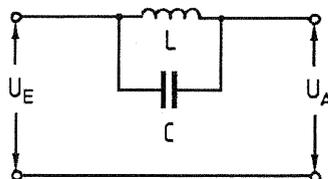


a) Saugkreis

Eine **Serienschwingkreis quer zur Flußrichtung des Signals** ist ein Saugkreis.

Der Scheinwiderstand (die Impedanz) eines Serienschwingkreises ist im Resonanzfall fast Null, für alle anderen Frequenzen dagegen hoch. Dadurch wird die Resonanzfrequenz kurzgeschlossen. Sie wird „abgesaugt“. Alle anderen Frequenzen passieren ungehindert.

TD 225 Was stellt diese Schaltung dar?



a) Sperrkreis

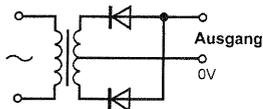
Der Scheinwiderstand (die Impedanz) eines Parallelschwingkreises ist im Resonanzfall groß, für alle anderen Frequenzen dagegen klein. Dadurch wird die Resonanzfrequenz gesperrt. Die Anordnung wirkt in diesem Fall wie ein großer Widerstand oder offener Schalter. Für alle anderen Frequenzen ist die Impedanz niedrig, sie passieren ungehindert.

Die Wirkung dieser Schaltung ist die gleiche wie beim Saugkreis, d.h. eine unerwünschte Frequenz wird herausgefiltert (gesperrt).

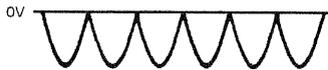
Die Aufgabe **TD 226** entspricht der Aufgabe **TD 225**. Die Begriffe Sperrkreis und Sperrfilter sind austauschbar.

1.4.3 Stromversorgung

TD 301 Welche Form hat die Ausgangsspannung der dargestellten Schaltung?



a) ist richtig

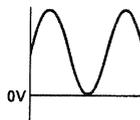
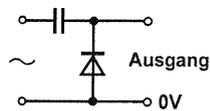


Eine Diode wird immer dann leitend, wenn die Anode positiv und die Kathode negativ ist. Liegt in unserem Beispiel an der Kathode die negative Halbwelle, so wird die Diode leitend, d.h. wir können sie wie einen geschlossenen Schalter betrachten. Folglich liegt die negative Halbwelle auch am Ausgang. Hat die obere Diode die negative Halbwelle, so liegt während dieser Zeit an der unteren die positive Halbwelle, d.h. die untere Diode sperrt. Wir können sie uns wie einen offenen Schalter vorstellen.

Eine halbe Schwingung später liegt an der unteren Diode die negative Halbwelle, diese Diode wird leitend und lässt die negative Halbwelle in Richtung Ausgang passieren, die obere Diode sperrt.

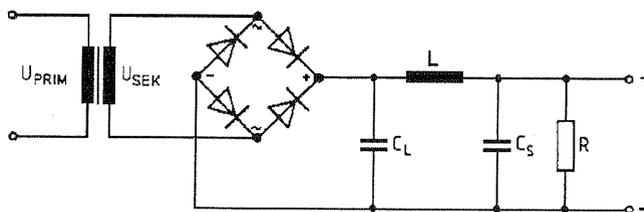
Achtung! Entgegen der allgemein üblichen Praxis liegen bei dieser Aufgabe die **Anoden am Ausgang**. Deshalb erhalten wir dort auch die negative pulsierende Gleichspannung.

TD 302 Welche Ausgangsspannung wird erzeugt, wenn an die dargestellte Schaltung eine Wechselfspannung angelegt wird?



Die Diode sperrt, wenn die positive Halbwelle an der Kathode anliegt. Liegt dagegen die negative Halbwelle an (gleichzeitig liegt dann an der Anode die positive), wird die Diode leitend und schließt kurz. Es ergibt sich zunächst eine Einweggleichrichtung. Dadurch lädt sich aber der Kondensator am Eingang auf und bewirkt das Entstehen einer mit einer Gleichspannung überlagerten Wechselfspannung (siehe Antwort a!). Schließt man am Ausgang einen Ladekondensator an (der sich etwa auf den neuen Spitzenwert auflädt), so erhält man eine Spannungsverdopplung. Dieses Prinzip wird z.B. bei der Gewinnung der Hochspannung in Mikrowellenherden angewendet.

TD 305 Wie groß ist die Spannung am Siebkondensator C_S im Leerlauf, wenn die primäre Trafospaltung 230 Volt und das Windungsverhältnis 8:1 beträgt? Die Spannung beträgt etwa...



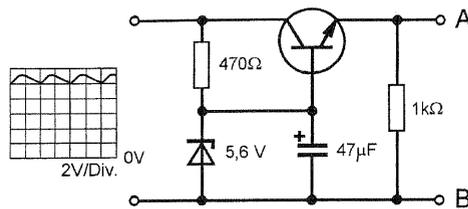
geg.: $U_{\text{prim}} = 230 \text{ V}$, $\ddot{u} = 8:1$

ges.: U^-

$$\ddot{u} = \frac{U_{\text{prim}}}{U_{\text{sek}}} \Rightarrow U_{\text{sek}} = \frac{U_{\text{prim}}}{\ddot{u}} = \frac{230 \text{ V}}{8} = 28,75 \text{ V}$$

$$U^- = U^- \cdot 1,414 = 28,75 \text{ V} \cdot 1,414 = \underline{40,7 \text{ V}}$$

TD 312 Die Ausgangsspannung zwischen A und B in der Schaltung beträgt ungefähr...

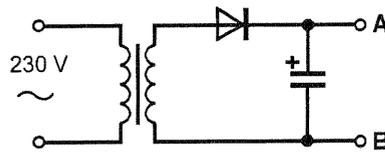


a) **5 Volt**

Die Z-Diode stabilisiert auf 5,6 Volt. Danach folgt zwischen Basis und Emitter des Transistors ein pn-Übergang, an dem bei Silizium etwa 0,7 V abfallen. Diese sind von den 5,6 Volt der Z-Diode zu subtrahieren.

Anmerkung: Der Sinn des Oszillogramms ist nicht gleich zu erkennen. Es soll vermutlich verdeutlichen, daß am Eingang eine nicht ganz stabile Spannung von etwa 11 Volt anliegt, die durch die dargestellte Schaltung elektronisch gesiebt und stabilisiert werden soll.

TD 313 Bei einem Transformationsverhältnis von 5:1 sollte die Spannungsfestigkeit der Diode (max. Spannung plus 10 % Sicherheitsaufschlag) in dieser Schaltung nicht weniger als ...



a) **143 Volt** betragen

geg.: $U_{\text{prim}} = 230 \text{ V}$, $\ddot{u} = 5:1$ ges.: U^-

$$\ddot{u} = \frac{U_{\text{prim}}}{U_{\text{sek}}} \Rightarrow U_{\text{sek}} = \frac{U_{\text{prim}}}{\ddot{u}} = \frac{230 \text{ V}}{5} = 46 \text{ V}$$

$$U^- = U^{\sim} \cdot 1,414 = 46 \text{ V} \cdot 1,414 = 65 \text{ V}$$

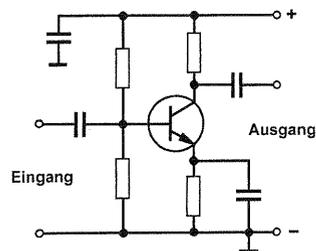
Die Gleichspannung zwischen den Punkten A und B beträgt 65V (Spitzenwert der positiven Halbwelle). Auf diese Spannung lädt sich nämlich der Ladekondensator während der positiven Halbwelle auf. An der Kathode liegen also + 65 V. Bei der nächsten halben Schwingung liegt an der Anode die negative Halbwelle. Im Maximum sind das – 65 V (Spitzenwert der negativen Halbwelle), die Diode sperrt. An ihr liegen in diesem Fall – 65 V an der Anode und + 65 V an der Kathode, insgesamt also 130 Volt. Hinzu kommt der Sicherheitsaufschlag von 10 % (13 Volt).

So kommt es zu der unvermuteten Feststellung, daß zur Gleichrichtung einer effektiven Wechselspannung von 46 Volt bei kapazitiver Belastung für die Spannungsfestigkeit der Diode **mehr als das Doppelte der Spitzenspannung erforderlich** ist.

Die Aufgabe TD 314 sollte uns nun keine Probleme bereiten.

1.4.4 Verstärker

TD 401 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



a) einen Verstärker in **Emitterschaltung**

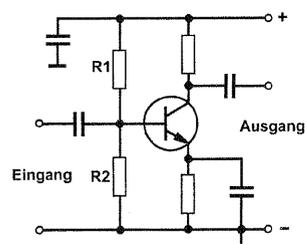
Die häufigste Form des Transistorverstärkers ist die Emitter- oder auch Emitterbasisschaltung. Dieser Ausdruck besagt, daß der Emitter sowohl für den Eingang als auch den Ausgang der Schaltung die Bezugsbasis darstellt. Zur Erklärung folgendes:

- Wir legen das Eingangssignal zwischen Basis und Masse. Das Ausgangssignal entnehmen wir zwischen Kollektor und Masse.
- Der Kondensator vom Emitter zur Masse überbrückt für unser Signal (z.B. NF, HF) den Emitterwiderstand. Wir sprechen davon, daß der Emitter wechselfspannungsmäßig an Masse liegt.
- Folglich liegt das Eingangssignal zwischen Basis und Emitter und das Ausgangssignal zwischen Kollektor und Emitter.
- Wie eingangs erwähnt, ist der Emitter die gemeinsame Bezugsbasis. Die Bezeichnung Emitterbasisschaltung kommt von Bezugsbasis und hat nichts mit dem Transistoranschluß zu tun.

Eigenschaften der Emitterschaltung:

- Eingangs- und Ausgangsimpedanzen sind etwa in der gleichen Größenordnung (einige Kiloohm), weshalb Verstärker in Emitterschaltung gut zusammengeschaltet werden können.
- Das Eingangssignal wird am Ausgang um 180° gedreht, d.h. die positive Halbwelle erscheint am Ausgang als negative.
- Spannungs- und Stromverstärkung sind groß.

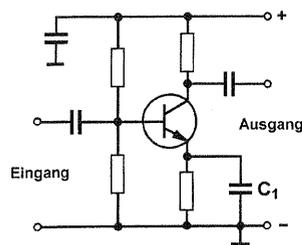
TD 402 Welche Funktion haben die Widerstände R1 und R2 in der folgenden Schaltung?



a) Einstellung der Basisvorspannung

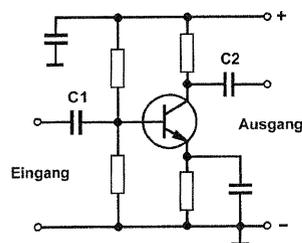
R1 und R2 bilden den Basisspannungsteiler. Durch ihr Widerstandsverhältnis wird im wesentlichen die Basisvorspannung bestimmt.

TD 404 Wie verhält sich die Spannungsverstärkung bei der folgenden Schaltung, wenn der Kondensator C1 entfernt wird?



Es handelt sich dabei um den Emittorkondensator. Wird er entfernt, fällt Wechselspannung über den Emittorwiderstand ab, wodurch es zur Verringerung der Spannungsverstärkung kommt.

TD 405 Welche Funktion haben die Kondensatoren C1 und C2 in der folgenden Schaltung?

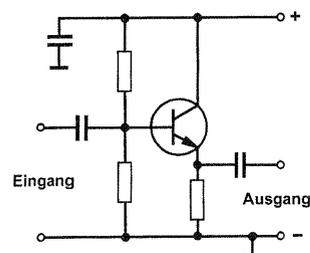


Die richtige vorgegebene Antwort lautet: Sie dienen zur Wechselstromkopplung.

Das ist wenig allgemeinverständlich ausgedrückt. Über die Kondensatoren wird das Signal ein- bzw. ausgekoppelt. Sie bewirken hauptsächlich eine gleichstrommäßige Trennung.

Stellen wir uns doch einmal vor, am Eingang der Schaltung läge ein dynamisches Mikrofon, das bekanntlich eine Spule beinhaltet. Wäre C1 nicht vorhanden, würde die Emittorvorspannung über diese Spule kurzgeschlossen. Ähnlich wäre es mit der Kollektorspannung beim Fehlen von C2, wenn wir am Ausgang z.B. einen Kopfhörer anschließen würden.

TD 408 Bei dieser Schalung handelt es sich um...



Einen Verstärker als **Emitterfolger**.

Ein anderer Ausdruck dafür ist **Kollektorbasisschaltung**. Wir führen das Signal wieder zwischen Masse und Basis zu und entnehmen es diesmal zwischen Masse und Emittor. Der Kollektor liegt wechselstrommäßig (über den Kondensator oben links) an Masse. Oftmals haben wir am Kollektoranschluß wie gewohnt einen Widerstand (zur Einstellung der Kollektorspannung). In diesem Fall führt aber dann ein Kondensator vom Kollektor nach Masse. Dieser Kondensator vom Kollektor nach Masse ist Kennzeichen der Kollektorschaltung.

In Anlehnung an die Bemerkungen zur Emitterschaltung könnten wir auch sagen, das Eingangssignal liegt zwischen Basis und Kollektor (wechselstrommäßig Masse!) und das Ausgangssignal zwischen Emittor und Kollektor. Der **Kollektor ist** in diesem Fall die gemeinsame Bezugsbasis. Daher die Bezeichnung Kollektorbasisschaltung.

Die nächste Verstärkerstufe folgt am Emitter. Daher ergibt sich die ebenfalls gebräuchliche Bezeichnung Emitterfolger.

Eigenschaften der Kollektorschaltung:

- Die Eingangsimpedanz ist groß (einige hundert Kiloohm) und die Ausgangsimpedanz ist klein (einige hundert Ohm bis Kiloohm), weshalb Verstärker in Kollektorschaltung oft als Pufferstufe und zur Anpassung von hochohmigen Eingangswiderständen z.B. hochohmigen Mikrofonen eingesetzt werden.
- Das Eingangssignal wird am Ausgang nicht gedreht.
- Die Spannungsverstärkung ist etwas kleiner als 1 und die Stromverstärkung ist sehr groß.

TD 416 ein NF-Verstärker hebt die Eingangsspannung von 1 mV auf 4 mV Ausgangsspannung an. Wie groß ist die Spannungsverstärkung des Verstärkers?

Halt, das rechnen wir doch im Kopf aus! Die Spannungsverstärkung ist 1 mV : 4 mV also vierfach. Wir wissen, daß die Verdopplung einer Spannung 6 dB entspricht. Der Verstärkungsfaktor beträgt in unserem Falle aber 4.

$$\Rightarrow 4 = 2 \cdot 2 \quad \Rightarrow \quad \text{wir addieren } 6 \text{ dB} + 6 \text{ dB} = \mathbf{12 \text{ dB}}$$

TD 417 Ein Leistungsverstärker hebt die Eingangsleistung von 2,5 Watt auf 38 Watt Ausgangsleistung an. Dem entspricht eine Leistungsverstärkung von...

Geg.: $P_1 = 2,5 \text{ W}$, $P_2 = 38 \text{ W}$ ges.: V_P

$$V_P = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{38 \text{ W}}{2,5 \text{ W}} = \mathbf{11,8 \text{ dB}}$$

TD 418 Ein Leistungsverstärker hat einen Gewinn von 16 dB. Welchen Pegel hat der HF-Ausgang bei einem HF-Eingangspegel von 1 W?

geg.: $P_1 = 1 \text{ W}$, $V_P = 16 \text{ dB}$ ges.: P_2

$$V_P = \frac{P_2}{P_1} \quad \Rightarrow \quad P_2 = P_1 \cdot 10^{\frac{V_P}{10}} = 1 \text{ W} \cdot 10^{\frac{16 \text{ dB}}{10}} = 1 \text{ W} \cdot 10^{1,6} = \mathbf{40 \text{ W}}$$

Wem das zu kompliziert ist, der rechnet das im Kopf:

16 dB = 10 dB + 6 dB Eine Leistungsverstärkung von 10 dB entspricht 10fach
eine Leistungsverstärkung von 6 dB entspricht 4fach
Gesamtverstärkung: $10 \cdot 4 = 40$ -fach

$$\Rightarrow \quad \mathbf{40 \cdot 1 \text{ W} = 40 \text{ W}}$$

TD 422 ein HF-Leistungsverstärker im A-Betrieb wird mit einer Anodenspannung von 800 V und einem Anodenstrom von 130 mA betrieben. Wie hoch ist die zu erwartende Ausgangsleistung des Verstärkers?

geg.: $U_A = 800 \text{ V}$, $I_A = 130 \text{ mA}$, A-Betrieb ges.: P

Der Wirkungsgrad eines Verstärkers im A-Betrieb ist etwa 40 %.

$$P = U_A \cdot I_A \cdot 40\% = 800 \text{ V} \cdot 0,130 \text{ A} \cdot 0,4 = 41,6 \text{ W} \approx \mathbf{40 \text{ W}}$$

TD 425 Eine Treiberstufe eines HF-Verstärkers braucht am Eingang eine Leistung von 1 Watt, um am Ausgang 10 Watt an die Endstufe abgeben zu können. Sie benötigt dazu eine Gleichstromleistung von 25 Watt. Wie hoch ist der Wirkungsgrad der Treiberstufe?

Achtung! Denken Sie nach! Es ist eine Gleichstromleistung von 25 Watt erforderlich, um 10 Watt HF zu erzeugen. Die Angabe der Eingangsleistung ist völlig überflüssig.

geg.: $P_{\text{Gleich}} = 25 \text{ W}$, $P_{\text{HF}} = 10 \text{ W}$

ges.: η (Wirkungsgrad)

$$\mu = \frac{P_{\text{HF}}}{P_{\text{Gleich}}} = \frac{10 \text{ W}}{25 \text{ W}} = 0,4 = \underline{\underline{40 \%}}$$

TD 428 Welche Bedingungen müssen für die Entstehung einer ungedämpften Schwingung vorliegen?

Es muß eine gleichphasige Kopplung vom Ausgang eines Verstärkers auf seinen Eingang vorliegen. Dabei muß das Produkt aus dem Verstärkungsfaktor v und dem Rückkopplungsfaktor k größer als 1 sein ($v \cdot k > 1$).

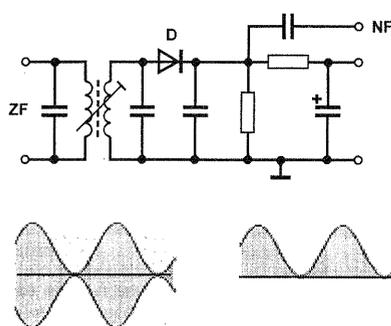
Bei einem Verstärker ist dieser Zustand ungewollt. Tritt dieser Fall ein, sprechen wir dann davon, daß der Verstärker wild schwingt. Abschirmmaßnahmen, räumliche Trennung von Aus- und Eingängen, möglichst kurze Verdrahtung, eine gewissenhafte Wahl des Massepunktes, Verdrosselung und Abblockung der Versorgungsleitungen aber auch ein stabiler mechanischer Aufbau sind einige Schwerpunkte zur Unterdrückung des Schwingverhaltens.

1.4.5 Modulator / Demodulator

Sowohl unter Modulation wie auch Demodulation verstehen eine Mischung von Signalen. Wir werden später bei der Betrachtung von Transceivern sogar feststellen, daß mitunter ein und dieselbe Baugruppe für die Modulation und Demodulation verwendet werden kann.

Bei der Modulation wird ein Hochfrequenzträger mit einem Niederfrequenzsignal gemischt und es entsteht das modulierte HF-Signal, das dann nach entsprechender Bearbeitung ausgestrahlt werden kann. Der umgekehrte Weg wird Demodulation genannt.

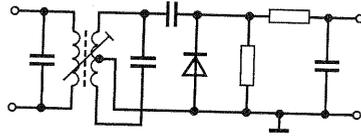
TD 501 Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen...



Hüllkurvendemodulator zur Demodulation von AM-Signalen

Die Funktionsweise ist wie bei einer Gleichrichtung. In diesem Fall werden die negativen Halbwellen gesperrt und nur die positiven durchgelassen.

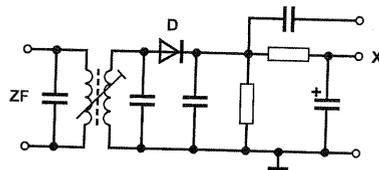
TD 502 Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen...



Hüllkurvendemodulator zur Demodulation von AM-Signalen.

Diese Art der Schaltung wird sehr selten angewandt. Wir nennen diese Schaltung Paralleldemodulator, da die Diode zum Schwingkreis parallel liegt. Immer, wenn die negative Halbwelle des AM-Signals an der Kathode anliegt, wird die Diode leitend und schließt das Signal kurz. In diesen Fall bleibt wie bei der Aufgabe **TD 501** der positive Teil übrig.

TD 503 Bei dieser Schaltung ist der mit „X“ bezeichnete Anschluß...

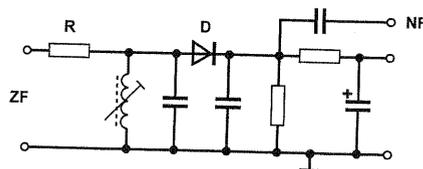


der Ausgang für eine Regelspannung.

Die Regelspannung entsteht aus den HF-Resten nach der Demodulation. Je nachdem, wie die Diode geschaltet ist, wird die positive oder die negative Halbwelle des AM-Signals von der Diode durchgelassen. Das NF-Signal wird über den Kondensator oben rechts zum NF-Verstärker weitergeleitet. Die sogenannten HF-Reste werden durch das RC-Glied (Tiefpaß) rechts geglättet und stehen am Punkt X als Regelspannung (in unserem Beispiel positiv) zur Verfügung. Bei einem starken Signal ist sie logischerweise groß und bei einem schwachen Signal klein. Deshalb nutzt man sie, um die Verstärkung automatisch zu regeln.

Die Regelspannung wird außerdem noch einem Indikator zugeführt, der allgemein als S-Meter bezeichnet wird und über die Größe der Regelspannung die Signalstärke anzeigt.

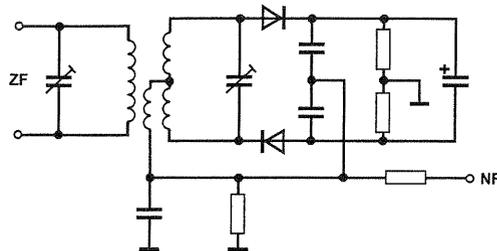
TD 504 Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen...



Flankendemodulator zur Demodulation von FM-Signalen.

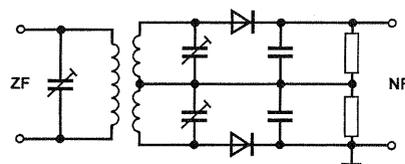
Sie werden sich jetzt fragen, was der Unterschied zum AM-Demodulator ist. Es ist ein AM-Demodulator. Durch gezieltes Abstimmen kurz neben den Sender ist es möglich, das FM-Signal auf die Flanke des ZF-Filters zu ziehen, wodurch es dann mit unterschiedlicher Amplitude an der Diode anliegt. Es kann dann wie ein normales AM-Signal demoduliert werden. Diese Art der FM-Demodulation ist in früheren Jahren angewandt worden und heute maximal als Notbehelf von Bedeutung.

TD 505 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



einen Ratiodetektor zur Demodulation von FM-Signalen. Wir erkennen den Ratiodetektor an den beiden antiparallelen Dioden und der Koppelwicklung. Im Gegensatz dazu sind bei der Diskriminatorschaltung, die ebenfalls als FM-Demodulator verwendet wird, die Dioden immer in der gleichen Richtung geschaltet.

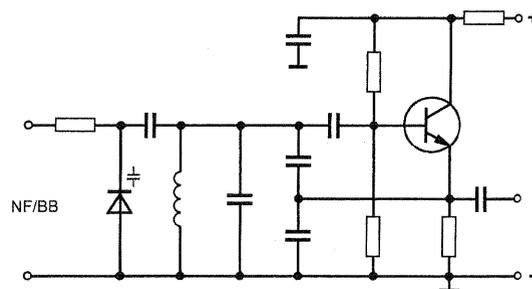
TD 507 Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen...



Phasendiskriminator.

Am augenfälligsten ist die Anordnung der Dioden. Es fehlt aber auch die Koppelwicklung.

TD 512 Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen Modulator zur Erzeugung



von frequenzmodulierten Signalen.

An der Kapazitätsdiode, die in Sperrichtung betrieben wird, liegt das NF-Signal und überlagert sich mit der Sperrspannung. Diese wird folglich im Rhythmus der NF größer oder kleiner. Dadurch ändert sich auch die Kapazität der Kapazitätsdiode, wodurch sich wiederum die Frequenz des Oszillators ändert. Die Anzahl der Frequenzänderungen entspricht der NF. Die Größe der Frequenzabweichung ist von der Amplitude des NF-Signals (Lautstärke) abhängig und wird Hub genannt.

(Ausführlichere Informationen dazu unter Aufgabe **TE 204**)

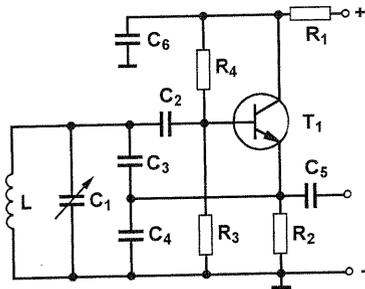
TD 515 Welche Baugruppen werden benötigt, um aus einem 5,3-MHz-Signal ein 14,3-MHz-Signal zu erzeugen?

Ein Mischer und ein 9-MHz-Oszillator

Bei einer Mischung werden durch Addition und Subtraktion neue Frequenzen erzeugt. In unserem Beispiel mischen sich $5,3 \text{ MHz} + 9 \text{ MHz}$ und es entstehen $14,3 \text{ MHz}$. Es entsteht aber auch die Frequenz $9 \text{ MHz} - 5,3 \text{ MHz} = 3,7 \text{ MHz}$ (80-m-Band). Diese ist aber hier unerwünscht und wird über einen Schwingkreis, der am Ausgang des Mixers liegt und bei $14,3 \text{ MHz}$ in Resonanz ist, unterdrückt.

1.4.6 Oszillator

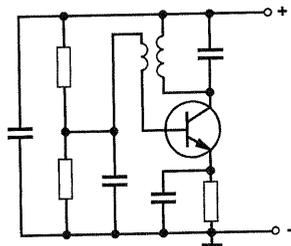
TD 601 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



einen kapazitiv rückgekoppelten Dreipunkt LC-Oszillator mit Parallelresonanzkreis (Colpitts-Oszillator).

Wir erkennen den Colpittsoszillator an den aufgeteilten Kondensatoren C_3 , C_4 und dem Parallelschwingkreis dazu. LC-Oszillatoren haben als frequenzbestimmendes Element einen Schwingkreis, der aus Spule (L) und Kondensator (C) besteht, deren Formelabkürzung für die Bezeichnung sorgte.

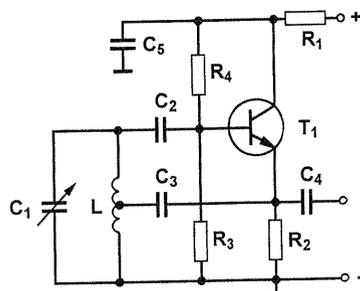
TD 602 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



einen rückgekoppelten LC-Oszillator (Meißner-Oszillator).

Wir erkennen den Meißneroszillator an dem Parallelschwingkreis, mit einer Koppelspule zum Eingang. Da die Rückkopplung vom Ausgang zum Eingang gleichphasig sein muß (siehe Aufgabe TD 428!), ist die Polung der Koppelspule für die Funktion wichtig, d.h. sollte eine solche Schaltung nicht schwingen, so sind die Anschlüsse einer Spule zu tauschen.

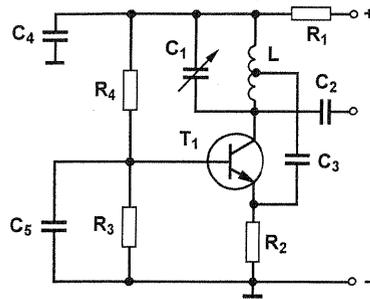
TD 603 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



einen induktiven Dreipunkt-LC-Oszillator (Hartley-Oszillator).

Ähnlich wie beim Colpittsoszillator handelt es sich auch hier um eine Dreipunktschaltung (Basis – Masse – Emitter). Nur ist hier statt des Kondensators die Spule aufgeteilt. Die Rückkopplung erfolgt hier vom Ausgang (Emitter → Kollektorschaltung!) über C_3 auf den Eingang (Basis).

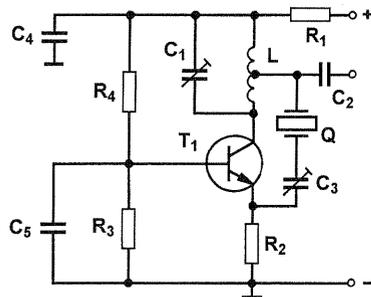
TD 604 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



einen induktiven Dreipunkt-LC-Oszillator (Hartley-Oszillator).

Die im Fragenkatalog unter a) vorgegebene Antwort ist falsch!

TD 607 Bei dieser Oszillatorschaltung handelt es sich um einen kapazitiv rückgekoppelten Quarz-Quarz-Colpitts-Oszillator in...

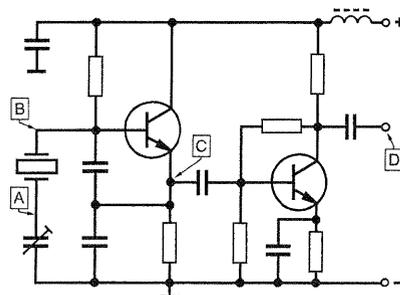


Basisschaltung, in der der Quarz in Serienresonanz betrieben wird.

Die Basis des Transistors liegt über C_5 an Masse. Deshalb handelt sich um eine Basisschaltung.

In der Aufgabenstellung ist ein Fehler. **Bei der dargestellten Schaltung handelt sich um einen Hartleyoszillator** (induktiv rückgekoppelt).

TD 608 Für die Messung der Oszillatorfrequenz sollte der Tastkopf hier vorzugsweise am Punkt...



D angelegt werden.

Die zweite Transistorstufe nennt man Pufferstufe, d.h. Laständerungen am Ausgang wirken sich nicht auf den Oszillator aus.

Bei einer Messung an den Punkten A, B oder C, würde den Oszillator u.a. die Kapazität des Kabels und die veränderte Last verstimm werden.

TD 614 Im VFO eines Senders steigt die Induktivität der Spule mit der Temperatur. Der Kondensator bleibt sehr stabil. Welche Auswirkungen hat dies bei steigender Temperatur?

Die VFO-Frequenz wandert nach unten.

Eine Spule hat immer einen positiven Temperaturkoeffizienten, da sich der Draht bei Erwärmung ausdehnt. Wir haben schon einmal bei Aufgabe **TD 206** mit einer ähnlichen Problematik zu tun gehabt. Es gilt die Regel: **Je größer die Induktivität oder Kapazität eines Schwingkreises ist, um so kleiner wird seine Resonanzfrequenz.**

Bei der Lösung der Aufgaben **TD 612** und **TD 613** ist sinngemäß zu verfahren.

Da eine stabile Frequenz unerlässlich für eine stabile Funkverbindung ist, sollte der Temperaturkompensation großes Augenmerk geschenkt werden.

1.4.7 Phasenregelkreise

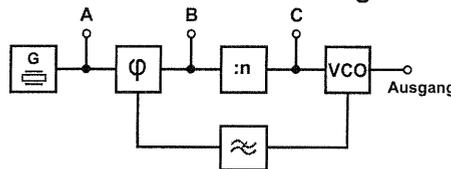
TD 706 Die Ausgangsfrequenz eines VCO ändert sich von 16,5 MHz auf 16,75 MHz, wenn sich die Regelspannung von 5,1 V auf 7,5 V ändert. Welche Regelempfindlichkeit hat der VCO?

geg.: $U_1 = 5,1 \text{ V}$, $U_2 = 7,6 \text{ V}$, $f_1 = 16,5 \text{ MHz}$, $f_2 = 16,75 \text{ MHz}$ ges.: Empf_{VCO}

$$\Delta U = 7,6 \text{ V} - 5,1 \text{ V} = 2,5 \text{ V} \quad \Delta f = 16,75 \text{ MHz} - 16,5 \text{ MHz} = 0,25 \text{ MHz}$$

$$\text{Empf}_{\text{VCO}} = \Delta f / \Delta U = 0,25 \text{ MHz} / 2,5 \text{ V} = 0,1 \text{ MHz/V} = \underline{\underline{100 \text{ kHz/V}}}$$

TD 707 Die Frequenz an Punkt A beträgt 12,5 kHz. Es sollen Ausgangsfrequenzen von 12,000 bis 14,000 MHz erzeugt werden. In welchem Bereich bewegt sich das Teilverhältnis n ?



geg.: $f_1 = 12,000 \text{ MHz}$, $f_2 = 14,000 \text{ MHz}$, $12,5 \text{ kHz}$

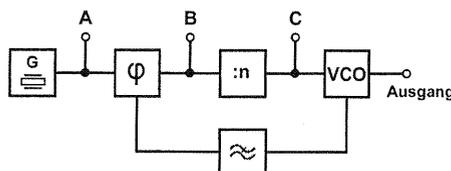
ges.: n_1, n_2

Wie Sie schon bei Aufgabe **TD 702** beantwortet haben, muß die Frequenz am Punkt B die gleiche sein wie am Punkt A, damit sich am Phasenvergleich keine Unterschiede ergeben. Folglich ist die Frequenzen des Ausgangs so zu teilen, daß sich die Vergleichsfrequenz, in unserem Fall die des Quarzgenerators f_Q ergibt.

$$n_1 = f_1 : f_Q = 12,000 \text{ MHz} : 12,5 \text{ kHz} = 12000 \text{ kHz} : 12,5 \text{ kHz} = \underline{\underline{960}}$$

$$n_2 = f_2 : f_Q = 14,000 \text{ MHz} : 12,5 \text{ kHz} = 14000 \text{ kHz} : 12,5 \text{ kHz} = \underline{\underline{1120}}$$

TD 708 Wie groß muß bei der folgenden Schaltung die Frequenz an Punkt A sein, wenn bei der versechsfachten Ausgangsfrequenz ein Kanalabstand von 25 kHz benötigt wird?



geg.: $n = 6$, $f_K = 25 \text{ kHz}$

ges.: f_Q

$$f_Q = f_K : n = 25 \text{ kHz} : 6 = \underline{\underline{4,167 \text{ kHz}}}$$

1.5 Analoge und digitale Modulationsverfahren

1.5.1 Amplitudenmodulation

TE 101 Wie unterscheidet sich J3E von A3E in Bezug auf die benötigte Bandbreite?

An dieser Stelle muß ich zum allgemeinen Verständnis einige einleitende Erläuterungen geben, da ich davon ausgehe, daß der überwiegende Teil der zukünftigen Funkamateure beruflich nichts Nachrichtentechnik zu tun hat.

Beim Abschnitt 1.4.5 Modulator / Demodulator habe ich bereits erwähnt, daß es sich bei der Modulation wie auch bei der Demodulation um eine Mischung handelt. Aus der Trägerfrequenz und der NF bilden sich bei der Modulation zwei neue Frequenzen, die Summe und die Differenz aus beiden. Da eine negative Frequenz (NF – Trägerfrequenz) nicht denkbar ist, bleiben also nur die beiden Möglichkeiten Trägerfrequenz plus NF und Trägerfrequenz minus NF. Da die NF im allgemeinen in einem bestimmten Bereich schwankt, ergeben sich folglich auch unterschiedliche Summen und Differenzen. Wir sprechen von den Seitenbändern. Sie liegen symmetrisch ober- und unterhalb der Trägerfrequenz. In ihnen ist die Information z.B. Sprache enthalten.

Bei der Modulationsart A3E (A = Zweiseitenband, 3 = ein Kanal mit analoger Information, E = Fernsprechen), haben wir es mit einer Aussendung zu tun, die aus dem Träger und beiden Seitenbändern besteht. Diese Betriebsart wird z.B. von Rundfunksendern im Lang-, Mittel und Kurzwellenbereich benutzt. Im Amateurfunk spielt sie aber heute keine Rolle mehr, da sie einen unökonomischen Umgang mit Sendeleistung und benötigter Bandbreite darstellt. Außerdem provoziert sie Pfeifstörungen. Erinnern wir uns: Wenn wir einen Ton von 3 kHz ausstrahlen wollen, entstehen bei der klassischen Amplitudenmodulation (A3E) neben dem Träger die neuen Frequenzen $f_{\text{Träger}} + 3 \text{ kHz}$ und $f_{\text{Träger}} - 3 \text{ kHz}$. Wir belegen somit 6 kHz Bandbreite. Sowohl im oberen als auch im unteren Seitenband ist die gleiche Information (3 kHz) enthalten. Einmal reicht doch! Und noch schlimmer, im Träger ist gar keine Information. Er kostet nur Sendeenergie.

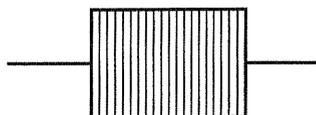
Deshalb reifte die Idee, nur ein Seitenband auszustrahlen und auch den Träger erst im Empfänger wieder zuzusetzen. Dadurch gelangt die gesamte Sendeenergie in das eine Seitenband, das nun voll für die Übertragung der eigentlichen Information genutzt wird. Wir sprechen von Einseitenband-Modulation, abgekürzt SSB (Single Side Band), Schlüsselbezeichnung J3E (J = Einseitenband, unterdrückter Träger, 3 = ein Kanal mit analoger Information, E = Fernsprechen). Näheres zu diesem Kennzeichnungsschlüssel siehe Anhang 13 des Fragenkatalogs!

Bei SSB belegen wir demzufolge etwas weniger Bandbreite als die höchste übertragene NF, d.h. weniger als die Hälfte gegenüber A3A.

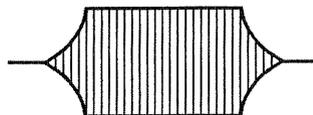
TE 102 wodurch werden Tastklicks bei einem CW-Sender hervorgerufen?

Durch zu steile Flanken der Tastimpulse:

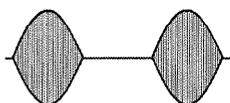
Tastklicks:



besser:

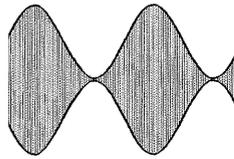


TE 105 Welches Bild stellt die Übermodulation eines AM-Signals dar?



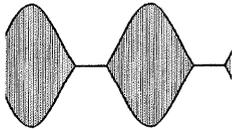
Merken wir uns an dieser Stelle: Alles, was nicht aussieht wie ein Sinus deutet auf Verzerrungen hin und ist zu vermeiden, da Störungen die Folge sind.

TE 110 In welcher Abbildung ist AM mit einem Modulationsgrad von 100 % dargestellt?

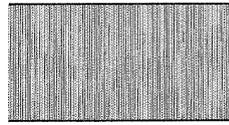


Nutzen wir die angegebenen falschen Abbildungen gleich für unsere Weiterbildung:

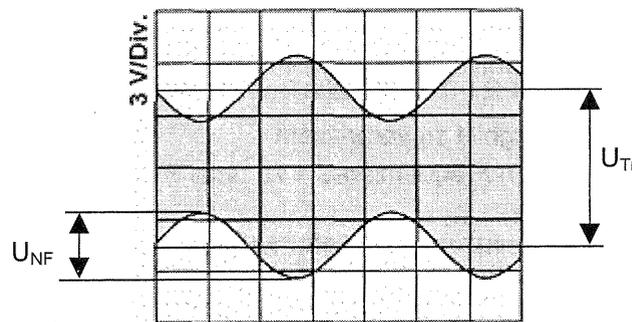
Übermodulation:



unmoduliert:



TE 112 Das folgende Oszillogramm zeigt ein AM-Signal. Der Modulationsgrad beträgt:



geg.: $U_{NF} = 3,3 V_{ss}$, $U_{Tr} = 9 V_{ss}$

ges.: m

$$m = \frac{U_{NF}}{U_{Tr}} = \frac{3,3 V_{ss}}{9 V_{ss}} = 0,366 \approx \underline{\underline{37\%}}$$

Bei dieser einfach erscheinenden Aufgabe ist zu beachten, daß die Spitzen-Spitzen-Spannung des Trägers zwischen den Nulllinien der NF-Schwingung abzulesen ist. Zur Verdeutlichung wurde deshalb das ursprünglich vorgegebene Oszillogramm ergänzt.

Aufgabe **TE 111** ist ebenso zu lösen.

1.5.2 Frequenzmodulation

TE 201 Welche nachfolgende Sendart hat die geringste Störanfälligkeit bei Funkanlagen in Kraftfahrzeugen?

Bei der Frequenzmodulation ist die Information der Niederfrequenz in der Anzahl der Frequenzwechsel zwischen maximaler und minimaler Frequenz und die Lautstärke in der Größe der Frequenzänderung (Hub) des frequenzmodulierten Trägers enthalten.

Funkenstörungen, wie sie in Kfz's häufig sind, sind aber hauptsächlich amplitudenmoduliert. Da die Amplitude bei FM keine Information enthält, kann man diese Störsignale durch eine Amplitudenbegrenzung recht wirksam unterdrücken. Sie werden förmlich abgeschnitten.

(F3E: F = Frequenzmodulation, 3 = ein Kanal mit analoger Information, E = Femsprechen)

TE 202 Was gilt näherungsweise für die Bandbreite eines FM-Signals, wenn der Modulationsindex $m < 0,5$ wird?

Der Modulationsindex m kennzeichnet das Verhältnis des Frequenzhubs zur höchsten übertragenen Modulationsfrequenz (NF). Es ergibt sich die Beziehung

$$m = \frac{\Delta f_{Tr}}{f_{\text{mod max}}}$$

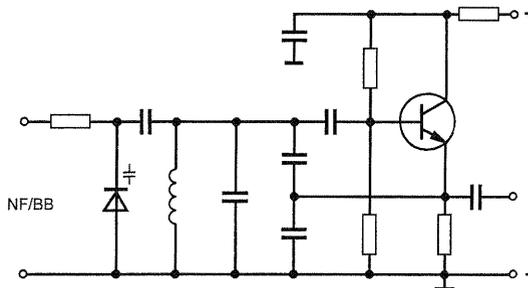
Die Bandbreite errechnet sich folgendermaßen:

$$b = 2 \cdot (\Delta f_{Tr} + f_{\text{mod max}}) \quad \Rightarrow \quad \Delta f_{Tr} \downarrow \quad \Rightarrow \quad \underline{b \approx 2 \cdot f_{\text{mod max}}}$$

Wird also wie in der Aufgabenstellung die Modulationsfrequenz größer (hier doppelt so groß) als der Frequenzhub, so wird klar, daß sie für die belegte Bandbreite bestimmend ist. Der umgekehrte Fall ist Inhalt der Aufgabe **TE 203**.

TE 204 Wodurch wird bei der Frequenzmodulation die Lautstärke-Information übertragen?

Wir sehen uns dazu nochmals das Prinzip zur Erzeugung der Frequenzmodulation aus Aufgabe **TD 512** an:



Die Kapazitätsdiode ist in Sperrichtung geschaltet. Durch die Größe der Sperrspannung wird die Dicke der Sperrschicht und damit die Kapazität der Diode bestimmt. Die Dicke der Sperrschicht entspricht dem Plattenabstand eines Kondensators, womit wir uns zu Beginn unter dem Abschnitt 1.3.2. beschäftigt haben. Da die Diode Bestandteil des Schwingkreises ist, ist sie mitbestimmend für die Frequenz. Bis hierher also nichts Neues.

Wir legen nun eine Niederfrequenz an die Diode. Betrachten wir zunächst die positive Halbwelle der NF. Wir beginnen im Nulldurchgang. An der Diodenspannung ändert sich nichts. Die erzeugte Frequenz bleibt gleichfalls unverändert. Nun steigt aber die Amplitude der NF an. Folglich wird die Spannung an der Kathode der Diode positiver, d.h. die Sperrspannung steigt. Wenn die Sperrspannung aber größer wird, verbreitert sich auch die Sperrschicht, die Kapazität sinkt und die Frequenz steigt. Das geht so lange, bis der Scheitelpunkt der positiven Halbwelle erreicht ist. In diesem Fall ist die Frequenzabweichung (Δf) am größten. Dann nimmt bekanntlich die Amplitude wieder ab und somit die Frequenz wieder allmählich zu.

Bei der negativen Halbwelle wiederholt sich alles. Nur wird jetzt die Sperrspannung kleiner, damit die Kapazität größer und die Frequenz nimmt ab.

Dieser Vorgang wiederholt sich nun im Rhythmus der NF, d.h. in der Anzahl der Frequenzänderungen pro Sekunde ist die Information der Frequenz des aufmodulierten Signals enthalten.

In der Aufgabe ist aber nach der Lautstärkeinformation gefragt. Wir gehen bei unserer Überlegung davon aus, daß ein lautes Signal auch eine hohe NF-Wechselspannung zu Folge hat. Demnach bewirkt eine große Lautstärke auch eine große Trägerfrequenzauslenkung oder wie wir es bei FM nennen, einen großen Hub. Ein leises NF-Signal führt zu einem kleinen Hub.

Fassen wir noch einmal zusammen:

Die Information der Tonhöhe ist in der Anzahl der Frequenzänderungen des Trägers pro Sekunde und die Lautstärkeinformation in der Größe des Hubs enthalten.

Bei einem zu großen Hub (der mitunter beanstandet wird) bleibt uns oftmals nichts anderes übrig als das Mikrofon leiser oder aus größerer Entfernung zu besprechen, da an den Geräten von außen kaum entsprechende Einsteller zu Verfügung stehen

TE 206 FM hat gegenüber AM de Vorteil der...

geringen Beeinflussung durch „man-made-noise“-Störquellen. . Siehe auch Aufgabe **TE 201!**

Ich weiß zwar nicht, wer sich hier ein paar Englischvokabeln aus dem Kreuz gedrückt hat, gemeint sind von Menschen gemachte Störgeräusche z.B. Funkenstörungen durch Kfz und Haushaltgeräte aber auch Gewitterstörungen – und die sind nicht das Werk von Menschen.

TE 209 Ein 2-m-Sender erzeugt seine Ausgangsfrequenz durch Vervielfachung der Oszillatorfrequenz um den Faktor 12. Der Hub der Ausgangsfrequenz beträgt 5 kHz. Wie groß ist der Hub der Oszillatorfrequenz?

Die Verzwölfachung wird bei einfachen 2-m-Geräten oft angewandt. Wir gehen darauf später noch ein. Da die Frequenzmodulation im Oszillator erfolgt, wird der Hub anschließend mit vervielfacht.

$$\Delta f_{Osz} = \frac{\Delta f_{Ausg}}{n} = \frac{5 \text{ kHz}}{12} = \underline{\underline{0,417 \text{ kHz}}}$$

TE 214 Am Spektrumanalyser zeigt ein FM-Sender bei der Modulation mit einem 1-kHz-Ton die erste Nullstelle. Wie groß ist der Spitzenhub?

Zur Beantwortung dieser wie auch der nächsten Frage (**TE 215**) ist es zweckmäßig, sich mit der Fourieranalyse und Besselfunktion vertraut zu machen. Beides gehört in den Bereich der höheren Mathematik. Da ich davon ausgehe, daß Sie sich auf die Amateurfunkprüfung und nicht auf ein Mathematikstudium an einer Universität vorbereiten, kann ich schweren Herzens nur empfehlen, die Antwort auswendig zu lernen.

TE 217 Der typische Hub eines NBFM-Signals beträgt...

5 kHz.

NBFM ist die Abkürzung von „narrow band FM“, auf Deutsch Schmalband-FM.

1.5.3 Text-, Daten- und Bildübertragung

TE 301 Wie wird ein Sender mit einem 1200-Bd-Packet-Radio-Signal moduliert?

Bei Packet-Radio übertragen wir digitale Signale. Nun kann man beim Funk nicht so vorgehen, daß man sagt der Zustand 1 ist, wenn das Sendersignal vorhanden ist und der Zustand 0, wenn es nicht vorhanden ist. Das scheitert schon daran, daß in der Zeit, in der man zum Finden der richtigen Wortwahl die bekannte schöpferische Pause macht, auf der Empfängerseite eine Unmenge Nullen gedeutet würden.

Deshalb wählt man zwei in ihrer Höhe standardisierte Töne und definiert den einen als „0“ und den anderen als „1“.

Bei Packet-Radio sind das 1200 und 2000 Hz, die entsprechend der digitalen Codierung der Zeichen wechselnd gesendet werden. Die Mittenfrequenz ist demnach 1700 Hz und nach beiden Seiten ergibt sich ein Hub von 500 Hz. Man benutzt also so etwas wie eine Hilfsträgerfrequenz von 1700 Hz und moduliert diese mit ± 500 Hz. Die Bezeichnung dafür ist AFSK (**A**udio **F**requency **S**hift **K**eying), also

Tonfrequenz-Umtastung. Damit ist der erste Teil der Frage beantwortet, das Signal wird im **NF-Bereich** erzeugt.

Die benötigte NF-Bandbreite ergibt sich aus der Baud-Rate und dem Hub. Bei einem 1200-Bd-Signal ist das

$$b_{AFSK} = 2 \cdot (500\text{Hz} + 1200\text{Hz}) = 3400\text{ Hz.}$$

Das ist eine NF-Bandbreite, die bei jedem FM-Funkgerät auf den **Mikrofoneingang** gegeben und dann problemlos verarbeitet werden kann.

TE 306 Wie erfolgt die asynchrone Datenübertragung?

Diese Übertragung haben wir z.B. beim traditionellen Fernschreiben (RTTY), wobei zu jedem Zeichen ein Start- und ein Stop-Bit zur Synchronisation hinzugefügt wird. Man kann sich das wie das bekannte „Ja“ bei einem Diktat vorstellen als Zeichen, daß es nun weiter gehen kann (Synchronisation zwischen Schreiber und Diktierendem).

TE 310 Welche Anforderungen muß ein FM-Funkgerät erfüllen, damit es für die Übertragung von Packet-Radio mit 9600 Baud geeignet ist?

In Anlehnung an die Beschriftung von Widerständen (aus Platzmangel statt 4,7 kΩ Aufdruck 4k7) und Kondensatoren (2n2 statt 2,2 nF) sprechen wir bei 9600 Baud häufig kurz von 9k6.

Man benötigt eine NF-Bandbreite von mindestens 4,8 kHz (9600 Baud : 2).

Diese Bandbreite liegt außerhalb des für Sprachübertragung nötigen Spektrums und kann deshalb nicht den normalen NF-Pfad passieren.

Deshalb erfolgt die Zuführung des zu sendenden Signals direkt am FM-Modulator, die Abnahme des empfangenen direkt am Demodulator.

Da wir den Sender in diesem Fall direkt mit den Signalen 0 und 1 modulieren, sprechen wir von **FSK** (Frequency Shift Keying).

Außerdem ist eine schnelle Umschaltung von Senden auf Empfang in der Größenordnung von 10 bis 100 ms nötig.

Die Aufgabe **TE 311** berührt die gleiche Problematik.

TE 312 Was versteht man unter „DAMA“ bei der Betriebsart Packet-Radio?

DAMA ist die Abkürzung von Demand Assigned Multiple Acces. Der Zugriff auf den Digipeater oder Netzknoten ist erst nach Aufforderung möglich, nachdem alle angeschlossenen Stationen abgefragt worden sind, ob sie etwas senden möchten. Dadurch wird verhindert, daß mehrere Stationen zu gleichen Zeit etwas zum Digipeater übertragen, was zu Kollisionen führen würde.

TE 329 was ist der Unterschied zwischen den Betriebsarten ATV und SSTV?

SSTV (**S**low **S**can **T**elevisi**o**n) wird auch Schmalbandfernsehen genannt und dient zur Übertragung von Standbildern, ATV ist Amateurfunkfernsehen (**A**mateu**r** **T**elevisi**o**n) mit bewegten Bildern und auch Ton.

1.6 Funk-Empfänger

1.6.1 Einfach- und Doppelsuperhet-Empfänger

Damit das nötige Verständnis für die Thematik dieses Abschnitts vorhanden ist, sollen hier einige einleitende Erklärungen erfolgen.

Ein Empfänger dient bekanntlich dazu, aus elektromagnetischen Wellen hörbare Signale (ich beschränke mich hier wegen des besseren Verständnisses auf Hörfunkempfänger) zu machen. Die Eingangssignale sind recht klein und müssen deshalb verstärkt werden. Bei einfachen Empfängern geschieht das, indem das gewünschte Signal nach der Antenne von einem Schwingkreis ausgefiltert und dann verstärkt wird. Klassische Empfänger dieser Art sind der legendäre OV1 und einfache Rundfunkempfänger der 30er und 40er Jahre mit Audion.

Um unerwünschte Signale z.B. von benachbarten Stationen zu unterdrücken, ist es notwendig, weitere Schwingkreise auf der gewünschten Frequenz folgen zu lassen, wobei das Signal weiter verstärkt wird. Da unterschiedliche Sender zwangsläufig auch auf unterschiedlichen Frequenzen senden, muß die Resonanzfrequenz der Schwingkreise im Empfänger veränderlich gestaltet werden. Das geschieht am einfachsten durch Abstimmen mittels mechanisch gekoppelter Drehkondensatoren (Mehrfachdrehkos). Drei Schwingkreise würden so einen Dreifachdrehko, vier einen Vierfachdrehko usw. erfordern. Das hat aber seine Grenzen, denn es wird immer Fertigungstoleranzen zwischen den einzelnen Drehkopaketten geben. Das führt dann dazu, daß jeder Schwingkreis in der Praxis eine geringe Abweichung von der gewollten Resonanzfrequenz hat und so die Bandbreite zunehmen kann, wenn wir die Hüllkurven der einzelnen Resonanzkurven betrachten. Hinzu kommt die Gefahr der Schwingneigung, wenn ein Signal phasengleich auf den Eingang einer Verstärkerstufe einstreuen sollte.

Man suchte deshalb nach Wegen, mit fest abgestimmten Schwingkreisen arbeiten zu können, um so die Selektivität zu erhöhen. Den Durchbruch schaffte man mit dem sogenannten Superheterodynischen Empfänger (man liebte damals solche Bezeichnungen). Dieser Ausdruck ist heute auf das Wort Super reduziert worden.

Das Prinzip des Supers besteht darin, aus der Eingangsfrequenz und einer Hilfsfrequenz, der Oszillatorfrequenz, eine neue Frequenz, die konstante Zwischenfrequenz (ZF) zu mischen. Da die Eingangsfrequenz je nach Sender unterschiedlich ist, muß auch die Oszillatorfrequenz variabel sein. Der Unterschied zwischen Oszillatorfrequenz und Eingangsfrequenz ist immer so groß wie die ZF. Das erreicht man z.B. durch die Verwendung eines Doppeldrehkos. Ein Paket stimmt auf die Eingangsfrequenz ab und das andere bestimmt die Oszillatorfrequenz.

Dazu einige Beispiele aus dem 80-m-Band:

Zwischenfrequenz 455 kHz

Eingangsfrequenz		3,500 MHz	3,600 MHz	3,700 MHz
Oszillatorfrequenz		3,955 MHz	4,055 MHz	4,155 MHz
	oder	3,045 MHz	3,145 MHz	3,245 MHz
Differenz		0,455 MHz	0,455 MHz	0,455 MHz

Wir stellen fest, welche Frequenz wir auch empfangen, die ZF als Differenz zwischen Eingangs- und Oszillatorfrequenz ist immer gleich. Deshalb ist es nun möglich, über fest abgestimmte Schwingkreise, die Bandfilter, das Signal weiter zu selektieren, d.h. den Empfänger trennschärfer zu machen.

Die Oszillatorfrequenz muß immer um den Betrag der ZF von der Eingangsfrequenz abweichen. Ob sie ober- oder unterhalb der Eingangsfrequenz liegt, ist größtenteils ohne Belang.

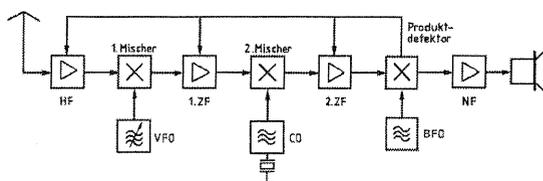
Wir können folgenden Zusammenhang feststellen:

$$f_{osz} = f_e \pm f_z$$

Die Größe der ZF ist in der Praxis sehr unterschiedlich und sollte nie kleiner als ein Zehntel der Empfangsfrequenz sein. Auch sollte sie so gewählt werden, daß sie außerhalb benutzter Frequenzen liegt. Eine ZF in einem Rundfunk- oder Amateurband wäre also nicht geeignet.

Mit diesen Minimalkenntnissen ausgerüstet, wollen wir nun am Blockschaltbild eines Empfängers seine Funktionsweise kennenlernen.

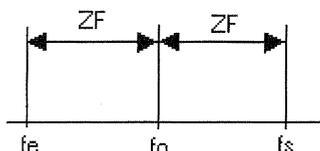
Blockschaltbild eines Dopelsupers:



Das Empfangssignal gelangt von der Antenne auf die HF-Vorstufe. Dort wird aus der Vielzahl der Signale, die von der Antenne kommen, die gewünschte Frequenz herausgefiltert und in der Regel auch verstärkt. Diese Stufe ist abstimmbar. Das geschieht durch Drehkos oder neuerdings mittels Kapazitätsdioden. Damit gekoppelt (z.B. durch gemeinsame Achsen der Drehkopakete), wird auch der Oszillator immer im Abstand der ZF mit verändert.

Beide Signale werden nun im ersten Mischer zur 1. ZF gemischt und verstärkt. Die erste ZF wird möglichst hoch gewählt und gewährleistet dadurch eine hohe Spiegelfrequenzdämpfung. Doch was ist denn das schon wieder?

Was geschieht, wenn z.B. der Oszillator oberhalb der Eingangsfrequenz (das ist der Regelfall) schwingt und sich ein unerwünschter Sender wiederum im ZF-Abstand oberhalb der Oszillatorfrequenz befindet? Folgende Grafik soll das verdeutlichen:



Dieser Sender arbeitet auf einer Frequenz, die spiegelbildlich zur Eingangsfrequenz f_e liegt und deshalb Spiegelfrequenz f_s genannt wird. In beiden Fällen würde die gleiche ZF gebildet.

Diese Spiegelfrequenz befindet sich aber außerhalb der Bandbreite der Eingangskreise und wird somit gedämpft. Bedingt durch die Kurvenform eines Schwingkreises ist diese Dämpfung um so stärker je größer der Abstand des ungewollten Signals von der Resonanzfrequenz ist. Den Vorteil der hohen Spiegelfrequenzdämpfung erkaufte man aber mit einer großen Bandbreite und damit schlechten Selektion benachbarter Signale.

Wir rufen uns dazu die Formel der Schwingkreisgüte ins Gedächtnis: $Q = \frac{f_{res}}{b} \Rightarrow b = \frac{f_{res}}{Q}$.

Zwei Beispiele mögen das verdeutlichen:

Die Schwingkreisgüte sei in beiden Fällen 100. Die eine Resonanzfrequenz beträgt 450 kHz, die andere 10,7 MHz. Wie groß ist die Bandbreite jeweils?

$$b_{0,450} = \frac{450 \text{ kHz}}{100} = \underline{4,5 \text{ kHz}}$$

$$b_{10,7} = \frac{10,7 \text{ MHz}}{100} = 0,107 \text{ MHz oder } \underline{107 \text{ kHz}}$$

Um den Nachteil der geringen Nahselektion zu überwinden, mischt man nun auf eine niedrige 2. ZF herunter. Das geschieht im 2. Mischer. Die 1. ZF ist bekanntlich konstant, d.h. unabhängig von der Empfangsfrequenz. Es genügt nun, die 1. ZF mit einer festen Oszillatorfrequenz (die am stabilsten mittels Quarzgenerator erzeugt wird) zur 2. ZF zu mischen. Diese 2.ZF wird nun weiter verstärkt und dem Demodulator zugeführt. Das ist bei modernen Empfängern ein Produktdetektor, der es uns ermöglicht, SSB- und CW-Signale in Niederfrequenz umzuwandeln, die dann weiter verstärkt über Kopfhörer oder Lautsprecher von uns aufgenommen werden kann.

In unserem Beispiel haben wir es mit einem Doppelsuper zu tun, da zwei Zwischenfrequenzen vorhanden sind. Es gibt aber auch Einfach- und Dreifachsuper.

TF 108 Womit kann die Frequenzanzeige eines durchstimmbaren Empfängers möglichst genau geprüft werden?

Bei einem Frequenz- oder Eichmarkengenerator handelt es sich um einen quarzgesteuerten Oszillator, der ein absichtlich verzerrtes und damit oberwellenhaltiges Signal erzeugt. Sehr einfach läßt sich solch eine Schaltung z.B. mit zwei NAND-Gattern realisieren. Hält man den Eichmarkengeber an den Antenneneingang eines Empfängers, so ist im Abstand der Quarzfrequenz ein Pfeifton zu hören, der zur Kontrolle der Frequenzanzeige genutzt werden kann.

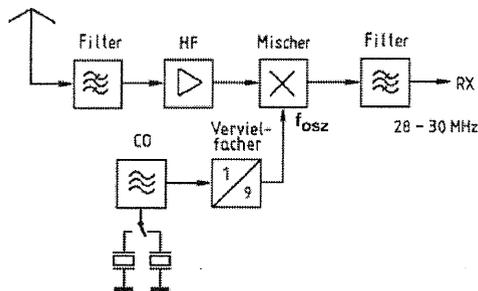
1.6.2 Blockschaltbilder

Zum Verständnis einige Begriffsbestimmungen:

Ein Konverter ist ein Empfangsumsetzer. Er empfängt einen zusätzlichen Frequenzbereich (z.B. 70-cm-Band) und setzt diesen in einen Bereich um, der von dem nachfolgenden Empfänger (Nachsetzer) verarbeitet werden kann (z.B. 10-m-Band). Die Frequenzumsetzung erfolgt durch Mischung.

Ein Transverter ist ein Sende-Empfangsumsetzer (Transmitter-Konverter). Die Umsetzung der Frequenz erfolgt ebenfalls durch Mischung. Allerdings wird hierbei sowohl das Empfangs- wie auch das Sendersignal umgesetzt. Dem Mischer folgen dann im Sendepfad noch Treiber und Endstufe. Als Nachsetzer wird ein Transceiver verwendet,

TF 201 Welche beiden Frequenzen muß der Quarzoszillator erzeugen, damit im 70-cm-Band die oberen 4 MHz durch diesen Konverter empfangen werden können? Die Oszillatorfrequenz f_{osz} soll jeweils unterhalb des Nutzsignals liegen.



geg.: $f_{RX} = 28 \dots 30 \text{ MHz}$, $f_{e1} = 436 \dots 438 \text{ MHz}$, $f_{e2} = 438 \dots 440 \text{ MHz}$, $f_{osz1}, f_{osz2} < f_{e1}, f_{e2}$
 ges.: f_{Q1}, f_{Q2}

$$f_{osz} = f_e - f_{RX} \quad \Rightarrow \quad f_Q = \frac{f_{osz}}{9} \quad \Rightarrow \quad f_Q = \frac{f_e - f_{RX}}{9}$$

$$f_{Q1} = \frac{436 \text{ MHz} - 28 \text{ MHz}}{9} = \frac{408 \text{ MHz}}{9} = \underline{\underline{45,333 \text{ MHz}}}$$

$$f_{Q2} = \frac{438 \text{ MHz} - 28 \text{ MHz}}{9} = \frac{410 \text{ MHz}}{9} = \underline{\underline{45,556 \text{ MHz}}}$$

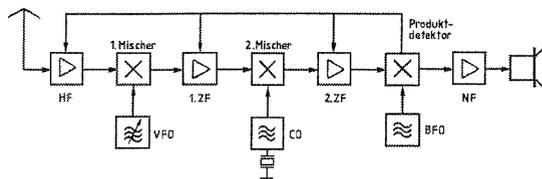
Es wäre natürlich auch möglich, mit den höheren Frequenzen zu rechnen. Das Ergebnis müßte das gleiche sein.

$$f_{Q1} = \frac{438 \text{ MHz} - 30 \text{ MHz}}{9} = \frac{408 \text{ MHz}}{9} = \underline{\underline{45,333 \text{ MHz}}}$$

Sie könnten nun Ihre Kenntnisse für das obere Ende des 70-cm-Bandes selbst überprüfen.

Lösen Sie die Aufgabe **TF 202** nach dem gleichen Schema.

TF 203 Ein Doppelsuper hat eine erste ZF von 10,7 MHz und eine zweite ZF von 460 kHz. Die Empfangsfrequenz soll 28 MHz sein. Welche Frequenz ist für den CO und den VFO erforderlich, wenn die Oszillatoren oberhalb des Nutzsignals schwingen?



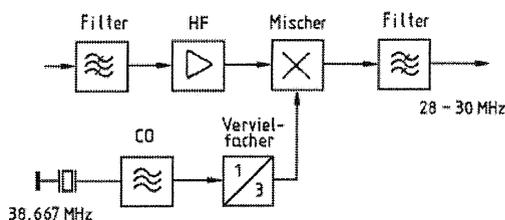
geg.: $ZF_1 = 10,7 \text{ MHz}$, $ZF_2 = 460 \text{ kHz}$, f_{CO} , $f_{VFO} > ZF_1$, ZF_2

ges.: f_{CO} , f_{VFO}

$$f_{VFO} = f_e + ZF_1 = 28 \text{ MHz} + 10,7 \text{ MHz} = \underline{38,7 \text{ MHz}}$$

$$f_{CO} = ZF_1 + ZF_2 = 10,7 \text{ MHz} + 460 \text{ kHz} = 10,7 \text{ MHz} + 0,460 \text{ MHz} = \underline{11,16 \text{ MHz}}$$

TF 204 Diese Schaltung stellt...



geg.: $f_{CO} = 38,667 \text{ MHz}$, $f_{osz} = 3 \cdot f_{CO}$, $f_{RX} = 20 \dots 30 \text{ MHz}$

ges.: f_e

Die Frequenz des Quarzgenerators und der Faktor der Vervielfachung sowie die Ausgangsfrequenz sind gegeben. In unserer Aufgabe fehlt die Eingangsfrequenz als „Namensgeber“ der Schaltung. Bei der Mischung werden sowohl die Summe als auch die Differenz erzeugt. Eine Lösung davon ist aber kein Amateurband (diese Frequenz wird durch Schwingkreise ausgefiltert).

$$f_e = f_{osz} \pm f_{RX} = 3 \cdot f_{CO} \pm f_{RX}$$

1. Differenzbildung:

$$f_e = 3 \cdot 38,667 \text{ MHz} - 28 \text{ MHz} = 116 \text{ MHz} - 28 \text{ MHz} = 88 \text{ MHz} \quad \Rightarrow \quad \text{kein Amateurband!}$$

2. Summenbildung:

$$f_e = 3 \cdot 38,667 \text{ MHz} + 28 \text{ MHz} = 116 \text{ MHz} + 28 \text{ MHz} = 144 \text{ MHz} \quad \Rightarrow \quad \text{2-m-Band}$$

Es handelt sich daher um einen 2-m-Konverter.

TF 205 In dieser Schaltung können bei einer Empfangsfrequenz von 145,6 MHz und einer Oszillatorfrequenz von 134,9 MHz Spiegelfrequenzstörungen bei...

geg.: $f_e = 145,6 \text{ MHz}$, $f_{osz} = 134,9 \text{ MHz}$

ges.: f_s

Ich erspare mir an dieser Stelle das in der Aufgabe gegebene Blockschaltbild, denn der Text ist für diese Aufgabe völlig ausreichend.

Merksatz:

Wenn der **Oszillator oberhalb** der Eingangsfrequenz schwingt, liegt die **Spiegelfrequenz** um den doppelten Betrag der ZF **oberhalb** der Eingangsfrequenz (und umgekehrt).

Feststellung:

Die Oszillatorfrequenz liegt unterhalb der Eingangsfrequenz, folglich liegt auch die Spiegelfrequenz um den doppelten Betrag der ZF unterhalb der Eingangsfrequenz.

Der erste Schritt ist die Bestimmung der ZF:

$$f_z = f_e - f_{osz} = 145,6MHz - 134,9MHz = 10,7 MHz$$

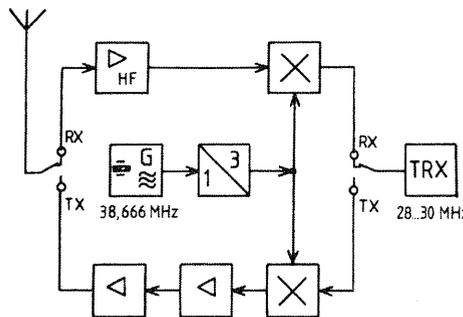
Überlegung: Das ist eine Standard-ZF bei UKW \Rightarrow könnte richtig sein!

Zweiter Schritt ist die Bestimmung der Spiegelfrequenz:

$$f_s = f_e - 2 \cdot f_z = 145,6MHz - 2 \cdot 10,7MHz = 145,6MHz - 21,4MHz = \underline{124,2 MHz}$$

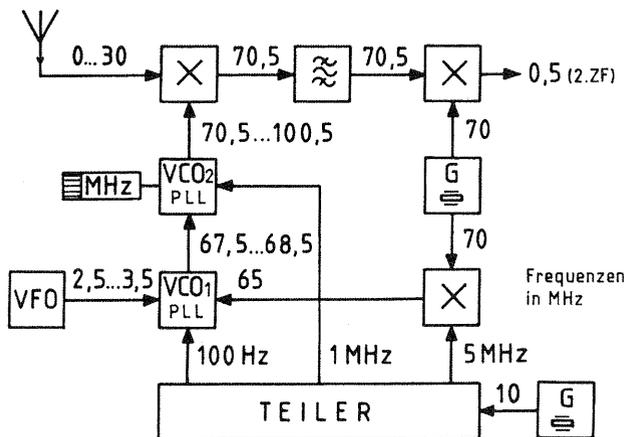
Lösen Sie nun Aufgabe **TF 206** selbständig.

TF 209 Dieses Blockschaltbild stellt...



...zunächst einen Transverter dar, denn der Nachsetzer ist ein Transceiver. Nur, was für ein Transverter ist das? Der Lösungsweg ist nun der gleiche wie bei Aufgabe **TF204**.

TF 210 In diesem Blockschaltbild sind zwei PLL-Schaltungen mit der Bezeichnung VCO₁ und VCO₂ eingezeichnet. Wozu dienen die VCO-Schaltungen hier?



Die richtige aus den vorgegebenen Antworten zu erraten, dürfte wohl kein Problem sein.

Dieses Blockschaltbild eignet sich aber sehr gut, seine Kenntnisse über den „Frequenzfahrplan“ zu überprüfen. Beachten Sie dabei die beiden Quarzgeneratoren von 10 und 70 MHz. 70,5 MHz ist die erste und 0,5 MHz die zweite ZF. Der Empfänger ist von „ganz unten“ bis 30 MHz durchstimmbar.

1.6.3 Betrieb und Funktionsweise einzelner Stufen

TF 301 Wo liegt beim Direktüberlagerungsempfänger üblicherweise die Injektionsfrequenz des Mischers?

Beim Direktmischer (dieser Ausdruck ist gebräuchlicher als das Wortungetüm in der Aufgabe) schwingt der Oszillator in unmittelbarer Nähe der Empfangsfrequenz. Da das Eingangssignal mit dem Oszillatorsignal (Injektionsfrequenz) sofort zur NF gemischt wird, ergibt sich ein sehr einfacher Aufbau. Oftmals arbeiten einfache QRP-Transceiver mit Direktmischern im Empfangszweig und nutzen den VFO gleich für den Sender.

Beispiel: $f_e = 3,654 \text{ MHz}$ (unteres Seitenband), $f_{osz} = 3,655 \text{ MHz} \Rightarrow \text{NF: } 1 \text{ kHz}$
 $f_e = 3,652 \text{ MHz}$ (unteres Seitenband), $f_{osz} = 3,655 \text{ MHz} \Rightarrow \text{NF: } 3 \text{ kHz}$

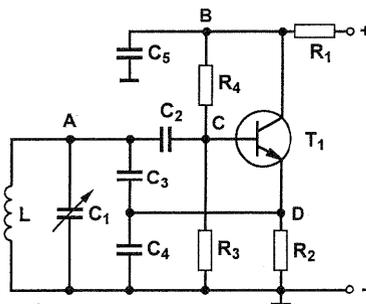
TF 307 Ein Doppelsuper hat eine erste ZF (ZF_1) von 10,7 MHz und eine zweite ZF von 450 kHz. Die Empfangsfrequenz soll 28 MHz sein. Die Oszillatoren sollen oberhalb des Nutzsignals schwingen. Welches sind die Oszillatorfrequenzen f_{o_1} und f_{o_2} ?

geg.: $ZF_1 = 10,7 \text{ MHz}$, $ZF_2 = 450 \text{ kHz}$, $f_e = 28 \text{ MHz}$, $f_{o_1} > f_e$, $f_{o_2} > ZF_1$ ges.: f_{o_1} , f_{o_2}

$$f_{o_1} = f_e + ZF_1 = 28 \text{ MHz} + 10,7 \text{ MHz} = \underline{\underline{38,7 \text{ MHz}}}$$

$$f_{o_2} = ZF_1 + ZF_2 = 10,7 \text{ MHz} + 450 \text{ kHz} = 10,7 \text{ MHz} + 0,450 \text{ MHz} = \underline{\underline{11,15 \text{ MHz}}}$$

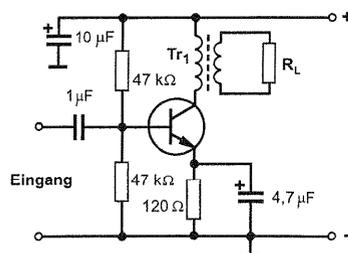
TF 315 An welchem Punkt wird in der Schaltung der Ausgangspegel entnommen?



Da wir das Ausgangssignal immer zwischen Emitter und Kollektor abnehmen und hier der Kollektor über C_5 an Masse liegt (Kollektorbasis-Schaltung), bleibt uns nur noch der Punkt D als Ausgang.

Zur Erinnerung: Es handelt sich um den Colpitts-Oszillator von Aufgabe **TD 601**.

TF 316 Bei dieser Schaltung handelt es sich...



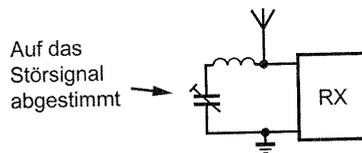
einen NF-Verstärker.

Gründe:

- Der Koppelkondensator an der Basis und der Emitterkondensator liegen im μF -Bereich (relativ groß).
- Am Kollektor wird das Signal über einen Ausgangstrafo (zur Widerstandsanpassung, siehe auch Aufgabe **TF 415**!) einem Lastwiderstand (z.B. Lautsprecher) zugeführt und nicht über einen Koppelkondensator zu einer weiteren Stufe geleitet.
- Es kommen keine Schwingkreise vor.
- Es gibt keine Rückkopplung.

TF 319 Der Ausgang eines richtig eingestellten Balancemischers enthält...

Die zwei Seitenbänder und keine Anteile der Ausgangsfrequenzen mehr.

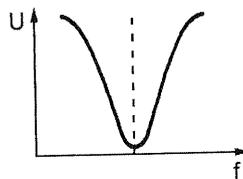
TF 320 Welche Konfiguration wäre für die Unterdrückung unerwünschter Signale am Eingang eines Empfängers hilfreich?

Beim genaueren Hinsehen erkennen wir einen Serienschwingkreis zwischen Antenne und Erde (Masse). Dieser Schwingkreis arbeitet als Saugkreis und schließt die unerwünschte Frequenz kurz.

Oft wird diese Anordnung auf die ZF abgeglichen und verhindert so das Eindringen dieser Frequenz (könnte von Störstrahlung anderer Empfänger stammen) in den Empfänger.

TF 325 Wie verhält sich der Kollektorstrom eines npn-Transistors in einer HF-Verstärkerstufe im B-Betrieb, wenn die Basisspannung erhöht wird?

Im B-Betrieb ist der Ruhestrom im Verhältnis zum maximalen Kollektorstrom sehr klein. Deshalb nimmt er bei Ansteuerung der Basis erheblich zu. Da der Arbeitspunkt aber im unteren Teil der gekrümmten Kennlinie liegt, ist ein linearer Betrieb von B-Verstärkern nur im Gegentaktbetrieb möglich. Der Wirkungsgrad solcher Stufen ist mit ca. 80 % relativ hoch (siehe Aufgabe **TD 420**!).

TF 327 Welches Diagramm stellt den Frequenzverlauf eines Empfänger-Notch-Filters dar?

Ein Notchfilter dient zur Beseitigung von Störgeräuschen konstanter Frequenz z.B. Pfeifstörungen. Es ist sehr spitz, um nur das Stör- und nicht das Nutzsignal zu dämpfen.

TF 328 Bei welchem der folgenden Fälle mißt man eine hohe Spannung am Emitterwiderstand einer Empfänger-ZF-Stufe?

- a) der Transistor hat einen Kurzschluß. \Rightarrow Die Kollektorspannung gelangt an den Emitter und es fließt ein hoher Strom über den Emitterwiderstand, was zu einem hohen Spannungsabfall an ihm führt.

TF 329 Die Mischstufe eines Überlagerungsempfängers arbeitet...

a) im nichtlinearen Bereich.

Eine Mischung kann nur an einer gekrümmten Kennlinie stattfinden. Deshalb sind dazu nur nichtlineare Bauelemente wie Transistoren und Dioden geeignet, nicht aber z.B. Widerstände.

TF 331 Bei welchem der nachfolgenden Fälle mißt man nur eine geringe oder gar keine Spannung am Emitterwiderstand einer Empfänger-ZF-Stufe?

a) Wenn der Transistor eine Unterbrechung hat. \Rightarrow Über den Emitter fließt der Gesamtstrom des Transistors.. bei einer Unterbrechung kann kein Strom fließen und folglich fällt über den Emitterwiderstand keine Spannung ab ($U = R \cdot I$).

1.6.4 Empfängermerkmale

TF 401 Ein Empfänger hat eine ZF von 10,7 MHz und ist auf 28,5 MHz abgestimmt. Der Oszillator des Empfängers schwingt oberhalb der Empfangsfrequenz. Welches ist die richtige Spiegelfrequenz?

geg.: ZF = 10,7 MHz, $f_e = 28,5$ MHz, $f_{osz} > f_e$ ges.: f_s

die Oszillatorfrequenz liegt oberhalb der Eingangsfrequenz, folglich muß die Spiegelfrequenz um den doppelten Betrag der ZF über der Eingangsfrequenz liegen.

$$f_s = f_e + 2 \cdot f_z = 28,5 \text{ MHz} + 2 \cdot 10,7 \text{ MHz} = 28,5 \text{ MHz} + 21,4 \text{ MHz} = \underline{\underline{49,9 \text{ MHz}}}$$

TF 407 Welche Baugruppe sollte für die Erzeugung eines unterdrückten Zweiseitenband-Trägersignals verwendet werden?

Hier ist bestimmt ein trägerunterdrücktes Zweiseitenband-Signal gemeint. Ein sauber eingestellter Balancemischer erzeugt nur die beiden Seitenbänder und unterdrückt den Träger.

TF 416 Beim Empfang einer Funkstelle auf 14,24 MHz bei der sich die ZF des Empfängers auf 10,7 MHz befindet, können Spiegelfrequenzstörungen durch Signale auf...

14,24 MHz + 2 · 10,7 MHz = 35,64 MHz auftreten.

In diesem Fall ist es ohne Belang, ob die Oszillatorfrequenz ober- oder unterhalb der Eingangsfrequenz liegt, denn die Variante 14,24 MHz - 2 · 10,7 MHz entfällt, da negative Frequenzen nicht vorstellbar sind.

TF 418 Ein Empfänger arbeitet mit einer End-ZF von 455 kHz. Welche BFO-Frequenz wäre beim CW-Empfang geeignet?

Die BFO-Frequenz von 456 kHz wird im Produktdetektor mit der ZF zu einer NF von 1 kHz (456 kHz – 455 kHz) gemischt, die dann nach entsprechender Verstärkung im Kopfhörer oder Lautsprecher hörbar gemacht werden kann. Mit 454 kHz BFO-Frequenz käme man zu dem gleichen Ergebnis.

TF 422 Um Schwankungen des NF-Ausgangssignals durch Schwankungen der HF-Eingangssignals zu verringern, wird der Empfänger mit...

einer automatischen Verstärkungsregelung ausgestattet. Dazu wird die bei der Demodulation entstehende Regelspannung genutzt.

TF 431 Die Ungenauigkeit der digitalen Anzeige eines Empfängers beträgt 0,01 %. Bei welcher Entfernung zur unteren Bandgrenze ist im 10-m-Bereich noch gewährleistet, daß der Träger sich innerhalb des zugelassenen Bandes befindet?

geg.: $f = 28 \text{ MHz}$, $\Delta f = 0,01\%$

ges.: f_{Abstand}

$$f_{\text{Abstand}} = f \cdot \Delta f = 28 \text{ MHz} \cdot 0,01 \cdot 10^{-2} = 28 \cdot 10^6 \text{ Hz} \cdot 0,01 \cdot 10^{-2} = \underline{2800 \text{ Hz}}$$

Es sollte uns zu denken geben, wenn diese geringe Abweichung (0,1 Promille) schon zu einer Bandüberschreitung von fast 3 kHz führt.

TF 432 Auf welche Frequenz müßte ein Empfänger eingestellt werden, um die dritte Harmonische einer nahen 7,050 MHz-Übertragung erkennen zu können?

Bitte erinnern Sie sich bei der Lösung der Aufgabe an die bei Aufgabe **TA 117** gegebenen Erklärungen.

$$f_3 = f \cdot 3 = 7,050 \text{ MHz} \cdot 3 = \underline{21,15 \text{ MHz}}$$

TF 439 Ein Empfänger liefert bei einem Eingangssignal von $0,25 \mu\text{V}$ ein Ausgangssignal mit einem Signal-Geräuschabstand von 10 dB. Wie wird diese Eigenschaft angegeben?

Durch die Empfindlichkeitsangabe „10 dB S/N (kommt von Geräusch, engl.: noise) für $0,25 \mu\text{V}$ “.

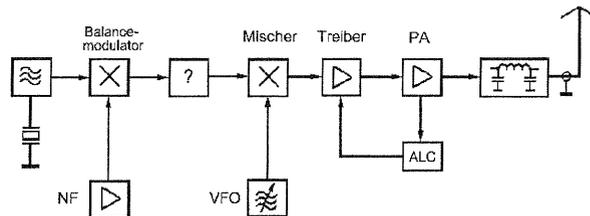
Die Größe der Empfindlichkeit in Abhängigkeit vom Rauschabstand ist von großer Bedeutung für uns. Es handelt sich hier um eine Angabe, in wie weit schwache Signale noch aufnehmbar sind, ohne durch das Eigenrauschen des Empfängers überdeckt zu werden.

Rechnen Sie doch einmal aus, um wieviel das Ausgangssignal (z.B. Lautsprecherausgang) bei einem Eingangssignal von $0,25 \mu\text{V}$ ($0,25$ Millionstel Volt) größer als das Rauschen des Empfängers ist. (etwa 3 mal)

1.7 Sender

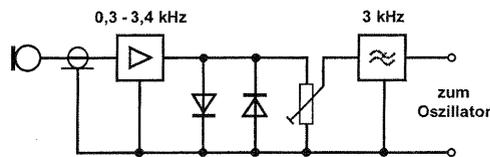
1.7.1 Blockschaltbilder

TG 101 Dieses Blockschaltbild zeigt einen SSB-Sender. Welche Stufe muß beim „?“ arbeiten?



Im Balancemodulator entstehen aus der NF und einem Quarzoszillator (bei Transceivern ist das der BFO) die beiden Seitenbänder (Zeiseitenbandsignal, DSB). Der Träger (Quarzfrequenz) wird dabei unterdrückt. Um ein SSB-Signal zu erhalten, muß das unerwünschte Seitenband ausgefiltert werden. Das geschieht mit Hilfe eines Quarzfilters, das einen Durchlaßbereich von etwa 2,5 kHz hat. Das Seitenbandfilter muß sehr steiflankig sein, um das unerwünschte Seitenband und Reste des Trägers zu unterdrücken sowie die Bandbreite der Aussendung zu begrenzen. Außer Quarzfiltern werden mitunter auch sogenannte mechanische Filter eingesetzt.

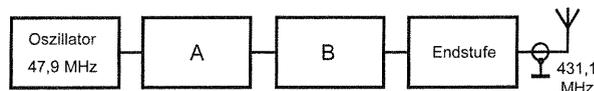
TG 102 Diese Schaltung ermöglicht...



die Hubbegrenzung und -einstellung bei FM-Funkgeräten.

Die beiden antiparallel geschalteten Dioden begrenzen die NF auf etwa $\pm 0,7 V_{SS}$, da zum Öffnen der Dioden die Schwellenspannung überwunden werden muß, und die liegt bei Siliziumdioden bekanntlich bei 0,7 V. Bei Signalspitzen über diesem Wert werden die Dioden leitend und die Begrenzung setzt ein (Dynamikbegrenzung). Mit dem Regler wird der Hub eingestellt (funktioniert wie ein Lautstärkeregler).

TG 105 Welch Schaltungen sind bei den Stufen „A“ und „B“ des dargestellten Senders erforderlich?

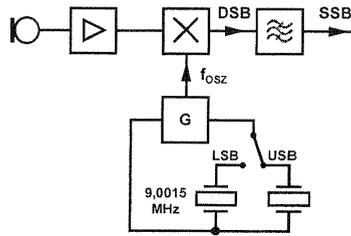


Um die Frage beantworten zu können, müssen wir erst die Ausgangs- und Oszillatorfrequenz ins Verhältnis setzen.

$$\ddot{U} = f_{end} : f_{Osz} = 431,1MHz : 47,9MHz = 9 : 1$$

Nun muß man aber wissen, daß eine Verneunfachung in der Praxis kaum umsetzbar ist. Deshalb vervielfacht man stufenweise. In unserem Beispiel wird zweimal verdreifacht. Die Stufen **„A“ und „B“** sind demzufolge **Frequenzverdreifacher**.

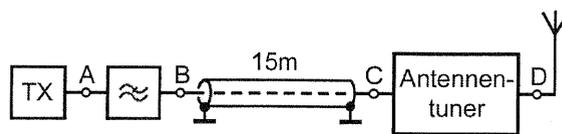
TG 106 Die folgende Blockschaltung zeigt eine SSB-Aufbereitung mit einem 9-MHz-Quarzfilter. Welche Frequenz wird in der Schalterstellung „USB“ mit der NF gemischt?



Oberes (USB = upper sideband) und unteres (LSB = lower sideband) liegen symmetrisch zueinander. Deshalb muß der Abstand der Quarzfrequenzen den gleichen Betrag haben.

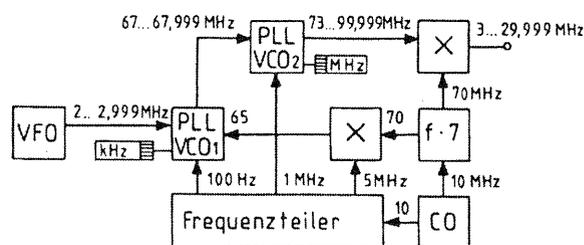
$$Q_{\text{USB}} = 9 \text{ MHz} - 0,0015 \text{ MHz} = \underline{8,9985 \text{ MHz}}$$

TG 110 Im Blockschaltbild ist der Geräteaufbau einer Amateurfunkstelle dargestellt. An welchem Punkt sollte das Stehwellenmeßgerät eingeschleift werden?



Am Punkt A, da eine Fehlanpassung der Endstufe verhindert werden soll.

TG 111 Im folgenden Blockschaltbild ist die Frequenzauflbereitung für einen Amateurfunk-Transceiver dargestellt. Welche Frequenz erzeugt der Sender, wenn der VCO₂ auf 6 MHz eingestaltet ist und der VFO auf 2,651 MHz eingestellt ist?



geg.: $f_{\text{VFO}} = 2,651 \text{ MHz}$, $f_{\text{VCO}_2} = 6 \text{ MHz}$

ges.: f_{Sender}

Die Differenz zwischen VCO1 und VCO2 beträgt beim untersten Bereich (3,000 MHz ... 3,999 MHz) der Sendefrequenz 6 MHz (73 – 67 MHz). Daher ist in diesem Fall zur VFO-Frequenz nur 1 MHz vom Frequenzteiler hinzu zu addieren, um auf die Sendefrequenz zu kommen.

$$f_{\text{send}} = f_{\text{VFO}} + 1 \text{ MHz} = \underline{3,651 \text{ MHz}}$$

Da die VFO-Frequenz im Bereich von 0,999 MHz variabel ist, wäre es möglich, mit der gegebenen Einstellung des VFO₂ einen Bereich zwischen 3,000 und 3,999 MHz zu überstreichen. Für das 40-m-Band müßte der VCO₂ dann auf 10 MHz eingestaltet sein...

TG 112 Im folgenden Blockschaltbild ist die Frequenzaufbereitung für einen Amateurfunk-Transceiver dargestellt. Welche Frequenz erzeugt der Sender, wenn der VCO₂ auf 6 MHz eingestastet ist und der VFO auf 2,651 MHz eingestellt ist? Auf welcher Frequenz muß der VCO₂ einrasten, wenn eine Ausgangsfrequenz von 14,351 MHz abgegeben wird?

Es gilt folgender Frequenzfahrplan:

$$70 \text{ MHz} + 14,351 \text{ MHz} - 65 \text{ MHz} - 2,351 \text{ MHz} = 17,000 \text{ MHz}$$

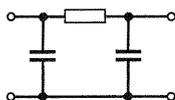
Da die Rastung des VFO₂ für den Bereich von 1 MHz immer gleich ist können wir die Stellen hinter dem Komma vernachlässigen. Dadurch reduziert sich die Frage dahingehend, daß zu klären ist, welche Einstellung der VCO₂ für das 20-m-Band (also 14 MHz) haben muß. Nun kann man wirklich im Kopf rechnen:

$$\begin{aligned} 70 \text{ MHz} + 14 \text{ MHz} - 65 \text{ MHz} - 2 \text{ MHz} &= 17,000 \text{ MHz} \quad \text{oder noch einfacher:} \\ 70 \text{ MHz} + 14 \text{ MHz} - 67 \text{ MHz} &= 17,000 \text{ MHz} \end{aligned}$$

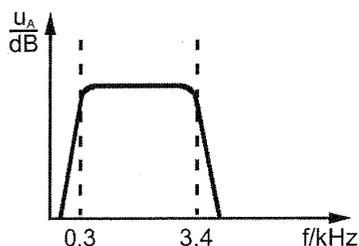
1.7.2 Betrieb und Funktionsweise einzelner Stufen

TG 201 Welche Schaltung könnte für die Tiefpaßfilterung in einem Mikrofonverstärker eingesetzt werden?

Im Abschnitt 1.4.2. haben wir uns u.a. damit beschäftigt, was ein Tiefpaß ist. Von den angebotenen Lösungen nur eine ein Tiefpaß, folglich bleibt nur die Schaltung a) übrig.



TG 202 Welcher Frequenzgang ist am besten für den Mikrofonverstärker eines Sprechfunkgerätes geeignet?



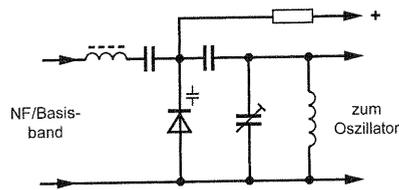
Von den angebotenen falschen Lösungen wäre am ehesten noch die Tiefpaßvariante c) denkbar. Aber dagegen sprechen einige Fakten.

- Die Modulation würde unausgewogen wirken (zu dumpf). Man nimmt etwa 800 Hz als mittlere Frequenz und versucht ober- und unterhalb davon die gleiche Anzahl von Oktaven zu übertragen. Eine Oktave entspricht einer Frequenzverdopplung bzw. -halbierung. Somit lägen wir rein rechnerisch zwischen 200 und 3200 Hz. Der NF-Bereich von 300 bis 3400 Hz in Antwort a) liegt in dieser Größenordnung.
- Durch die höher gewählte untere Grenzfrequenz erhalten wir einen Sicherheitsabstand für die Ausfilterung des gewünschten Seitenbandes und die Trägerunterdrückung.
- Frequenzen zwischen 0 und 300 Hz gehören nicht zum Umfang der menschlichen Stimme.

TG 204 Wie können Tastclicks bei einem CW-Sender, die in einem Empfänger zu hören sind, verringert werden?

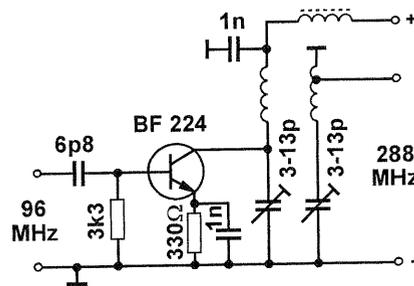
Durch eine sogenannte weiche Tastung steigt das Signal allmählig an und fällt ebenso wieder ab. Das erreicht man dadurch, daß man die getastete Stufe über einen Tiefpaß („Tastclickfilter“) ansteuert. Der Kondensator (nach Masse) lädt sich über den Widerstand allmählig auf und öffnet die getastete Stufe somit nicht schlagartig. Ebenso klingt das Signal dann auch wieder ab. In Bild **TG 205 a)** ist der Verlauf grob dargestellt.

TG 212 Dieser Schaltungsauszug ist Teil eines Senders. Welche Funktion hat die Diode?



Diese Schaltung kennen wir im Prinzip schon von Aufgabe **TD 512** als FM-Modulator. Hier ist aber deutlich zu sehen, daß die Diode durch die an der Kathode anliegende Spannung in Sperrichtung betrieben wird. Die Bezeichnung Basisband sollte durch den Begriff Niederfrequenz ersetzt werden und schon versteht man, was gemeint ist.

TG 217 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



einen Vervielfacher.

Auf den ersten Blick könnte man meinen, es handle sich um einen normalen Verstärker. Beim genaueren Hinsehen bemerken wir aber, daß die Basis über einen Widerstand von $3,3\text{ k}\Omega$ an Masse liegt. Dadurch ist der Transistor gesperrt. Liegt nun ein Signal entsprechenden Pegels an der Basis an, wird diese Sperrung überwunden und durch den Transistor kann ein Strom fließen. Das Eingangssignal wird dabei aber verzerrt (nicht linear) verstärkt. Wie wir schon kennen gelernt haben, setzt sich ein verzerrtes Signal aus ganzzahlig Vielfachen der Grundfrequenz zusammen. Am Ausgang der Stufe befindet sich nun ein Schwingkreis, dessen Resonanzfrequenz ein Vielfaches der Grundfrequenz (im Beispiel das Dreifache) beträgt. Dadurch wird die Grundfrequenz unterdrückt und die neue Frequenz ausgefiltert und weitergeleitet.

Bei der angegebenen Schaltung haben wir es im Ausgang mit zwei Parallelschwingkreisen zu tun. Die Spule des ersten liegt über den Kondensator von 1 nF wechsellspannungsmäßig an Masse, der Trimmer $3 \dots 13\text{ pF}$ ist der Schwingkreiskondensator. Der zweite Schwingkreis besteht wieder aus einem Trimmer und einer (zu Anpassungszwecken angezapften) Spule nach Masse. Bitte lassen Sie sich hier nicht durch die Art der Darstellung einen Serienschwingkreise vorgaukeln!

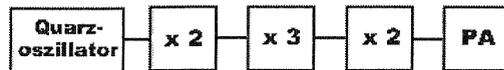
TG 220 Ein quarzgesteuertes Funkgerät mit einer Ausgangsfrequenz von $432,50\text{ MHz}$ verursacht Störungen bei $144,017\text{ MHz}$. Der Quarzoszillator des Funkgerätes schwingt auf einer Grundfrequenz bei 12 MHz . Mit welcher Vervielfachungskombination wird wahrscheinlich die Ausgangsfrequenz bei 432 MHz erzeugt?

Zur Lösung dieser Aufgabe setzen wir zunächst 432 und 144 MHz ins Verhältnis. Dabei stellen wir fest, daß in der letzten Stufe verdreifacht wird. Damit schalten alle anderen Vorgaben aus.

Damit der Pegel bei der Vervielfachung nicht zu stark absinkt, versucht man maximal zu verdreifachen. Deshalb haben wir hier so eine Häufung von Verdopplern und Verdeifachern.

Merke: Vom 2 m-Band zum 70 cm-Band kann man durch Verdeifachung gelangen.

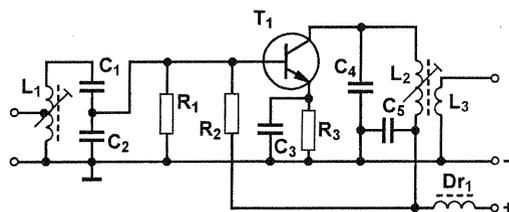
TG 221 Auf welcher Frequenz muß der Quarzoszillator schwingen, damit nach dem Blockschaltbild von der PA die Frequenz 145 MHz verstärkt wird?



Zur Erzeugung einer Frequenz im 2 m-Band wird sehr oft die Quarzfrequenz verzwölffacht. Wie Sie im Blockschaltbild sehen, ist das auch hier der Fall. Ohne den Taschenrechner zu bemühen, können wir durch Überlegung zum Ergebnis kommen.

145 MHz liegt im 2 m-Band. 144 geteilt durch 12 ist 12. Das wissen wir ja noch aus der Schule. Und 145 MHz sind etwas mehr, folglich muß 12,... MHz das Ergebnis sein. Der vorgestellte Frequenzfahrplan ist im 2 m-Band fast Standard, man geht also bei quartzesteuerten Sendern in der Regel von 12,... MHz aus.

TG 222 Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen...

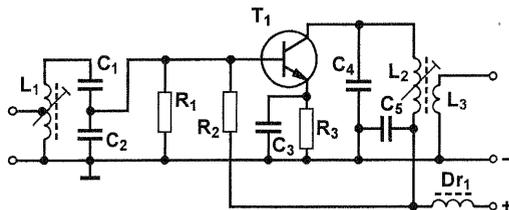


HF-Verstärker.

- Allein die Parallelschwingkreise am Eingang (Basis) und am Ausgang (Kollektor) sind noch kein Indiz für einen HF-Verstärker. Die Basisvorspannung wird über den Spannungsteiler R_1/R_2 eingestellt. Bei einem Vervielfacher würde R_2 nach Plus fehlen.
- Es handelt sich auch nicht um einen Colpitts-Oszillator, da die Rückkopplung vom Ausgang zum Eingang (in den Beispielen des Kapitels 1.4.6. geschieht das immer zum Emitter) fehlt. Der Schwingkreiskondensator des Eingangskreises ist lediglich zu Anpassungszwecken aufgeteilt (siehe Aufgabe **TG 225!**).

TG 223 Welchem Zweck dient C_5 in der folgenden Schaltung? und

TG 224 Welchem Zweck dient die Anzapfung an L_1 in der folgenden Schaltung?

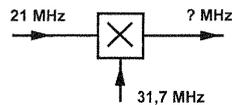


Zu TG 223: C_5 dient zu HF-Entkopplung.

C_5 geht von der Drossel nach Minus, und Minus ist hier Masse. Stellen Sie sich deshalb vor, C_5 wäre mit dem Schaltzeichen für Masse gezeichnet. Schon wäre zu erkennen, daß C_5 in Verbindung mit Dr_1 einen Tiefpaß darstellt, HF kann nicht passieren. Die Versorgungsspannung wird somit von HF entkoppelt. Hochfrequenz, die über die Stromversorgung kommen könnte, wird durch C_5 abgeleitet. Zusätzlich verhindert er, daß HF aus der Verstärkerstufe über die Stromversorgung in andere Stufen einstreuen kann. Weiterhin bietet die Drossel der HF einen Widerstand, sperrt sie somit, läßt die Versorgungsspannung (Gleichspannung) aber passieren.

Zu TG 224: Sie dient zur Anpassung der Eingangsimpedanz an den Parallelwiderstand des Schwingkreises $L_1/C_1/C_2$. Hier wäre auch eine Koppelwicklung wie im Ausgang denkbar (L_3).

TG 226 Welche wesentlichen Ausgangsfrequenzen erzeugt die in der Abbildung dargestellte Stufe?

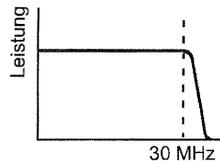


Die Antwort sollte nun nicht mehr schwer fallen. Es handelt sich um eine Mischstufe. Dort werden die zugeführten Frequenzen durch Addition und Subtraktion gemischt. Die bei der Mischung gewünschte Frequenz wird durch einen Parallelschwingkreis ausgefiltert. Für das unerwünschte Mischprodukt ist er nicht in Resonanz und filtert es deshalb aus.

In unserem Beispiel sind die entstehenden Frequenzen:

$$f_{1,2} = 31,7 \text{ MHz} \pm 21,0 \text{ MHz} \Rightarrow \begin{aligned} f_1 &= 31,7 \text{ MHz} + 21,0 \text{ MHz} = \underline{52,7 \text{ MHz}} \\ f_2 &= 31,7 \text{ MHz} - 21,0 \text{ MHz} = \underline{10,7 \text{ MHz}} \end{aligned}$$

TG 231 Welche Filtercharakteristik würde sich am besten für einen KW-Mehrbandsender eignen?



Der Kurzwellenbereich geht bis 29,7 MHz. Alles was darüber liegt, ist mit Sicherheit Störstrahlung und muß ausgefiltert werden. Der Tiefpaß in unserer Aufgabe hat eine Grenzfrequenz von 30 MHz, sperrt deshalb alle Frequenzen, die darüber liegen.

TG 233 Ein Sender arbeitet mit dem oberen Seitenband und ist auf 14,3485 MHz eingestellt. Er wird mit einem NF-Signal mit 3 kHz Bandbreite amplitudenmoduliert. Was bedeutet das?

Achtung, die Frequenzangabe täuscht auf den ersten Blick, denn sie ist hinter dem Komma vierstellig!

$$14.348,5 \text{ kHz} + 3 \text{ kHz} = \underline{14.351,5 \text{ kHz}} \Rightarrow \quad \mathbf{1,5 \text{ kHz Bandüberschreitung}}$$

TG 237 Welche der nachfolgenden Antworten trifft für die Wirkungsweise eines Transverters zu?

Zur Erinnerung: Ein Transverter ist ein „**Transmitter-Konverter**“. Ein KW-Transceiver dient als Nachsetzer, um auch auf UKW qrv zu sein. Er muß also beim Empfang das UKW-Signal (70 cm-Band) in den KW-Bereich (10 m-Band) und umgekehrt beim Senden das KW-Signal in den UKW-Bereich umsetzen.

1.7.3 Betrieb und Funktionsweise von HF-Leistungsverstärkern

TG306 Die Ausgangsanpaßschaltung und das Filter eines HF-Verstärkers in C-Betrieb sollten...

in einem abgeschirmten Metallkasten untergebracht werden.

Ein Verstärker im C-Betrieb arbeitet nicht linear, d.h. das Ausgangssignal ist nicht mehr sinusförmig, somit oberwellenhaltig. Solche Signale können unkontrolliert in andere Stufen einstreuen. Durch Aufbau in Abschirmkammern (hier als Metallkasten bezeichnet) wird das unterbunden. Am Ausgang einer solchen Stufe müssen die unerwünschten Harmonischen beseitigt werden. Das geschieht mittels Schwingkreis. Dieser sibt die entsprechende Resonanzfrequenz aus. Danach steht demzufolge wie-

der ein Signal ohne Oberwellen zur Verfügung. Das bedeutet, daß aus dem einst verzerrten Signal wieder ein Sinussignal geworden ist.

Merke: Ein Schwingkreis erzeugt auf seiner Resonanzfrequenz aus einem oberwellenhaltigen immer ein Sinussignal.

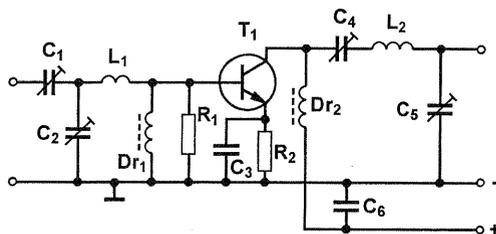
TG 307 Wie und wo wird die Ausgangsleistung eines Senders gemessen?

Selbstverständlich erfolgt die Messung an der Antennenbuchse und der Sender muß angesteuert werden, da ja bei SSB ohne Modulation bzw. ohne gedrückte Taste bei CW auch kein Ausgangssignal vorhanden wäre. Der Senderausgang ist dabei mit einem Abschlußwiderstand zu versehen. Dafür gibt es auch die Ausdrücke künstliche Antenne oder Dummyload.

Wenn kein Meßgerät zur Verfügung steht, können wir mit einem geeigneten Oszillografen die Spitze-Spitze-Spannung über den Abschlußwiderstand (Parallelschaltung vieler Einzelwiderstände) messen, den Effektivwert von U errechnen und nach der Formel $P = U^2 : Z$ die Leistung ermitteln.

TG 312 Welche Funktion haben C_1 , C_2 und L_1 in der folgenden Schaltung? und

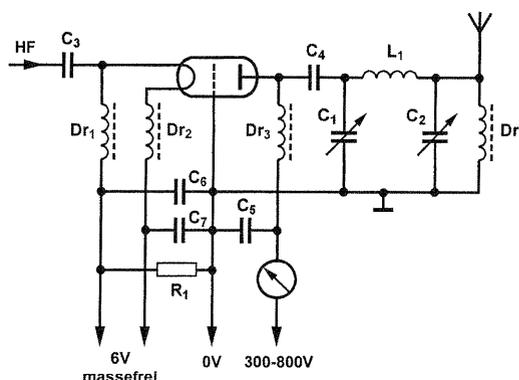
TG 313 Welche dieser Aussagen trifft nicht für die Schaltung zu?



Zu TG 312: Sie passen die Eingangsimpedanz an den niederohmigen Transistoreingang an. Eine ähnliche Anordnung finden wir in der Schaltung zu Aufgabe TG 222.

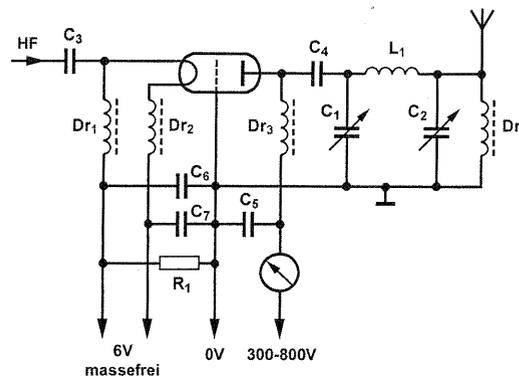
Zu TG 313: Die Aussage „ R_1 dient zur Arbeitspunkteinstellung des Transistors T_1 “ ist falsch. Parallel zu R_1 ist die Drossel Dr_1 geschaltet. Eine Drossel besteht bekanntlich aus Draht und hat demzufolge nur einen ganz geringen Widerstand. Somit ist der wirksame Gesamtwiderstand bei gleichstrommäßiger Betrachtung auch fast Null.

TG 314 Bei dieser Schaltung handelt es sich um...



eine HF-Endstufe in Gitterbasisschaltung. Das Gitter liegt auf Masse. Die Ansteuerung erfolgt zwischen Kathode und Masse, also Gitter. Das Ausgangssignal liegt zwischen Anode und Masse, also auch wieder dem Gitter. Das Gitter wird als gemeinsame Bezugsbasis sowohl für den Eingang wie auch den Ausgang benutzt. Daher sprechen wir von einer Gitterbasisstufe. Bitte erinnern Sie sich auch an die Bemerkungen zu den Transistorstufen bei den Aufgaben TD 401 und TD 408.

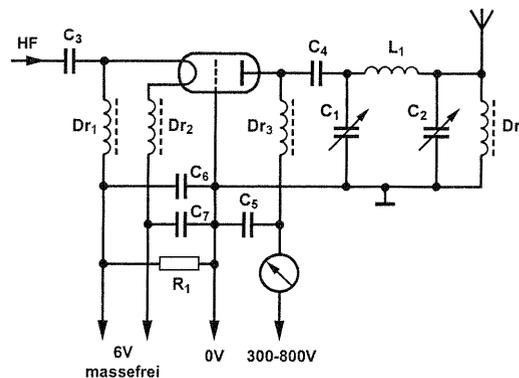
TG 316 Das folgende Bild zeigt eine Endstufe. Welche Bedeutung haben C_1 , C_2 und L_1 ? Wie sind die Bedienknöpfe der beiden Kondensatoren an einer Endstufe wahrscheinlich beschriftet?



Am Drehknopf für C_1 steht wahrscheinlich „C_{plate}“ oder „Plate“ aber auch „Anode“ ist gebräuchlich. C_2 wird mit „C_{load}“, „Load“ oder „Antenne“ beschriftet. Sie bilden zusammen mit L_1 den Tankkreis. Dieser stellt einen Tiefpaß als π -Glieder dar, da mit etwas gutem Willen der Buchstabe π erkannt werden kann. Der Tiefpaß bewirkt, daß alle Frequenzen oberhalb des Nutzsignals gesperrt werden. Damit verhindert man z.B. Störeinstrahlungen beim Fernsehempfang.

Diese Anordnung können wir uns außerdem als einen Schwingkreis vorstellen, bei dem C_1 und C_2 in Reihe geschaltet sind. Wiederholt wurde schon darauf hingewiesen, daß durch Aufteilung der Schwingkreiskapazität eine Anpassung von Impedanzen erreicht werden kann. Durch wechselseitiges Abgleichen von C_1 und C_2 wird die Endstufe auf die Sendefrequenz abgestimmt und außerdem die Impedanz der Antenne an den Arbeitswiderstand der Endröhre angepaßt (siehe Aufgabe **TG 315**!). Der Abgleichvorgang ist in der Antwort a) zur Aufgabe **TG 317** sehr gut beschrieben.

TG 318 Welchem Zweck dient R_1 in der folgenden Schaltung?



Die Drosseln D_1 und D_2 dienen dazu, zu verhindern, daß HF über die Heizleitung in andere Stufen gelangt und können für unsere Betrachtungen hier vernachlässigt werden.

R_1 liegt zwischen Masse und der Kathode der Röhre. Er ist der Kathodenwiderstand. Da der Anodenstrom auch durch die Kathode fließen muß, wird zwangsläufig auch R_1 davon durchflossen. Folglich fällt daran eine Spannung ab und die Kathode wird etwas positiver. Das Gitter hat Massepotential. Wenn nun aber die Kathode positiver als das Gitter ist, können wir doch auch sagen, das Gitter sei negativer als die Kathode. Wir müssen nämlich wissen, daß die Gitter-Kathoden-Spannung den Anodenstrom bestimmt. Sollte der Anodenstrom steigen, so fällt über R_1 mehr Spannung ab, d.h. das Gitter wird (gegenüber der Kathode) negativer und der Anodenstrom sinkt wieder. So pegelt sich ein konstanter Wert ein und man bezeichnet das als automatische Gittervorspannungserzeugung. Es ist aber auch möglich, eine konstante Spannung zuzuführen, wonach in Aufgabe **TG 319** gefragt wird.

1.7.4 Unerwünschte Ausstrahlungen

TG 403 Wie kann man bei einem VHF-Sender mit kleiner Leistung die Entstehung parasitärer Schwingungen wirksam unterdrücken?

Durch das Aufstecken einer Ferritperle auf die Emitterzuleitung des Endstufentransistors.

Durch entsteht eine Drossel, die bei hohen Frequenzen wirksam wird. Auf den Transistor vom Ausgang auf den Emitter wird einströmende HF so abgeblockt. Solche Ferritperlen finden wir übrigens auch in anderen Stufen, um Schwingneigung zu vermeiden.

TG 404 Wie ist der Wirkungsgrad eines HF-Generators definiert?

Als Verhältnis der HF-Ausgangsleistung zur Gleichstrom-Eingangsleistung.

Aufgabe **TB 992** beschäftigt sich ebenfalls mit der Problematik. Bitte sehen Sie dort nochmals nach und finden Sie Gemeinsamkeiten.

TG 409 Was für ein Filter muß man zwischen Senderausgang und Antenne einschleifen, um die Abstrahlung von Oberwellen zu reduzieren?

Daß das ein Tiefpaßfilter sein muß, wurde im vorigen Abschnitt ausführlich behandelt. Die Anordnung als π -Filter wird allgemein als Collinsfilter bezeichnet.

Zusätzlich kann eine Anordnung wie in Aufgabe **TG 413 a)** sinnvoll sein. Es ist immer effektiver, unerwünschte Ausstrahlungen an der eigenen Station zu verhindern als möglicherweise die Einstrahlung auf viele Geräte der Nachbarschaft durch Einschleifen von Hochpässen zu unterdrücken.

TG 419 Bei Aussendungen im Frequenzbereich 1,81 bis 2,0 MHz können Spiegelfrequenzstörungen im...

Mittelwellenbereich auftreten.

Der Oszillator von Rundfunkgeräten schwingt in der Regel oberhalb der Eingangsfrequenz. Wenn die Signale im 160m-Band als Spiegelfrequenzstörungen auftreten sollten, so müssen wir die doppelte ZF (etwa 455 kHz) der Rundfunkgeräte von unserer Sendefrequenz subtrahieren.

$$f_s = f_e + 2 \cdot ZF \quad \Rightarrow \quad f_e = f_s - 2ZF = 1,81 \text{ MHz} - 2 \cdot 0,455 \text{ MHz} = \underline{0,9 \text{ MHz}}$$

Der Mittelwellenbereich erstreckt sich von 510 bis 1620 kHz, folglich könnte bei 900 MHz eine auf 1,81 MHz sendende Amateurfunkstelle als Spiegelfrequenz empfangen werden.

TG 422 Am Ausgang eines UKW-Senders mit bis zu 25 Watt mittlerer Leistung darf die Leistung der Oberwellen höchstens

-16 dBm betragen.

Bitte erinnern Sie sich, was „dBm“ bedeutet. Richtig, dB bezogen auf ein Milliwatt und nicht etwa dB pro Meter, wie es Ihnen der Dauerredner aus dem Ortsverband einreden will. Außerdem steht noch ein Minus davor. Das bedeutet, daß die Leistung der Oberwellen 16 dB weniger als ein Milliwatt betragen darf. Rechnen Sie das nun zur Auffrischung Ihrer Kenntnisse aus.

Wenn Ihr Ergebnis 0,025 mW lautet, können Sie der Prüfung optimistisch entgegensehen.

Überprüfen Sie ihre Kenntnisse auf die gleiche Weise bei den Aufgaben **TG 423** und **TG 424**.

1.8 Antennen und Übertragungsleitungen

1.8.1 Antennen

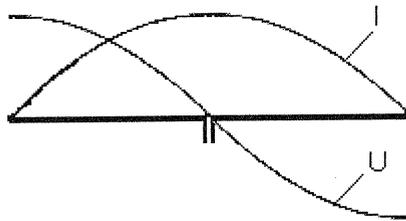
TH 101 Welche elektrische Länge muß eine Dipolantenne haben, damit sie in Resonanz ist?

Ein Dipol muß elektrisch mindestens $\lambda/2$ oder ein ganzzahlig Vielfaches davon lang sein.

Sehen Sie sich zum allgemeinen Verständnis die Abbildungen für die Aufgaben TH 108 bis TH 111 an. Beachten Sie dabei insbesondere die Stromverhältnisse im Speisepunkt.

TH 102 Ein Halbwellendipol weist bei...

der Grundfrequenz Serienresonanz auf, da sich im Speisepunkt ein Spannungsknoten ($U = \min.$) sowie Strombauch ($I = \max.$) befinden. Ein Dipol hat deshalb wie ein Serienschwingkreis bei Resonanz einen kleinen Widerstand ($Z = \text{ca. } 60 \Omega$).



Als Gedächtnisstütze soll das Ohmsche Gesetz dienen, das besagt, daß der Widerstand bei abnehmender Spannung und zunehmendem Strom kleiner wird. Beim Halbwellendipol ist die Spannung minimal und der Strom maximal. Somit muß der Widerstand klein sein.

Mit der Anwendbarkeit des Ohmschen Gesetzes für Impedanzen hatten Sie sich schon bei Aufgabe TC 317 beschäftigt.

TH 103 Die Serienresonanz eines Halbwellendipols erfolgt auch bei... der dritten Harmonischen.

Dazu zwei Beispiele:

$$f = 3,5 \text{ MHz, } \underline{\lambda/2 = 42,86 \text{ m}} \quad \Rightarrow \quad 3f = 10,5 \text{ MHz, } \lambda = 28,57 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \underline{1,5 \lambda = 42,86 \text{ m}}$$

$$f = 7,0 \text{ MHz, } \underline{\lambda/2 = 21,43 \text{ m}} \quad \Rightarrow \quad 3f = 21,0 \text{ MHz, } \lambda = 14,29 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad \underline{1,5 \lambda = 21,43 \text{ m}}$$

Wir erkennen aus diesen Beispielen, daß bei ungeradzahlig Vielfachen der halben Wellenlänge immer Serienresonanz vorliegt, der Dipol also niederohmig ist. Das zweite Beispiel sollte uns als Hinweis dienen, auch einmal den 40-m-Dipol im 15-m-Band zu verwenden.

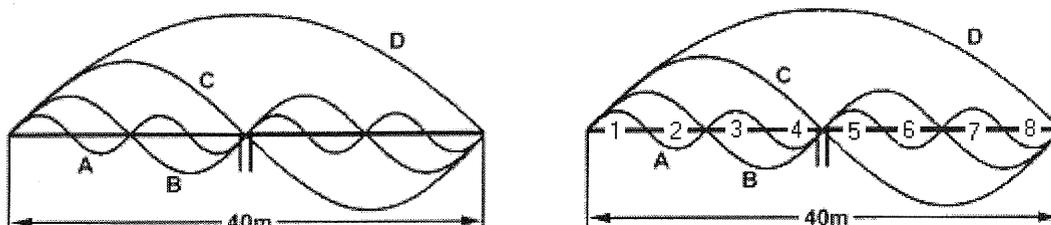
TH 105 Ein resonanter Dipol wird stromgespeist, wenn an seinem Einspeisepunkt...

ein Spannungsknoten und ein Strombauch liegen. Er ist daher niederohmig.

Merke: Stromspeisung = niederohmige Speisung = niederohmiger Fußpunkt

Versuchen Sie nun bei Aufgabe TH 106 herauszufinden, warum dort Hochohmigkeit vorliegt.

TH 108 Das folgende Bild zeigt die Stromverteilungen A bis D auf einem Dipol, der auf verschiedenen Resonanzfrequenzen erregt werden kann. Für welche Erregerfrequenz gilt die Stromkurve nach A?



Es handelt sich für das 80-m-Band um einen $\lambda/2$ -Dipol. Die Kurve A paßt mit 8 Halbwellen auf die angegebene Dipollänge. Die Wellenlänge der Kurve A beträgt also 10 m ($1/8$ von 80 m = 10 m). Folglich muß die Frequenz 28 MHz sein ($8 \cdot 3,5 \text{ MHz} = 28 \text{ MHz}$).

Die Lösung der Aufgaben **TH 109 bis TH 111** sollte nun keine Probleme mehr bereiten.

TH 116 Ein Parallelresonanzkreis (Trap) in jeder Dipolhälfte...

erlaubt eine Anpassung für mindestens zwei Frequenzbereiche.

Ein Parallelschwingkreis hat im Resonanzfall einen hohen Widerstand. Deshalb können wir ihn uns als einen Isolator für die Resonanzfrequenz vorstellen. Eine Anwendung finden wir z. B. in der W3DZZ (Aufgabe **TH 132**).

TH 127 Welches der folgenden Bauteile sollte mit einem 15 m langen Antennendraht in Reihe geschaltet werden, damit Resonanz im 3,5-MHz-Bereich erfolgen kann?

Zunächst stellen wir fest, daß es sich um das 80-m-Band handelt und der $\lambda/2$ -Dipol etwa 40 m lang sein müßte. 15 m sind zu kurz. Deshalb muß die Antenne elektrisch mit einer Spule verlängert werden (Verlängerungsspule).

Den umgekehrten Fall finden wir bei Aufgabe **TH 138** vor.

TH 148 Bei einer Yagi-Antenne mit dem folgenden Strahlungsdiagramm beträgt die ERP in Richtung „A“ 0,6 Watt und in Richtung „B“ 15 Watt. Welches Vor-Rück-Verhältnis hat die Antenne?



geg.: $P_{\text{rück}} = 0,6 \text{ W}$, $P_{\text{vor}} = 15 \text{ W}$

ges.: $V_{\text{vor/rück}}$

$$V_{\text{vor/rück}} = 10 \cdot \log \frac{P_{\text{vor}}}{P_{\text{rück}}} = 10 \cdot \log \frac{15 \text{ W}}{0,6 \text{ W}} = 10 \cdot \log 25 = \underline{\underline{14 \text{ dB}}}$$

Nachdem die Kenntnisse über die Berechnung der Dezibel wieder aufgefrischt worden sind, lösen Sie die Aufgaben **TH 149** und **TH 150** nun bitte selbständig.

1.8.2 Antennenmerkmale

TH 201 Der Strahlungswiderstand einer Antenne...

entspricht dem für einen bestimmten Antennenpunkt berechneten Ersatzwiderstand, der die von der Antenne abgestrahlte Leistung verbrauchen würde.

Gefragt ist hier nach dem Fußpunktwiderstand Z der Antenne. Der Speisepunkt muß nicht in der Mitte der Antenne liegen (siehe Windom-Antenne!).

TH 205 Welche Impedanz hat eine Antenne unterhalb und oberhalb der Resonanzfrequenz?

Unterhalb der Resonanzfrequenz ist die Impedanz induktiv (Antenne zu lang), oberhalb kapazitiv (Antenne zu kurz). Wir wollen hier nicht auf die Problematik der komplexen Zahlen eingehen

Eselsbrücke:

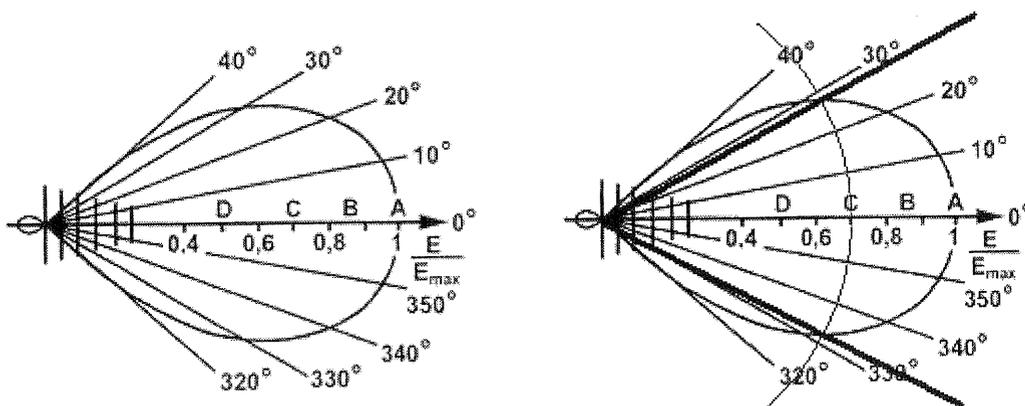
Als Konsequenz daraus fügen wir nämlich bei einer zu kurzen Antenne eine Verlängerungsspule und bei einer zu langen Antenne einen Verkürzungskondensator im Fußpunkt der Antenne zur Kompensation ein.

TH 209 Ein Antennenhersteller gibt den Gewinn einer Antenne mit 5 dBd an. Wie groß ist der Gewinn der Antenne in dBi?

Der Gewinn einer Antenne in dBi liegt immer etwa 2 dB über dem Gewinn gegenüber einem Dipol. In der Literatur werden unterschiedliche Angaben dazu gemacht (hier sind 2,15 dB zu addieren, in Aufgabe **TB 515** waren das 2,2 dB und in der Formelsammlung des Fragenkatalogs steht der Wert 2,16 dB).

Bei allen vorgegebenen falschen Antworten ist der Wert kleiner und das sollte uns doch stutzig machen.

TH 213 Die folgende Skizze zeigt das Horizontaldiagramm der relativen Feldstärke einer horizontalen Yagi-Antenne. Wie groß ist im vorliegenden Fall die Halbwertsbreite (Öffnungswinkel)?



Gleichzeitig mit dieser Aufgabe werden auch die Aufgaben **TH 211** und **TH 212** beantwortet. Für die Bestimmung der Halbwertsbreite, allgemein als Öffnungswinkel bezeichnet, schlagen wir einen Kreisbogen durch den Punkt 0,707. Wir lesen am Schnittpunkt mit der Ausbreitungskeule einen Winkel von etwa 28 Grad nach oben und unten ab.

Der Öffnungswinkel ist demzufolge etwa 55 Grad.

TH 221 Ein Kabel mit einem Wellenwiderstand von 75Ω wird zur Speisung einer Faltdipol-Antenne verwendet. Welche Welligkeit s kann man auf der Leitung erwarten?

geg.: $Z_{\text{Kabel}} = 75 \Omega$, $Z_{\text{Ant}} \approx 300 \Omega$

ges.: s

$$s = \frac{Z_{\text{Ant}}}{Z_{\text{Kabel}}} = \frac{300 \Omega}{75 \Omega} = \underline{4}$$

TH 225 Ein Sender mit 0,6 Watt Ausgangsleistung ist über eine Antennenleitung, die 1 dB Kabelverluste hat, an eine Richtantenne mit 11 dB Gewinn (auf den Dipol bezogen) angeschlossen. Welche EIRP wird von der Antenne maximal abgestrahlt?

geg.: $G_{\text{Ant}} = 11 \text{ dBd}$, $V_{\text{Kabel}} = 1 \text{ dB}$, $P_{\text{out}} = 0,6 \text{ W}$

ges.: EIRP

Es ist der Antennengewinn gegenüber einem Dipol angegeben, gesucht ist aber die Strahlungsleistung im Vergleich zu einem **Isotropstrahler** (EIRP). Deshalb ist die Differenz von **2,16 dB Gewinn** (lt. Angabe in der Formelsammlung im Fragenkatalog) zum Antennengewinn zu addieren. Die Kabelverluste schwächen das Signal und sind deshalb zu subtrahieren. Es ergibt sich somit folgende Rechnung für den Gesamtgewinn:

$$G_{\text{ges}} = G_{\text{Ant}} + 2,16 \text{ dB} - V_{\text{Kabel}} = 11 \text{ dB} + 2,16 \text{ dB} - 1 \text{ dB} = \underline{12,16 \text{ dB}}$$

Nun bestimmen wir, welcher Faktor hinter diesen 12,5 dB steckt und multiplizieren abschließend damit die Ausgangsleistung des Senders:

$$\frac{\text{EIRP}}{P_{\text{out}}} = G_{\text{ges}} \Rightarrow \text{EIRP} = P_{\text{out}} \cdot G_{\text{ges}} = P_{\text{out}} \cdot 10^{\frac{G_{\text{ges}}}{10}} = 0,6 \text{ W} \cdot 10^{\frac{12,16}{10}} = 0,6 \text{ W} \cdot 16,4 = \underline{9,8 \text{ W}}$$

Lösen Sie nun die Aufgaben **TH 226** bis **TH 229** nach dem gleichen Schema.

Hinweise: Lassen Sie sich bei Aufgabe **TH 227** nicht durch den Gewinn von 0 dBd irritieren. Das besagt lediglich, daß es sich um einen Dipol handelt (0dB entspricht einem Verhältnis von 1:1). Bei Aufgabe **TH 228** ist der Antennengewinn in dBi angegeben.

1.8.3 Übertragungsleitungen

TH 304 Welche Dämpfung hat ein 15 m langes Koaxkabel vom Typ RG 58 bei 145 MHz?

Zur Lösung der Aufgabe benötigen wir die Grunddämpfung des angegebenen Kabels. Diese entnehmen wir dem Diagramm im Anhang 2 des Fragenkatalogs (Seite 186). Die dort abzulesende Grunddämpfung, die dann mit der tatsächlichen Länge ins Verhältnis gesetzt werden muß, bezieht sich immer auf ein 100 m langes Kabel.

Durch Ableseungenauigkeiten kann es zu Abweichungen von der vorgegebenen Antwort kommen. Deshalb ist das selbst ermittelte Ergebnis kritisch zu vergleichen.

Leider werden die Verhältnisse in dB in der Literatur mit den unterschiedlichsten Symbolen abgekürzt (richtet sich wahrscheinlich nach dem Vornamen der Schwiegermutter). Dabei steht oft „D“ für Dämpfung, „V“ für Verstärkung, „g“ oder „G“ für Gewinn und hier wurde „a“ (absolute Dämpfung) als Dämpfungsmaß benutzt, was wir auch bei unseren Berechnungen verwenden wollen, um die Vergleichbarkeit der Rechnung zu gewährleisten.

a_0 = Grunddämpfung je 100 m Leitungslänge (absolute Dämpfung auf 100 m)
 a = Dämpfung auf der tatsächlichen Leitungslänge (absolute Dämpfung)
 l = tatsächliche Leitungslänge

geg.: $l = 15 \text{ m}$, $f = 145 \text{ MHz}$, $a_0 = 21 \text{ dB/100 m}$ ges.: a

$$\frac{a_0}{a} = \frac{100 \text{ m}}{l} \Rightarrow a_0 \cdot l = 100 \text{ m} \cdot a \Rightarrow a = \frac{a_0 \cdot l}{100 \text{ m}} = \frac{21 \text{ dB} \cdot 15 \text{ m}}{100 \text{ m}} = 3,15 \text{ dB} \approx \underline{3 \text{ dB}}$$

Die Aufgaben **TH 305 bis TH 310** sind nun von Ihnen selbständig nach diesem Schema zu lösen.

TH 316 Eine offene Paralleldrahtleitung ist aus Draht mit einem Durchmesser $d = 2 \text{ mm}$ gefertigt. Der Abstand der parallelen Leiter beträgt $a = 20 \text{ cm}$. Wie groß ist der Wellenwiderstand Z_0 der Leitung?

geg.: $d = 2 \text{ mm}$, $a = 20 \text{ cm}$ ges.: Z_0

Das Dielektrikum einer solchen Leitung (Hühnerleiter) ist Luft. Die Dielektrizitätskonstante entnehmen wir der Formelsammlung: $\epsilon_r = 1,00059$

$$\begin{aligned} Z_0 &= \frac{120 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{2a}{d} = \frac{120 \Omega}{\sqrt{1,00059}} \cdot \ln \frac{2 \cdot 20 \text{ cm}}{2 \text{ mm}} = \frac{120 \Omega}{\sqrt{1,00059}} \cdot \ln \frac{2 \cdot 20 \cdot 10^{-2} \text{ m}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = \frac{120 \Omega}{\sqrt{1,00059}} \cdot \ln \frac{40 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 10^{-3}} \\ &= \frac{120 \Omega}{1,0029} \cdot \ln 200 = 119,65 \Omega \cdot 5,298 = \underline{634 \Omega} \end{aligned}$$

Die Antwort a) ist als richtig anzusehen, die geringe Abweichung resultiert aus Rundungen.

Der Ausdruck $\sqrt{1,00059}$ kann in der Praxis mit 1 angesetzt werden, ohne daß es zu wesentlichen Abweichungen kommt (Ergebnis ist dann $635,8 \Omega$). (Siehe auch Antwort a) bei Aufgabe **TH 319!**)

TH 317 Ein Koaxialkabel (luftisoliert) hat einen Innendurchmesser der Abschirmung von 5 mm . Der Außendurchmesser des inneren Leiters beträgt 1 mm . Wie groß ist der Wellenwiderstand des Kabels?

geg.: $D = 5 \text{ mm}$, $d = 1 \text{ mm}$, $\epsilon_r \approx 1$ ges.: Z_0

$$Z_0 = \frac{60 \Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d} \approx \frac{60 \Omega}{1} \cdot \ln \frac{5 \text{ mm}}{1 \text{ mm}} = 60 \cdot \ln 5 = 96,6 \Omega \approx \underline{97 \Omega}$$

Siehe auch Aufgabe **TH 115!**

TH 322 Welche mechanische Länge hat ein $\lambda/4$ langes Koaxkabel mit einer Voll-Polyäthylen-Isolierung bei 145 MHz ?

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}}{145 \text{ MHz}} = \frac{300000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}}{145 \cdot 10^6 \text{ s}^{-1}} = \frac{300000 \cdot 10^3 \text{ m}}{145 \cdot 10^6} = 2,069 \text{ m} \Rightarrow \lambda/4 = \underline{0,517 \text{ m}}$$

mechanische Länge l des Kabels: $k_v = \frac{1}{\sqrt{2,29}} \approx \underline{0,66}$

Hinweis: Diesen Wert sollten wir uns merken, denn er gilt für alle Koaxkabel mit Voll-Polyäthylen-Isolierung.

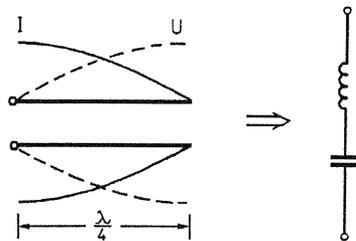
$$l_{\text{mech}} = l_{\text{el}} \cdot k_v = 51,7 \text{ cm} \cdot 0,66 = \underline{34,12 \text{ cm}}$$

Auch hier kommt es zu einem geringen Rundungsfehler. Wer kann schon auf $0,8 \text{ mm}$ genau löten!

TH 323 Wie verhält sich das Stehwellenverhältnis, wenn Wasser in eine genau angepaßte Antennenleitung eindringt?

Das Stehwellenverhältnis ergibt sich aus dem Verhältnis der angeschlossenen Impedanzen. Durch das Eindringen von Wasser verändert sich der Wellenwiderstand der Antennenleitung und es ergibt sich demzufolge eine Abweichung von ehemals 1:1, folglich eine Verschlechterung, also eine Erhöhung des Stehwellenverhältnisses.

TH 326 was zeigt diese Darstellung?

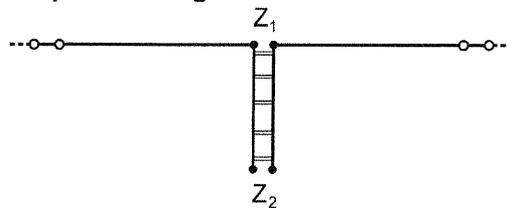


Die Lecherleitung (Anpaßleitung, Stichleitung) ist am Ende offen, d.h. es fließt kein Strom und die Spannung erreicht ihr Maximum. Nach einer Viertel Wellenlänge (im Speisepunkt) bildet sich dann ein Spannungsknoten und ein Strombauch.

Lt. Ohmschen Gesetz ergeben eine kleine Spannung und ein großer Strom einen kleinen Widerstand. Folglich besteht im Speisepunkt Niederohmigkeit. Die Lecherleitung wirkt wie ein Serienschwingkreis.

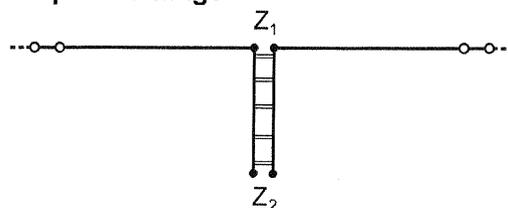
1.8.4 Anpassung, Transformation und Symmetrierung

TH 403 Einem Ganzwellendipol wird die Sendeleistung über eine abgestimmte $\lambda/4$ -Speiseleitung zugeführt. Wie groß ist die Impedanz Z_1 im Einspeisepunkt des Dipols? Und wie groß ist die Impedanz Z_2 am Anfang der Speiseleitung?



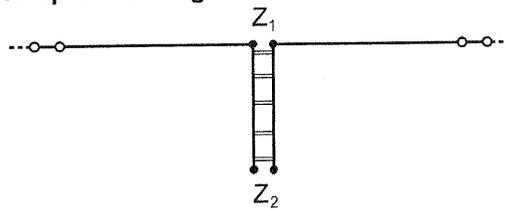
Ein Ganzwellendipol ist in der Mitte (Z_1) hochohmig, denn dort befinden sich ein Spannungsbauch und ein Stromknoten (Ohmsches Gesetz!). Am anderen Ende einer $\lambda/4$ -Speiseleitung kommt es zu einer Phasenverschiebung von 90° ($360^\circ : 4$). Das bedeutet einen Spannungsknoten und Strombauch. Z_2 ist folglich niederohmig.

TH 404 Einem Ganzwellendipol wird die Sendeleistung über eine abgestimmte $\lambda/2$ -Speiseleitung zugeführt. Wie groß ist die Impedanz Z_1 im Einspeisepunkt des Dipols? Und wie groß ist die Impedanz Z_2 am Anfang der Speiseleitung?



Es liegt wieder ein Ganzwellendipol mit hochohmiger Einspeisung (Z_1) in der Mitte vor. Am anderen Ende einer $\lambda/2$ -Speiseleitung herrscht eine Phasenverschiebung von 180° ($360^\circ : 2$). Das bedeutet wieder einen Spannungsbauch und Stromknoten. Z_2 ist folglich auch hochohmig.

TH 405 Einem Halbwellendipol wird die Sendeleistung über eine abgestimmte $\lambda/2$ -Speiseleitung zugeführt. Wie groß ist die Impedanz Z_1 im Einspeisepunkt des Dipols? Und wie groß ist die Impedanz Z_2 am Anfang der Speiseleitung?



Es liegt ein Halbwellendipol mit niederohmiger Einspeisung (Z_1) in der Mitte vor (Spannungsknoten und Strombauch). Am anderen Ende einer $\lambda/2$ -Speiseleitung herrscht eine Phasenverschiebung von 180° ($360^\circ : 2$). Das bedeutet wieder einen Spannungsknoten und Strombauch. Z_2 ist folglich auch niederohmig.

TH 406 Ein Faltdipol mit einem Fußpunktwiderstand von 240Ω soll mit einer Hühnerleiter gespeist werden, deren Wellenwiderstand 600Ω beträgt. Zur Anpassung soll ein $\lambda/4$ langes Stück Hühnerleiter mit einem anderen Wellenwiderstand verwendet werden. Welchen Wellenwiderstand muß die Transformationsleitung haben?

geg.: $Z_E = 600 \Omega$, $Z_A = 240 \Omega$

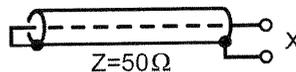
ges.: Z

Für den Viertelwellentrafo gilt: $Z = \sqrt{Z_E \cdot Z_A}$

$$= \sqrt{600 \Omega \cdot 240 \Omega} = 379 \Omega \approx \underline{380 \Omega}$$

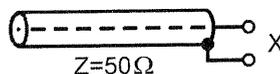
Die Aufgabe **TH 407** ist nach dem gleichen Schema zu lösen.

TH 408 Wie groß ist die Impedanz am Punkt „X“, wenn die elektrische Länge der abgebildeten Leitung $\lambda/4$ beträgt?



Ich empfehle, zur Beantwortung der Frage zunächst die gegenüber liegende Seite der Leitung zu betrachten. Dort befindet sich nämlich ein Kurzschluß. Das bedeutet Niederohmigkeit. Die elektrische Länge beträgt $\lambda/4$. Demzufolge muß am Punkt X Hochohmigkeit vorliegen.

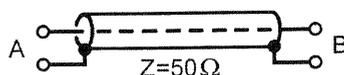
TH 409 Wie groß ist die Impedanz am Punkt „X“, wenn die elektrische Länge der abgebildeten Leitung $\lambda/4$ beträgt?



Wir betrachten wieder das gegenüber liegende Ende der Leitung. Es ist offen, d.h. hochohmig. Eine $\lambda/4$ -Leitung bewirkt eine Phasenverschiebung von 90° . Demzufolge wird die Impedanz am Punkt X niederohmig.

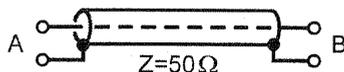
Die Aufgabe **TH 410** ist die gleiche wie **TH 409**.

TH 411 Welche Phasenverschiebung erhält ein HF-Signal von „A“ nach „B“, wenn die elektrische Länge der abgebildeten Leitung $\lambda/4$ entspricht?



Eine volle Schwingung beträgt 360° . Oft wird das auch als 2π bezeichnet. Ein Viertel einer Schwingung und demzufolge die Phasenverschiebung ist 90° (oder $\pi/2$).

TH 412 Welche Phasenverschiebung erhält ein HF-Signal von „A“ nach „B“, wenn die elektrische Länge gleich der Wellenlänge ist?



An beiden Enden herrscht der gleiche Schwingungszustand. Über die elektrische Länge der Leitung verteilt sich genau eine Schwingung. Die Phasenverschiebung beträgt demnach 360° oder 2π .

TH 413 Eine Halbwellen-Übertragungsleitung ist an einem Ende mit 50Ω abgeschlossen. Wie groß ist die Eingangsimpedanz am anderen Ende dieser Leitung?

Die Phasenverschiebung beträgt 180° . Damit ist die Impedanz an beiden Enden immer gleich groß, in unserem Fall also ebenfalls 50Ω .

TH 414 Ein Halbwellendipol hat an seinem Einspeisepunkt eine Impedanz von 70Ω . Er wird über ein $\lambda/2$ langes 300Ω -Flachbandkabel gespeist. Wie groß ist die Impedanz am Ende der Speiseleitung?

Wie wir bei Aufgabe **TH 413** bereits erkannt haben, ändert sich an der Impedanz bei einer $\lambda/2$ langen Speiseleitung nichts. An beiden Enden beträgt sie somit 70Ω .

1.9 Wellenausbreitung, Ionosphäre

Der Inhalt dieses Kapitels beschäftigt sich mit der Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen. Ich empfehle dazu die Ausführungen in Rothammels Antennenbuch zu studieren. Da das Buch nicht gerade billig ist, ist es sinnvoll, in einer Leihbibliothek oder bei einem befreundeten Funkamateurl nach-zufragen. Die Thematik ist sehr gut und allgemeinverständlich abgehandelt. Dabei spielt es keine Rolle, ob es sich um eine neuere oder ältere Ausgabe handelt.

Die Kenntnis der verschiedenen Ausbreitungsarten ist insbesondere auf dem Gebiet der Kurzwellen eine Voraussetzung, um zielgerichtet bestimmte Gebiete der Erde zu erreichen. Um das zu verdeutlichen: Es nützt nichts zu versuchen, lediglich eine angenehme Zeit außerhalb von Bettruhe und Arbeitstag für eine abgesprochene Funkverbindung zwischen Deutschland und den USA zu ermitteln. Der Zustand der Ionosphäre muß in erster Linie eine Verbindung der gewünschten Art zulassen. Dem hat sich alles andere unterzuordnen.

Aber auch bei UKW sind zum Erreichen extremer Reichweiten fundierte Kenntnisse nötig. Es ärgert mich z.B. immer wieder, wenn herbstlichen Inversionswetterlagen, die oft tagelang anhalten, weniger Beachtung geschenkt wird als dem neuesten Funkgerät (das aber auch kein mangelndes Wissen kompensieren kann). Die Technik (neudeutsch: Hardware) kann uns nämlich nur die Arbeit als Funkamateurl erleichtern, die Gesetze der Physik kann sie nicht überlisten.

1.9.1 Ionosphäre

TI 102 Welche ionosphärischen Schichten bestimmen die Fernausbreitung in der Nacht?

Die Ionisation der F2-Schicht unterliegt einer sehr trägen Rekombination. Darunter verstehen wir den Vorgang, bei dem die freien Elektronen wieder in die Elektronenhülle der Gasmoleküle „eingebaut“ werden, aus der sie hauptsächlich durch den Einfluß der Sonnenstrahlung ursprünglich herausgelöst wurden. Die anderen Schichten der Ionosphäre existieren in der Nacht kaum noch und spielen deshalb für die Wellenausbreitung keine Rolle. Die F2-Schicht liegt am höchsten und ist schon allein deshalb für die Fernausbreitung von besonderem Interesse, da sie dadurch die größte Sprungdistanz ermöglicht. Die Elektronenkonzentration ist außerdem mehr als doppelt so groß wie die der darunter liegenden F1-Schicht, die durch Absorption die elektromagnetischen Wellen auf dem Weg zur F2-Schicht dämpft.

TI 105 In welcher Höhe befindet sich die für die Fernausbreitung wichtige E-Schicht an einem Sommertag?

Die E-Schicht bildet sich bereits kurz nach dem Sonnenaufgang in etwa 90 bis 120 km Höhe und erreicht um die Mittagszeit ihren Höhepunkt. Sie fehlt folglich in der Nacht. An der E-Schicht kann bereits eine Reflexion erfolgen. Aber auch Reflexionen zwischen E- und F-Schicht sind möglich.

Interessant dürfte die sporadische E-Schicht (E_s-Schicht) sein, die in unseren Breiten vorwiegend im Sommer plötzlich (sporadisch) auftritt. Sie ermöglicht auf UKW Verbindungen weit über den optischen Horizont hinaus aber auch Kurzwellenverbindungen zwischen relativ benachbarten Stationen durch die kurze Sprungdistanz (short skip) (Aufgabe **TI 220**) infolge der geringeren Höhe der E-Schicht.

TI 106 In welcher Höhe befindet sich die für die Fernausbreitung wichtige D-Schicht an einem Sommertag?

Die D-Schicht befindet sich in etwa 70 bis 90 km Höhe. An ihr finden keine Reflexionen statt. Für die Fernausbreitung kann sie also nicht genutzt werden.

Die Kurzwellen werden von ihr durchdrungen, wobei der dämpfende Einfluß mit steigender Frequenz sinkt. Im Extremfall kann es aber auch zu einer völligen Absorption insbesondere der niederen Bänder führen. Das äußert sich sehr deutlich darin, daß die Reichweiten bis hin zum 40m-Band tagsüber

spürbar geringer sind als in der Nacht. In den Sommermonaten kann es ab Mittag zum Totalausfall des 160- und 80 m-Bandes kommen. Wir sprechen dann von der sogenannten Mittagsdämpfung. Durch erhöhte Sonnenaktivität kann es durch die damit zusammenhängende verstärkte UV- und Röntgenstrahlung zu besonders starker Ionisation kommen, wobei die Kurzwellen absorbiert werden und keine Funkverbindung möglich ist. Dieser Zustand tritt plötzlich ein und dauert etwa eine Viertel bis halbe Stunde, selten länger, verbunden mit erhöhtem Rauschen. Man spricht dann vom Møgel-Dellinger-Effekt oder auch SWF (**Short Wave Fadeout**).

1.9.2. Kurzwellenausbreitung

TI 201 Unter der „Toten Zone“ wird der Bereich verstanden,...

der durch die Bodenwelle nicht mehr und die Raumwelle noch nicht erreicht wird.

Besonders auf den höheren Bändern wird das spürbar, da die Bodenwelle mit steigender Frequenz immer mehr an Bedeutung verliert. So empfangen wir weit entfernte Stationen mit großer Feldstärke, können aber benachbarte Stationen, die in diesem QSO sind, nicht hören. Die Bodenwelle erreicht uns nämlich nicht mehr und die Raumwelle geht über uns hinweg.

TI 205 Was wirkt sich nicht auf die Sprungentfernung aus?

Die Sprungentfernung ist vom Zustand der Ionosphäre und vom Abstrahlwinkel der Antenne (vertikaler Erhebungswinkel α , manchmal auch als θ bezeichnet) abhängig. Die Strahlungsleistung hat auf die Sprungentfernung keinen Einfluß. Sie bestimmt nur, wie stark das Signal bei der Gegenstation ankommt.

TI 209 Was ist mit der Aussage „Funkverkehr über den langen Weg“ (long path) gemeint?

Kurzwellenverbindungen laufen oftmals nicht auf dem kürzesten Weg zwischen den Funkstellen. Mitunter ist der Zustand der Ionosphäre so, daß die Wellen entgegengesetzt verlaufen. So kann es in den Morgenstunden durchaus sein, daß eine australische Station nicht über den Weg Asien – Indischer Ozean sondern über den Atlantik und Pazifik erreicht wird. Die Ausbreitung über den direkten Weg ist nicht möglich. Eine KW-Richtantenne müßte dann um 180° versetzt positioniert werden.

TI 217 Welches Ereignis tritt ein, wenn zwei phasenverschobene Signale an einem Empfangsort zusammentreffen?

Je nachdem, wie die Phasenlage der beiden Signale zueinander ist, werden sie verstärkt oder geschwächt. Die Amplituden addieren sich, d.h. gleichphasig auftreffende Signale bewirken eine Feldstärkeerhöhung, das Zusammentreffen von unterschiedlichen Phasen bewirkt eine Verminderung der Empfangsfeldstärke. Es kommt zu Interferenzen.

Ursache können die unterschiedliche Laufzeit von Raum- und Bodenwelle (Aufgabe **TI 216**) oder auch Laufzeitverschiebung durch Reflexion in verschiedenen Höhen (z.B. sowohl E- als auch F-Schicht) sein.

TI 227 Wie groß ist die obere brauchbare Frequenz (MUF) und die optimale Frequenz f_{opt} bei Verwendung einer Antenne, die einen Abstrahlwinkel von 45° hat, wenn die kritische Frequenz f_c mit 3 MHz gemessen wurde?

geg.: $\alpha = 45^\circ$, $f_c = 3 \text{ MHz}$

ges.: MUF, f_{opt}

$$MUF = \frac{f_c}{\sin \alpha} = \frac{3 \text{ MHz}}{\sin 45^\circ} = \frac{3 \text{ MHz}}{0,707} = \underline{\underline{4,2 \text{ MHz}}}$$

$$f_{opt} = MUF \cdot 0,85 = 4,2 \text{ MHz} \cdot 0,85 = \underline{\underline{3,6 \text{ MHz}}}$$

1.9.3. Wellenausbreitung oberhalb 30 MHz

TI 301 Wie weit reicht der Funkhorizont im UKW-Bereich über den geographischen Horizont hinaus?

Durch Beugung der Wellen am Horizont erhöht sich der Funkhorizont um etwa 15 %.

TI 303 Überhorizontverbindungen im UHF/Vhf-Bereich kommen u.a. zustande durch

Brechung der Wellen in troposphärischen Bereichen mit unterschiedlichem Brechungsindex.

Normalerweise nimmt die Temperatur mit steigender Höhe ab. Es kann aber auch durch das Einfließen kalter Luft, die schwerer ist, dazu kommen, daß die warme leichtere Luft nach oben gedrückt wird. Die Folge davon ist, daß die Temperatur mit der Höhe zunimmt. Da dieser Vorgang die Umkehr des Normalfalls ist, sprechen wir von einer Inversionswetterlage. Die Wellen werden wegen der unterschiedlichen Dichte der Luftschichten gebeugt. Das erfordert aber eine flach strahlende Antenne (Yagi).

Es kann sogar bei mehreren übereinander liegenden Inversionsschichten dazu kommen, daß eine Reflexion zwischen den Schichten erfolgt (Direktübertragung), bis durch ein Loch der unteren Schicht das Signal einen Empfänger erreicht.

Wie bereits erwähnt, sind solche Erscheinungen besonders in den Herbstmonaten anzutreffen. Sollte also im Wetterbericht die Rede davon sein, daß die Temperatur z.B. auf dem Brocken höher als im Tiefland ist, so sollten bei uns die Alarmglocken läuten. Überreichweiten im terrestrischen Fernsehen sind ebenfalls Hinweise für außergewöhnliche Ausbreitungsbedingungen.

Hinweis: Die Aufgaben **TI 302** und **TI 304** haben den gleichen Inhalt.

TI 311 In welcher ionosphärischen Schicht treten Aurora-Erscheinungen auf?

Durch das Eintreffen solaren Plasmas, das aus Protonen und Neutronen nach einer starken Sonneneruption besteht, kommt es zu Störungen des Erdmagnetfeldes und Anstieg der Ionisation der E-Schicht sowie Bildung von Polarlichtern (Aurora). Während für den Kurzwellenfunkverkehr Auroraerscheinungen ohne Belang und wegen der verbrummtten Signale verhaßt sind, werden sie von UKW-Amateuren für Überhorizontverbindungen herbeigeseht.

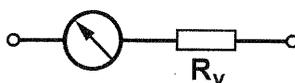
Da die Signale verbrummt sind, folglich die Sprachverständlichkeit leidet, ist CW für eine Übertragung optimal. Auch digitale Übertragungsverfahren, die verschiedene Tonhöhen auswerten wie RTTY sind unzweckmäßig (**TI 312**).

1.10 Messungen und Meßinstrumente

1.10.1 Meßinstrumente

1.10.1.1 Strom- und Spannungsmesser

TJ 102 Das Drehspulmeßwerk in der folgenden Schaltung hat einen maximalen Meßstrom $I_M = 100 \mu\text{A}$ und einen Meßwerkwiderstand $R_M = 1 \text{ k}\Omega$. $R_V = 499 \text{ k}\Omega$. Welche Gleichspannung muß an die Gesamtschaltung angelegt werden, damit das Meßwerk Vollausschlag anzeigt?



geg.: $R_M = 1 \text{ k}\Omega$, $R_V = 499 \text{ k}\Omega$, $I_M = 100 \mu\text{A}$

ges.: U_{max}

Wir gehen von folgender Überlegung aus:

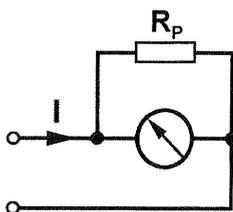
- Bei $100 \mu\text{A}$ zeigt das Instrument Vollausschlag.
- R_V liegt mit dem Meßwerkwiderstand von $1 \text{ k}\Omega$ in Reihe, folglich fließen durch ihn bei Vollausschlag auch $100 \mu\text{A}$.

$$U_{\text{max}} = R_{\text{ges}} \cdot I_M = (R_M + R_V) \cdot I_M = (1 \text{ k}\Omega + 499 \text{ k}\Omega) \cdot 100 \mu\text{A} = 500 \cdot 10^3 \Omega \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ A} = \underline{\underline{50 \text{ V}}}$$

Das Drehspulmeßwerk mit dem gegebenen Vorwiderstand eignet sich also für Spannungsmessungen bis 50 Volt. Dabei erreicht das Meßinstrument bei 0,1 V Vollausschlag. Die restlichen 49,9 V fallen über den Vorwiderstand ab. Bitte beachten Sie die Spannungs- und Widerstandsverhältnisse (1 : 500 und 1 : 499).

Die Aufgabe **TJ 103** ist nach dem gleichen Schema zu lösen.

TJ 104 Das Drehspulmeßwerk in der folgenden Schaltung hat einen maximalen Meßstrom $I_M = 100 \mu\text{A}$ und einen Meßwerkwiderstand $R_M = 1 \text{ k}\Omega$. Wie groß muß R_P gewählt werden, damit das Meßwerk in der Gesamtschaltung bei 100 mA Vollausschlag anzeigt?



geg.: $R_M = 1 \text{ k}\Omega$, $I_M = 100 \mu\text{A}$, $I = 100 \text{ mA}$

ges.: R_P

Wir gehen von folgender Überlegung aus:

- Bei $100 \mu\text{A}$ zeigt das Instrument Vollausschlag.
- Über R_P fließt der restliche Strom (siehe Aufgabe **TJ 105!**)

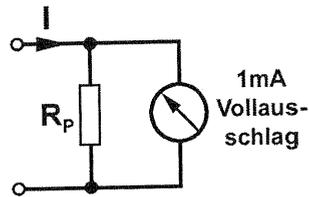
$$R_P = \frac{R_M \cdot I_M}{I - I_M} = \frac{1 \text{ k}\Omega \cdot 100 \mu\text{A}}{100 \text{ mA} - 100 \mu\text{A}} = \frac{10^3 \Omega \cdot 100 \cdot 10^{-6} \text{ A}}{100 \cdot 10^{-3} \text{ A} - 100 \cdot 10^{-6} \text{ A}} = \underline{\underline{1,001 \Omega}}$$

Da der Faktor der Strombereichserweiterung bekannt ist, rechnet es sich aber mit folgender Formel (nicht in der Formelsammlung enthalten!) angenehmer:

$$R_P = \frac{R_M}{n - 1} = \frac{1 \text{ k}\Omega}{1000 - 1} = \frac{1000 \Omega}{999} = \underline{\underline{1,001 \Omega}}$$

Genau betrachtet, ist keine der vorgegebenen Lösungen richtig. Das Widerstandsverhältnis ist immer um 1 kleiner als der Strombereichsfaktor n . Diese Aussage wird durch die Aufgabe **TJ 108** bekräftigt.

TJ 106 Wie groß muß R_p bei der folgenden Schaltung gewählt werden, wenn $I = 1 \text{ A}$ zum Vollausschlag des Instruments mit 300Ω Innenwiderstand führen soll?



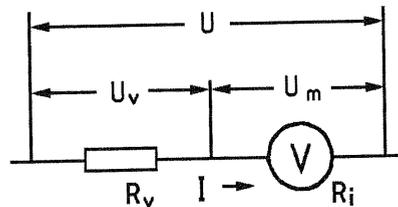
geg.: $I_M = 1 \text{ mA}$, $I = 1 \text{ A}$, $R_M = 300 \Omega$

ges.: R_p

$$R_p = \frac{R_M}{n-1} = \frac{300 \Omega}{1000-1} = \frac{300 \Omega}{999} = \underline{\underline{0,3003 \Omega}}$$

Auch hier ist keine Antwort exakt richtig.

TJ 107 Durch ein Einbauminstrument mit einem Meßbereich von 2 V fließt bei Vollausschlag ein Strom von 2 mA . Das Instrument soll mit einem Vorwiderstand auf einen Meßbereich von 20 V Endausschlag erweitert werden. Wie groß ist der Widerstandswert R_v und die Belastung P_v des Vorwiderstandes?



geg.: $U_M = 2 \text{ V}$, $I_M = 2 \text{ mA}$, $U = 20 \text{ V}$

ges.: R_v , P_v

Wir gehen von folgender Überlegung aus:

- Bei 2 V zeigt das Instrument Vollausschlag und es fließen dann 2 mA .
- R_v liegt mit dem Innenwiderstand des Meßgerätes in Reihe, folglich fließen durch ihn bei Vollausschlag auch 2 mA .
- Am Vorwiderstand müssen bei Vollausschlag die restlichen 18 V abfallen und es fließen dann ebenfalls 2 mA , da der Vorwiderstand in Reihe zum Instrument liegt.

$$R_v = \frac{U - U_M}{I_M} = \frac{20 \text{ V} - 2 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = \frac{18 \text{ V}}{2 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 9000 \Omega = \underline{\underline{9 \text{ k}\Omega}}$$

Da der Erweiterungsfaktor n leicht errechnet werden kann, können wir hier ebenfalls mit einer bequemer Formel rechnen, die aber ebenso wie die Formel in den Aufgaben TJ 405 und TJ 406 nicht in der Formelsammlung enthalten ist:

$$R_v = R_M (n-1) = \frac{U_M}{I_M} (n-1) = \frac{2 \text{ V}}{2 \text{ mA}} \cdot (10-1) = \frac{2 \text{ V}}{2 \text{ mA}} \cdot 9 = \underline{\underline{9 \text{ k}\Omega}} \quad \left| n = 20 \text{ V} : 2 \text{ V} = 10 \right.$$

Die Belastung des Vorwiderstandes können wir auf drei Arten ermitteln:

1. geg.: $U_v = 20 \text{ V} - 2 \text{ V} = 18 \text{ V}$, $I_v = 2 \text{ mA}$ ges.: P_v

$$P_v = U_v \cdot I_v = 18 \text{ V} \cdot 2 \text{ mA} = 18 \text{ V} \cdot 2 \cdot 10^{-3} \text{ A} = 0,036 \text{ W} = \underline{\underline{36 \text{ mW}}}$$

2. geg.: $R_v = 9 \text{ k}\Omega$, $I_v = 2 \text{ mA}$ ges.: P_v

$$P_v = R_v \cdot I_v^2 = 9 \text{ k}\Omega \cdot (2 \text{ mA})^2 = 9 \cdot 10^3 \Omega \cdot (2 \cdot 10^{-3} \text{ A})^2 = 0,036 \text{ W} = \underline{\underline{36 \text{ mW}}}$$

3. geg.: $R_V = 9 \text{ k}\Omega$, $U_V = 20 \text{ V} - 2 \text{ V} = 18 \text{ V}$ ges.: P_V

$$P_V = \frac{U_V^2}{R_V} = \frac{(18\text{V})^2}{9\text{k}\Omega} = \frac{(18\text{V})^2}{9 \cdot 10^3 \Omega} = 0,036 \text{ W} = \underline{\underline{36 \text{ mW}}}$$

Ich würde die erste Variante favorisieren, da nicht quadriert werden muß und diese Formel für die Leistung garantiert bekannt ist. Außerdem umgehen wir dabei die Gefahr, mit evtl. falsch errechneten Werten weitere Fehler zu machen. Betrachten wir somit die Lösungswege 2 und 3 als Beweis, daß die anderen Leistungsformeln auch richtig sind.

TJ 108 Der Meßbereich eines Amperemeters mit dem Innenwiderstand R_i soll um den Faktor 5 erweitert werden. Durch welche Maßnahme ist dies erreichbar?

Die Meßbereichserweiterung eines Amperemeters erfolgt immer durch Parallelschaltung eines Nebenwiderstandes, Shunt genannt. Mit diesem Grundwissen ausgerüstet, können Sie also schon einmal die Antworten c) und d) ausschließen.

Weiterhin wissen Sie, daß der zu messende Strom so aufgeteilt wird, daß ein Teil durch das Meßinstrument und alle anderen über den Shunt an ihm vorbei geleitet werden. Demzufolge muß das Verhältnis Shunt / Innenwiderstand des Meßwerks auch um 1 kleiner sein als der Faktor der Meßbereichserweiterung. Damit bleibt nur noch Antwort a) als richtig übrig.

TJ 109 Der Meßbereich eines Voltmeters mit dem Innenwiderstand R_i soll um den Faktor 8 erweitert werden. Durch welche Maßnahme ist dies erreichbar?

Die Meßbereichserweiterung eines Voltmeters erfolgt immer durch Reihenschaltung eines Vorwiderstandes. An diesem Vorwiderstand muß alle Spannung abfallen, die über den Meßbereich des Instruments hinausgeht. Die zu messende Spannung teilt sich also auf in Spannungsabfall über R_v + Spannungsabfall über den Innenwiderstand des Meßwerks.

Deshalb muß der Vorwiderstand um den Faktor „Meßbereichserweiterung – 1“ größer sein als der Innenwiderstand des Meßwerks.

TJ 110 Ein Vielfachmeßgerät hat in den Wechselspannungsmessbereichen die Empfindlichkeit $4 \text{ k}\Omega/\text{V}$. Wie groß ist der Strom durch das Meßgerät bei Vollausschlag im 10 V -Bereich?

Lassen Sie sich hier nicht auf eine falsche Fährte lenken! Bei einem Voltmeter wird durch einen Vorwiderstand dafür gesorgt, daß am Meßwerk nur so viel Spannung ansteht, daß entsprechend des jeweiligen Innenwiderstandes (Ohmsches Gesetz) nur der maximale Strom fließen kann. Das wird in der Praxis durch die Umschaltung der Meßbereiche und damit der Vorwiderstände erreicht. Demzufolge ist die Größe des eingestellten Meßbereiches völlig belanglos.

Die Aufgabe reduziert sich auf folgende Rechnung:

geg.: Empfindlichkeit = $4 \text{ k}\Omega/\text{V} \Rightarrow R_i = 4 \text{ k}\Omega$, $U_{\text{max}} = 1 \text{ V}$ ges.: I_{max}

$$I_{\text{max}} = \frac{U}{R_i} = \frac{1\text{V}}{4\text{k}\Omega} = \frac{1\text{V}}{4000\Omega} = 0,00025 \text{ A} = \underline{\underline{0,25 \text{ mA}}}$$

TJ 111 Mit welchem Strom zeigt ein $20\text{-k}\Omega/\text{V}$ -Instrument Vollausschlag?

Diese Aufgabe ist ebenso wie die vorherige zu lösen.

$$I_{\text{max}} = \frac{U}{R_i} = \frac{1\text{V}}{20\text{k}\Omega} = \frac{1\text{V}}{20000\Omega} = 0,00005 \text{ A} = 0,05 \text{ mA} = \underline{\underline{50 \mu\text{A}}}$$

Lösen Sie nun die Aufgabe **TJ 112** nach dem gleichen Schema.

1.10.1.2 Dip-Meter

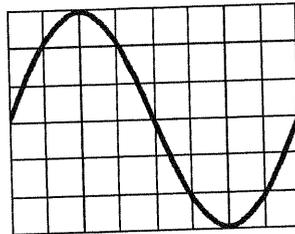
TJ 117 Was ist ein Dip-Meter?

Bei einem Dip-Meter handelt es sich um einen durchstimbaren Oszillator, der mit einem Drehspulinstrument als Indikator gekoppelt ist. Die Oszillatordspule dient dabei auch als Sensor zur Ankopplung an das Meßobjekt. Mit einem Dip-Meter ist es möglich, die Resonanzfrequenz eines Schwingkreises oder auch einer Antenne zu ermitteln. Man kann aber auch über die Meßspule eine bestimmte Frequenz einspeisen und das Gerät so zu Abgleicharbeiten nutzen. Früher waren diese Geräte bei Funkamateuren wegen ihres großen Einsatzspektrums sehr verbreitet. Die Geräte sind sehr einfach aufgebaut, haben allerdings eine relativ große Meßungenauigkeit (bis zu 10%).

Mehr zu diesem Thema kann man u.a. im Antennenbuch von Rothammel nachlesen.

1.10.1.3 Oszilloskop

TJ 120 Die Zeitbasis eines Oszillografen ist so eingestellt, daß ein Skalenteil 0,5 ms entspricht. Welche Frequenz hat die angelegte Spannung?



Bei den Aufgaben **TB 605** und **TB 606** beschäftigten wir uns schon einmal mit dieser Thematik.

geg.: Zeitbasis = 0,5 ms/Skt., Abbildung: 8 Skt./Schwingung ges.: f

1. Bestimmung der Periodendauer: $t = 8 \cdot 0,5 \text{ ms} = \mathbf{4 \text{ ms}}$
2. Bestimmung der Frequenz: $f = 1/t = 1 : 4 \text{ ms} = \mathbf{250 \text{ Hz}}$

Aufgabe **TJ 121** ist damit ebenfalls abgehandelt.

Die restlichen Aufgaben des Abschnitts 1.10.1. bedürfen keiner weiteren Erklärung. Einige Geräte wie Stehwellenmesser, Dip-Meter oder auch Frequenzzähler könnten vielleicht der Einstieg in die Selbstbaupraxis sein.

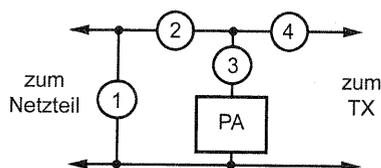
1.10.2 Durchführung von Messungen

TJ 201 Wie werden elektrische Spannungsmesser an Meßpunkte angeschlossen und welche Anforderungen muß das Meßgerät erfüllen, damit der Meßfehler möglichst gering bleibt?

Daß ein Spannungsmesser parallel zum Meßobjekt anzuschließen ist, sollte allgemein bekannt sein. Das Meßgerät hat aber auch einen Innenwiderstand, der bei Zeigerinstrumenten um so größer ist, je höher der Meßbereich ist (wegen Vorwiderstand). Dieser liegt bei der Messung parallel zum Meßobjekt, was zu einer Verfälschung des Meßergebnisses führt. Deshalb sollte man den Spannungsmeßbereich immer so hoch wie möglich wählen aber wegen der Meßgerätetoleranz (Genauigkeitsklasse) auch anstreben, im zweiten Skalendrittel ablesen zu können. Um Meßergebnisse vergleichen zu können, gibt man in Schaltungsunterlagen sehr häufig den Meßgerätetyp an. Es finden sich dann solche Hinweise wie „Spannungen gemessen mit Instrument 20 $k\Omega/V$ “.

Wie drastisch es zur Verfälschung des Meßergebnisses bei unterschiedlichen Meßbereichen kommt, wird an zwei Beispielen zu den Ausführungen bei Aufgabe **TJ 204** dargestellt.

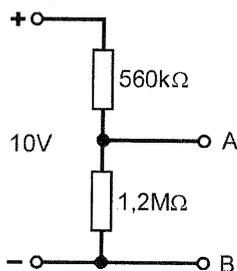
TJ 202 Wie sollten Strom- und Spannungsmesser zur Feststellung der Gleichstromeingangsleistung des dargestellten Endverstärkers (PA) angeordnet werden?



Mit Instrument 1 wird die Versorgungsspannung der PA und mit Instrument 3 der Strom durch die PA gemessen.

Die Instrumente 2 und 4 kommen dafür nicht in Betracht, denn Instrument 4 mißt nur den Strom der restlichen Senderstufen und Instrument 2 den Gesamtstrom des Senders.

TJ 204 Welches der nachfolgen genannten Meßgeräte ist für einen genaue Spannungsmessung zwischen A und B am besten geeignet?



Ein Digitalvoltmeter hat einen Innenwiderstand in der Größenordnung von Megaohm, die als Parallelschaltung zu den 1,2 MΩ kaum zu Verfälschungen führen.

Anders ist das aber bei der Verwendung eines Instrumentes mit einer Empfindlichkeit von 10 kΩ/V.

Wir errechnen mit der Spannungsteiler-Formel einmal, welche Spannung zwischen A und B wirklich anliegt und interessieren uns dann für die Verfälschung durch ein ungeeignetes Meßgerät.

$$\frac{U_2}{U} = \frac{R_2}{R_{ges}} \Rightarrow U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U \quad \frac{R_2}{R_1 + R_2} = \text{Spannungsteilerfaktor}$$

$$= \frac{1,2\text{M}\Omega}{0,56\text{M}\Omega + 1,2\text{M}\Omega} \cdot 10\text{V} = \frac{1,2}{1,76} \cdot 10\text{V} = \mathbf{6,82\text{ V}}$$

Wir messen zunächst im 10-V-Bereich:

Das Instrument hat einen Innenwiderstand von $10\text{ V} \cdot 10\text{ k}\Omega/\text{V} = 100\text{ k}\Omega$. Dieser Widerstand liegt zu den 1,2 MΩ parallel, es ergibt sich für R_2 ein wirksamer Widerstand von 0,092 MΩ. Wir messen mit diesem Instrument:

$$U_2 = \frac{92\text{k}\Omega}{560\text{k}\Omega + 92\text{k}\Omega} \cdot 10\text{V} = \mathbf{1,41\text{ V}}$$

Jetzt messen wir im 100-V-Bereich:

Der Innenwiderstand ist jetzt $100\text{ V} \cdot 10\text{ k}\Omega/\text{V} = 1\text{M}\Omega$, der für R_2 wirksame Widerstand beträgt nun $1\text{ M}\Omega \parallel 1,2\text{ M}\Omega = 0,55\text{ M}\Omega$.

$$U_2 = \frac{550\text{k}\Omega}{560\text{k}\Omega + 550\text{k}\Omega} \cdot 10\text{V} = \mathbf{4,95\text{ V}}$$

TJ 205 Mit einem Voltmeter der Klasse 1,5, das einen Skalenendwert von 300 V hat, messen Sie an einer Spannungsquelle 230 Volt. In welchem Bereich liegt der wahre Wert?

geg.: $U_{\text{meß}} = 230 \text{ V}$, $\Delta_{\text{Instr.}} = 1,5 \%$

ges.: U_{min} , U_{max}

Die Genauigkeitsklasse der Meßgeräte gibt den relativen Fehler (prozentuale Abweichung) vom Endwert an. Je geringer der Zeigerausschlag ist, um so größer ist die relative maximale Abweichung. Um diese nicht zu groß werden zu lassen, sollten wir deshalb anstreben, möglichst im 2. Skalendrittel ablesen zu können (siehe Ausführungen zu **TJ 201!**).

Zur Lösung der Aufgabe ist es nötig, zunächst den relativen maximalen Fehler (prozentuale maximale Abweichung) zu ermitteln. Das geschieht mit folgender Formel, die allerdings nicht in der Formelsammlung des Fragenkatalogs enthalten ist:

$$F_W = \pm \frac{G}{100} \cdot \frac{W_E}{W_M}$$

G = Genauigkeitsklasse

W_E = Endwert des Meßbereichs

W_M = abgelesener Wert (Istwert)

F_W = relat. Maximaler Fehler (in %)

$$F_W = \pm \frac{G}{100} \cdot \frac{W_E}{W_M} = \pm \frac{1,5}{100} \cdot \frac{300 \text{ V}}{230 \text{ V}} = \frac{450}{23000} = \pm 0,0196 = \pm 1,96 \%$$

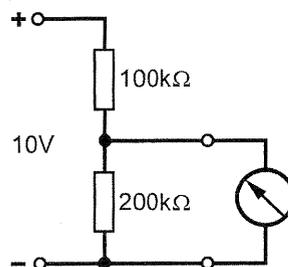
$$U_{\text{min}} = 230 \text{ V} \cdot 0,9804 = 225,45 \text{ V} \approx \underline{\underline{225,5 \text{ V}}}$$

$$U_{\text{max}} = 230 \text{ V} \cdot 1,0196 = 234,51 \text{ V} \approx 234,5 \text{ V}$$

Anmerkung: Wenn Sie nur die Genauigkeitsklasse zugrunde legen, erhalten sie das falsche Ergebnis b).

Lösen Sie nun Aufgabe **TJ 206** nach dem gleichen Schema.

TJ 207 Das an den abgebildeten Spannungsteiler angeschlossene Meßgerät ist auf den 10-V-Bereich eingestellt und hat eine Empfindlichkeit von 20 k Ω /V. Welcher Spannungswert wird angezeigt?



geg.: $U_{\text{ges}} = 10 \text{ V}$, $R_1 = 100 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 200 \text{ k}\Omega$, $E = 20 \text{ k}\Omega/\text{V}$

ges.: U_{Anz}

Die Spannung teilt sich **in Wirklichkeit** 1 : 2 auf. U_2 beträgt demnach **6,67 V**.

Der Innenwiderstand des Meßgerätes beträgt im 10-V-Bereich $10 \text{ V} \cdot 20 \text{ k}\Omega/\text{V} = 200 \text{ k}\Omega$. Dieser Widerstand liegt zu den $200 \text{ k}\Omega$ des R_2 parallel und es ergibt sich ein Gesamtwiderstand von $100 \text{ k}\Omega$. Damit wird die Spannung **während der Messung** nur 1:1 geteilt und wir bekommen **5 V** angezeigt.

Die gegebenen Werte sind so günstig daß eine Rechnung mit der Spannungsteiler-Formel überflüssig ist.

TJ 216 Wenn ein Frequenzzähler für die Überprüfung der Frequenz eines Senders verwendet wird, ist...

ein Träger ohne Modulation zu verwenden. Hier sei an die Existenz von Seitenbändern oder die Frequenzumtastung bei RTTY erinnert.

TJ 218 Ein RTTY-Signal benötigt eine Bandbreite von ± 3 kHz. Ein Frequenzzähler mit einer Genauigkeit von 1 ppm wird für die Prüfung der Frequenzanzeige eines 145-MHz-Senders verwendet. Wie klein darf der Mindestabstand zur oberen Bandgrenze sein, ohne daß die Übertragung gegen die Auflagen verstößt?

geg.: $b = \pm 3$ kHz, $f = 145$ MHz, $F = 1$ ppm

ges.: Sicherheitsabstand

Der Sicherheitsabstand ergibt sich aus der halben Gesamtbandbreite + Meßtoleranz. Der Meßfehler F beträgt 1 ppm = 1 Millionstel von 145 MHz, also einem Millionstel von 145 Millionen Hertz = **145 Hz**. Dazu kommt noch die Bandbreite von **3 kHz**, und so ergibt sich der in Antwort a) vorgegebene Wert von **3,145 kHz**.

Anmerkung: Da offensichtlich ein 2-m-Sender gemeint ist und die obere Bandgrenze 146 MHz beträgt, müßte das Ergebnis aber 3,146 kHz lauten. 145 MHz ist die Eingabefrequenz für den Relaiskanals RV48 (alte Bezeichnung R0) und man würde sich bestimmt den Zorn der Relaisbenutzer zuziehen, wenn man auf die Idee käme, dort Funkfernschreibverkehr zu machen. Gleiches gilt für das Bandende 146 MHz. Laut internationalem Bandplan ist der Bereich 145,8 bis 146,0 MHz dem Funkverkehr über Satelliten vorbehalten. Die Aufgabe ist praxisfremd!

TJ 219 Ein Quarznormal hat einen relativen Fehler von $F \pm 0,001$ %. Wie genau können Sie eine Frequenz von $f = 14100$ kHz bestimmen?

geg.: $f = 14100$ kHz, $F = \pm 0,001$ %

ges.: Δf

$$\Delta f = f \cdot F = 14100 \text{ kHz} \cdot \pm 0,001 \cdot 10^{-2} = \pm 0,141 \text{ kHz} = \underline{\underline{\pm 141 \text{ Hz}}}$$

TJ 224 Zur Überprüfung eines Stehwellenmeßgerätes wird dessen Ausgang mit einem 150- Ω -Widerstand abgeschlossen. Welches Stehwellenverhältnis muß das Meßgerät anzeigen, wenn die Impedanz von Meßgerät und Sender 50 Ω beträgt?

geg.: $Z = 50 \Omega$, $R = 150 \Omega$

ges.: s

$$s = \frac{R}{Z} = \frac{150\Omega}{50\Omega} = \underline{\underline{3:1}}$$

Ähnliche Aufgabenstellungen finden wir bei Aufgaben **TH 221**.

1.11 Störemissionen, Störfestigkeit

1.11.1 Störungen elektronischer Geräte

TK 102 Welche Effekte werden durch Intermodulation hervorgerufen?

Es treten Phantomsignale auf, die bei Einschaltung eines Abschwächers verschwinden. Dieser Abschwächer ist besonders in den Abendstunden auf dem 40- aber auch auf dem 30 m-Band nötig, um auch schwache Signale aufnehmen zu können.

TK 103 Wie kommen Geräusche aus den Lautsprechern einer abgeschalteten Stereoanlage möglicherweise zustande?

Starke HF-Signale können über die häufig ungeschirmten Lautsprecherleitungen in einen NF-Verstärker gelangen und an PN-Übergängen der Endtransistoren gleichgerichtet werden. Sie werden so hörbar.

TK 105 In einem NF-Verstärker erfolgt die unerwünschte Gleichrichtung eines HF-Signals wahrscheinlich...

an einem Basis-Emitter-Übergang. Bekanntlich können wir uns einen Transistor aus zwei Dioden zusammengesetzt vorstellen. Den Basis-Emitter-Übergang können wir als eine solche Diode betrachten. Die anderen als Antwort vorgegebenen Bauteile enthalten keine PN-Übergänge und scheiden deshalb als Lösung aus.

In solchen Fällen hilft oftmals ein kleiner keramischer Kondensator bis etwa 1 nF von der Basis / Schaltkreiseingang des NF-Verstärkers nach Masse. Die Ursache ist sehr häufig mangelnde Einstrahlungsfestigkeit des gestörten Gerätes. Es empfiehlt sich in jedem Fall ein sachliches Gespräch zu führen, denn wir können von unseren Nachbarn nicht erwarten, daß sie auf dem Gebiet der Elektronik bewandert sind.

TK 107 Durch eine Mantelwellendrossel in einem Fernseh-Antennen-Zuführungskabel...

werden Gleichtakt-HF-Störsignale unterdrückt. Solche Kabel gibt es bereits fertig im Fachhandel für Unterhaltungselektronik zu kaufen (erkennbar an den Verdickungen hinter den Steckern). Es gibt aber auch in der Amateurfunkliteratur vielfältige Vorschläge zum Selbstbau.

TK 115 Während des Betriebes eines tragbaren KW-Transceivers mit Batterieversorgung treten zu Hause und unter Verwendung der ortsfesten Antenne bei einer elektronischen Orgel Störungen auf. Eine mögliche Ursache hierfür...

ist unzureichende HF-Erdung. Es reicht nicht, das Gerät schnell an eine Antenne anzuschließen. Bitte setzen Sie bereits zu Beginn der Errichtung Ihrer Amateurfunkanlage die dazu geltenden Bauvorschriften um. Dazu sind ebenfalls im Antennenbuch von Rothammel Ausführungen gemacht. Es ist auch ein Irrglaube, mit der Erdung des Antennenmastes alles getan zu haben. Bitte sehen Sie sich dazu nochmals den Aufbau einer $\lambda/2$ -Umwegleitung an. Das Kabel hat keine Verbindung zum Erder! Gleiches kann bei Antennenübertragern möglich sein. Wo sind KW-Drahtantennen geerdet? Deshalb sind Überspannungsableiter im Kabel Vorschrift (unter Umständen werden Sie begeistert sein, wie ruhig Ihr Computer-Monitor beim Senden plötzlich ist).

TK 121 Bei einem Besuch beim Nachbarn zur Prüfung von Fernsehgrundfunkstörungen ist zunächst...

die Antennenzuleitung vom Fernsehgerät zu trennen, um zu prüfen, ob die Störung über die Antenne oder das Netz kommt.

1.11.2 Ursachen für Störungen

TK 208 Durch welche Maßnahme kann die übermäßige Bandbreite einer 2-m-FM-Übertragung verringert werden?

Durch die Verringerung der Hubeinstellung kann die Bandbreite verringert werden. Da an den Geräten in der Regel aber keine Regler zugänglich sind, bleibt nur leiseres Besprechen des Mikrofons oder ein größerer Mikrofonabstand als Mittel zur Abhilfe.

TK 216 Im 144-MHz-Bereich werden Störungen festgestellt, die von einem quartzesteuerten 432-MHz-Sender verursacht werden, dessen Quarzoszillator bei etwa 12 MHz schwingt. Die Oszillatorfrequenz wird in mehreren Stufen vervielfacht. Bei welcher Kombination tritt die Störung auf.

Zunächst muß bei der Vervielfachung erst einmal eine Frequenz im 2-m-Band entstehen. Das ist bei einer Verzwölfachung mit anschließender Verdreifachung gegeben. Damit fallen schon zwei falsche Antworten weg. Bei Antwort c) beträgt der Faktor 54, was einer Endfrequenz von 648 MHz entspräche. Bleibt also nur noch Antwort a) übrig. Bei Aufgabe **TG 220** beschäftigten uns schon einmal mit der Vervielfachung bei einem 70-cm-Sender.

Alle anderen Aufgaben dieses Abschnitts bedürfen keiner weiteren Erklärung. Sie sind bereits ausreichend beantwortet.

1.11.3 Maßnahmen gegen Störungen

Einleitend zu diesem Abschnitt möchte ich darauf hinweisen, daß es wesentlich einfacher ist, daß der Funkamateurl seine Anlage ordnungsgemäß errichtet und betreibt, statt an irgend welchen Symptomen bei Nachbarn herumzubasteln. Nur in Ausnahmefällen sollten Eingriffe in gestörte Geräte vorgenommen werden.

TK 304 Welches Filter sollte im Störungsfall für die Dämpfung von Kurzwellensignalen in ein Fernsehantennenkabel eingeschleift werden?

Bei einem KW-Sender sorgen wir durch einen Tiefpaß (Collins-Filter) dafür, daß alle Frequenzen oberhalb der Nutzfrequenz gedämpft werden (Aufgaben **TG231**, **TK 303**). Die Frequenzen des Fernsehbereiches liegen im UKW-Bereich. Deshalb müssen wir im Störungsfall einen Hochpaß in die Antennenzuleitung des Fernsehgerätes einschleifen, um den Kurzwellenbereich zu sperren.

Siehe auch Aufgaben **TK 305**, **TK 306**, **TK 310** und **TK 311**!

TK 312 ein Nachbar beschwert sich über Störungen seines Fernsehempfängers, die allerdings auch bei abgeschalteter TV-Antenne auftreten. Die Störungen fallen zeitlich mit den Übertragungszeiten des Funkamateurs zusammen. Als erster Schritt...

ist ein Netzfilter vorzusehen. Diese Netzverdrosselung sollte in erster Linie beim Funkamateurl erfolgen, denn es ist anzunehmen, daß auch noch andere Nachbarn über das Netz gestört werden und wie viele Netzverdrosselungen kann man denn überhaupt realisieren. Auch durch eine räumliche Trennung von HF- und Netzleitungen kann man sich manchen Ärger ersparen (siehe auch Aufgaben **TK 113** und **TK 219**!).

1.12 Elektromagnetische Verträglichkeit und deren Anwendung, Personen- und Sachschutz

1.12.1 Störfestigkeit

TL 103 Ein Sender ist mittels eines kurzen Koaxialkabels an eine Kollinearantenne mit 6 dB Gewinn angeschlossen. Wenn die der Antenne zugeführte Ausgangsleistung auf 5 W verringert wird, treten keine Störungen der Hi-Fi-Anlage des Nachbarn auf. Die Strahlungsleistung entspricht dabei einer ERP von...

geg.: $P_{out} = 5 \text{ W}$, $G = 6 \text{ dB}$

ges.: ERP

Wir müssen hier keine hochtrabenden Berechnungen anstellen, denn wir wissen, daß 6 dB einer Leistungsverstärkung von 4 entsprechen.

Es ergibt sich deshalb die einfache Rechnung: $\underline{4 \cdot 5 \text{ W} = 20 \text{ W}}$.

1.12.2 Schutz von Personen, Nah- und Fernfeld

TL 201 Sie besitzen einen Vertikalstrahler mit einem Gewinn von 5,16 dBi. Da Sie für diese Antenne keine Selbsterklärung abgeben möchten und somit nur eine Strahlungsleistung von $<10 \text{ W}$ EIRP verwenden dürfen, müssen Sie die Sendeleistung soweit reduzieren, daß Sie unter diesem Wert bleiben. Wie groß darf die Sendeleistung dabei sein?

geg.: EIRP = 10 W, $G = 5,16 \text{ dBi}$

ges.: P_{out}

$$\frac{EIRP}{P_{out}} = 10^{\frac{G}{10}} \Rightarrow P_{out} \cdot 10^{\frac{G}{10}} = EIRP$$

$$\Rightarrow P_{out} = \frac{EIRP}{10^{\frac{G}{10}}} = \frac{10 \text{ W}}{10^{\frac{5,16}{10}}} = \frac{10 \text{ W}}{10^{0,516}} = \frac{10 \text{ W}}{3,281} = 3,047 \approx \underline{3 \text{ W}}$$

TL 202 Eine Amateurfunkstelle sendet in FM mit einer äquivalenten Strahlungsleistung (ERP) von 100 W. Wie groß ist die Feldstärke im freien Raum in einer Entfernung von 100 m?

geg.: ERP = 100 W, $r = 100 \text{ m}$

ges.: E

Es macht sich notwendig, in einer Nebenrechnung ERP in EIRP umzuformen.

$$100 \text{ W}_{ERP} = 100 \cdot 10^{0,215} \text{ W}_{EIRP} = 100 \cdot 1,644 \text{ W}_{EIRP} = \underline{164 \text{ W}}$$

$$E = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{EIRP}}}{r}$$

$$= \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot 164 \text{ W}}}{100 \text{ m}} = \frac{\sqrt{4920 \text{ V}^2}}{100 \text{ m}} = \frac{70,14 \text{ V}}{100 \text{ m}} = 0,7014 \text{ V/m} \approx \underline{0,7 \text{ V/m}}$$

TL 203 Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle für das 20-m-Band und die Betriebsart RTTY berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben einen Dipol, der von einem Sender mit einer Leistung von 700 W über ein Koaxkabel gespeist wird. Die Kabeldämpfung beträgt 0,5 dB. Wie groß ist der Sicherheitsabstand?

geg.: $P_{\text{out}} = 700 \text{ W}$, $D_{\text{Kabel}} = 0,5 \text{ dB}$, $G_{\text{Ant}} = 2,16 \text{ dBi}$, $E = 28 \text{ V/m}$ ges.: r

Die gewählte Sendart ist RTTY. Es handelt sich um ein Frequenzumtastungs-Verfahren. Dabei strahlt der Sender immer (im Gegensatz zu SSB oder CW) mit konstanter Leistung. Der Faktor für den modifizierten Personenschutz ist somit 1. Es ergeben sich also bei der Berechnung keine Besonderheiten.

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}}}{r} \Rightarrow E \cdot r = \sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}} \Rightarrow r = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}}}{E}$$

$$r = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot (700\text{W} + (2,16 - 0,5)\text{dB})}}{28\text{Vm}^{-1}} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot (700\text{W} + 1,66\text{dB})m}}{28\text{V}} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot 700\text{W} \cdot 1,466m}}{28\text{V}}$$

$$= \frac{\sqrt{30\Omega \cdot 1026\text{W}m}}{28\text{V}} = \frac{\sqrt{30780m}}{28} = \frac{175,44m}{28} = 6,266 \text{ m} \approx \underline{\underline{6,3 \text{ m}}}$$

TL 204 Sie möchten den Personenschutz-Sicherheitsabstand für die Antenne Ihrer Amateurfunkstelle für das 2-m-Band und die Betriebsart FM berechnen. Der Grenzwert im Fall des Personenschutzes beträgt 28 V/m. Sie betreiben eine Yagi-Antenne mit einem Gewinn von 10,5 dB. Die Antenne wird von einem Sender mit einer Leistung von 100 W über ein Koaxkabel gespeist wird. Die Kabeldämpfung beträgt 1,5 dB. Wie groß ist der Sicherheitsabstand?

geg.: $P_{\text{out}} = 100 \text{ W}$, $D_{\text{Kabel}} = 1,5 \text{ dB}$, $G_{\text{Ant}} = 10,5 \text{ dBd}$, $E = 28 \text{ V/m}$ ges.: r

Die gewählte Sendart ist FM. Dabei strahlt der Sender immer mit konstanter Leistung. Die Aufgabe entspricht etwa der vorherigen. Es wird hier aber die effektive isotrope Strahlungsleistung EIRP in einer Nebenrechnung zu Beginn ermittelt und dann in die bekannte Formel eingesetzt.

$$P_{\text{EIRP}} = P_{\text{out}} + G - D = 100\text{W} + (10,5\text{dBd} + 2,16\text{dB}) - 1,5\text{dB}$$

$$= 100\text{W} + 11,16\text{dB} = 100\text{W} \cdot 10^{1,116} = 100\text{W} \cdot 13,06 = \underline{\underline{1306 \text{ W}}}$$

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}}}{r} \Rightarrow r = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}}}{E} = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot 1306\text{W}}}{28\text{Vm}^{-1}}$$

$$= \frac{\sqrt{39180m}}{28} = \frac{197,9m}{28} = 7,068 \text{ m} \approx \underline{\underline{7,1 \text{ m}}}$$

Lösen Sie nun die Aufgabe **TL 205** selbständig

TL 209 Für Ihre Yagiantenne, die auf einem hohen Mast aufgehängt ist, beträgt der Sicherheitsabstand in Hauptstrahlrichtung 20 m. Da die Antenne jedoch über gefährdete Orte hinweg strahlt, dringt nur ein Teil des Feldes in den kritischen Bereich unterhalb der Antenne. Sie ermitteln einen kritischen Winkel von 40° und sehen im Strahlungsdiagramm der Antenne eine Winkeldämpfung von 6 dB. Auf welchen Wert verringert sich dann der Sicherheitsabstand?

geg.: $r = 20 \text{ m}$, $D_{\text{Winkel}} = 6 \text{ dB}$ ges.: r_{neu}

Die Feldstärke wird in V/m gemessen. Folglich ist die dB-Formel für das Spannungsverhältnis anzuwenden. Danach entsprechen 6 dB einem Verhältnis von 2 : 1. Folglich halbiert sich auch der Sicherheitsabstand.

$$r_{\text{neu}} = r : 2 = 20 \text{ m} : 2 = \underline{\underline{10 \text{ m}}}$$

TL 212 Sie betreiben eine Amateurfunkstelle auf dem 2-m-Band mit einer Rundstrahlantenne mit 6 dB über Dipol. Wie hoch darf die maximale Ausgangsleistung Ihres Senders unter Vernachlässigung der Kabeldämpfung sein, Wenn der Grenzwert für den Personenschutz 28 V/m und der zur Verfügung stehende Sicherheitsabstand 5 m beträgt?

geg.: $r = 5 \text{ m}$, $G_{\text{Ant}} = 6 \text{ dB}$, $D_{\text{Kabel}} = 0 \text{ dB}$, $E = 28 \text{ V/m}$ ges.: P_{out}

$$E = \frac{\sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}}}{r} \Rightarrow E \cdot r = \sqrt{30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}} \Rightarrow E^2 \cdot r^2 = 30\Omega \cdot P_{\text{EIRP}}$$

$$\Rightarrow P_{\text{EIRP}} = \frac{E^2 \cdot r^2}{30\Omega} = \frac{(28 \text{ V/m})^2 \cdot (5 \text{ m})^2}{30 \frac{\text{V}}{\text{A}}} = \frac{28^2 \text{ V}^2 \text{ m}^{-2} \cdot 5^2 \text{ m}^2 \cdot \text{A}}{30 \text{ V}}$$

$$\Rightarrow \frac{784 \text{ V} \cdot 25 \text{ A}}{30} = \frac{19600 \text{ VA}}{30} = 653 \text{ W}$$

$$P_{\text{out}} = P_{\text{EIRP}} - (G_{\text{Ant}} + 2,16 \text{ dB} - D_{\text{Kabel}}) = 653 \text{ W} - (6 \text{ dB} + 2,16 \text{ dB} - 0 \text{ dB})$$

$$= 653 \text{ W} - 8,16 \text{ dB} = \frac{653 \text{ W}}{10^{0,816}} = \frac{653 \text{ W}}{6,546} = 99,8 \text{ W} \approx \underline{100 \text{ W}}$$

TL 213 Muß ein Funkamateurl als Betreiber einer ortsfesten 2-m-Amateurfunkstelle bei der Sendeleistung von 6 Watt an einer 15-Element-Yagi-Antenne mit 13 dB Gewinn die Einhaltung der Personenschutzgrenzwerte nachweisen?

Der Nachweis der Personenschutzgrenzwerte, ist bei einer isotropen Strahlungsleistung (EIRP) von mehr als 10 Watt vorgeschrieben. Deshalb ist es von Interesse, welche EIRP im vorliegenden Fall entsteht. Es ist folglich zu errechnen:

$$P_{\text{EIRP}} = P_{\text{out}} + 2,16 \text{ dB} + G_{\text{Ant}} = 6 \text{ W} + 2,16 \text{ dB} + 13 \text{ dB} = 6 \text{ W} + 15,16 \text{ dB} = 6 \text{ W} \cdot 10^{1,516} = 6 \text{ W} \cdot 32,8$$

$$6 \text{ W} \cdot 32,8 = \underline{197 \text{ W}}$$

Diese Strahlungsleistung liegt ja wohl sehr weit über dem Limit, da hilft auch keine Diskussion über Kabelverluste und Existenz von Steckverbindungen!

Wenn man weiß, daß der Gewinn eines Dipols bei etwa 2,16 dB liegt (gilt auch für $\lambda/4$ -Stabantennen), was einem Leistungsverhältnis von 1,64 : 1 entspricht, kommt man schon mit dieser einfachen Antenne auf $6 \text{ W} \cdot 1,64 = 9,84 \text{ W}$ EIRP und liegt gerade an der Grenze des Erlaubten. Diese Rechnung sollte man unbedingt in der Ausbildung zur Klasse 3 vermitteln.

TL 215 Herzschrittmacher können durch die Aussendungen einer Amateurfunkstelle beeinflusst werden. Gibt es einen zeitlichen Grenzwert für die Einwirkdauer?

Diesen Grenzwert kann es nicht geben. Wenn eine bestimmte Feldstärke überschritten wird, ist eine sofortige Fehlfunktionen der Elektronik des Herzschrittmachers möglich und es kann damit zu einer Gefahrensituation für den Träger des Herzschrittmachers kommen.

1.12.3 Sicherheit

TL 304 Welche Sicherheitsmaßnahmen müssen zum Schutz gegen atmosphärische Überspannungen und zur Verhinderung von Spannungsunterschieden bei Koaxialkabel-Niederführungen ergriffen werden?

Durch Wettereinfluß kann es zu Aufladungen kommen, die bis zur Funkenbildung und hörbaren Überschlägen führen können. Um diese Spannungen abzuleiten, sind die Abschirmungen aller (!) Koaxialkabel mit Erde zu verbinden. Es ist nicht ausreichend, daß der Antennenmast und damit die Antenne mit einem Erder verbunden sind. Durch Anpaßschaltungen wie Übertrager und Umwegleitungen haben die Kabel oftmals gar keine Erdverbindung. Drahtantennen, wie sie auf Kurzwelle üblich sind, können durch ihren Aufbau ebenfalls keine Verbindung zu einem Erder haben.

Deshalb ist vor der Einführung der Kabel in das Gebäudeinnere über einen Potentialausgleich die Verbindung der Abschirmungen mit Erde herzustellen. Durch den Einsatz von Überspannungsableitern, mit einer normgerechten Verbindung zur Erdleitung, läßt sich diese Forderung konstruktiv leicht umsetzen.

TL 305 Welche der Antworten a bis d enthält die normgerechten Adernkennfarben von 3-adrigen, isolierten Wechselstromleitungen und -kabeln in der Abfolge: Schutzleiter, Phase, Mittelpunktsleiter?

Der Schutzleiter (grün/gelb) hat stromlos zu sein. Das bedeutet, daß er nicht zur Funktion von Geräten mit genutzt werden darf. Er dient ausschließlich zum Schutz vor gefährlichen Strömen.

Für die Phase ist schwarz (braun bei ortsveränderlichen Verbrauchern) zu wählen und für den Mittelpunktsleiter (allgemein als Null bezeichnet) blau zu benutzen.

Diese Festlegungen sind unbedingt einzuhalten, um Unfälle durch elektrischen Strom zu vermeiden. Im Straßenverkehr nennt man das Vertrauensgrundsatz.

Größenordnungen

Mega	Million	M	10^6	1M = 1000 k	1.000.000
Kilo	Tausend	k	10^3		1.000
Dezi	Zehntel	d	10^{-1}	1d = 10 c = 100 m	0,1
Centi	Hundertstel (Prozent)	c	10^{-2}	1c = 10 m	0,01
Milli	Tausendstel	m	10^{-3}	1m = 1000 μ	0,001
Mikro	Millionstel	μ	10^{-6}	1 μ = 1000 n	0,000 001
Nano	Milliardstel	n	10^{-9}	1 n = 1000 p	0,000 000 001
Piko	Billionstel	p	10^{-12}		0,000 000 000 001

Wichtige Formeln

Achtung! Diese Formelsammlung ist nicht identisch mit der, die Ihnen bei der Prüfung zur Verfügung steht. Es wurden hier zusätzliche Formeln sowie Formelumstellungen aufgenommen.

Ohmsches Gesetz: $U = R \cdot I$ $R = \frac{U}{I}$ $I = \frac{U}{R}$

Leistung: $P = U \cdot I$ $\rightarrow I = \frac{U}{R}$ $\rightarrow P = \frac{U^2}{R}$
 $\rightarrow U = R \cdot I$ $\rightarrow P = R \cdot I^2$

Effektivspannung: $U_{eff} = U_s \cdot \sqrt{1/2} = U_s \cdot 0,707$
 $U_s = U_{eff} \cdot \sqrt{2} = U_{eff} \cdot 1,414$
 $U_{ss} = 2 \cdot U_s \rightarrow U_{eff} = \frac{U_{ss}}{2} \cdot \sqrt{1/2} = \frac{U_{ss}}{2} \cdot 0,707$

Parallelschaltung von Widerständen (Induktivitäten):

$$\frac{1}{R_{ges}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

Parallelschaltung von 2 Widerständen (Induktivitäten):

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} \quad L_{ges} = \frac{L_1 \cdot L_2}{L_1 + L_2}$$

Parallelschaltung von 3 Widerständen (Induktivitäten):

$$R_{ges} = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3} \quad L_{ges} = \frac{L_1 \cdot L_2 \cdot L_3}{L_1 \cdot L_2 + L_2 \cdot L_3 + L_1 \cdot L_3}$$

Reihenschaltung von 2 Kapazitäten:

$$C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Reihenschaltung von 3 Kapazitäten:

$$C_{ges} = \frac{C_1 \cdot C_2 \cdot C_3}{C_1 \cdot C_2 + C_2 \cdot C_3 + C_1 \cdot C_3}$$

Widerstand von Drähten: $R = \frac{\rho \cdot l}{A}$

Kreisfläche: $A = r^2 \cdot \pi = \frac{d^2}{4} \cdot \pi$

$$\rho_{Cu} = 0,0178 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

$$\rho_{Al} = 0,030 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

$$\rho_{Fe} = 0,17 \frac{\Omega \cdot mm^2}{m}$$

Spannungsteilung:

$$\frac{U_2}{U_{ges}} = \frac{R_2}{R_{ges}} \Rightarrow U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{ges}$$

Stromteilung:

$$\frac{I_1}{I_{ges}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Elektrische Feldstärke:

$$E = \frac{U}{d} \quad d = \text{Plattenabstand}$$

Feldstärke im Fernfeld einer Antenne:

$$E = \frac{\sqrt{30 \Omega \cdot P_{EIRP}}}{r} \quad P_{EIRP} = \text{äquivalente isotrope Strahlungsleistung}$$

Magnetische Feldstärke:

$$H = \frac{I \cdot n}{l_m} \quad l_m = \text{mittlere Feldlinienlänge}$$

Induktivität einer Spule:

$$L = \frac{\mu_0 \cdot \mu_r \cdot n^2 \cdot A}{l_m}$$

Induktivität von Schalenkernspulen:

$$L = n^2 \cdot A_L \quad n = \sqrt{\frac{L}{A_L}}$$

Magnetische Flußdichte:

$$B = \mu_r \cdot \mu_0 \cdot H \quad \mu_0 = \frac{4\pi \cdot Vs}{10^7 Am} \approx 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m}$$

Kapazität eines Kondensators:

$$C = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \cdot \frac{A}{d} \quad \epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

Luft: $\epsilon_r \approx 1$

Polyäthylen (PE) $\epsilon_r \approx 2,29$

Teflon $\epsilon_r \approx 2,0$

Kapazitiver Blindwiderstand: $x_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{\omega \cdot C}$

Kreisfrequenz: $\omega = 2\pi \cdot f$

Induktiver Blindwiderstand: $x_L = 2\pi \cdot f \cdot L = \omega \cdot L$

Wellenwiderstand eines Koaxkabels: $Z = \frac{60\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d}$

D = Außenleiter-Durchmesser
d = Innenleiter-Durchmesser

Wellenwiderstand einer Zweidrahtleitung: $Z = \frac{120\Omega}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{2 \cdot a}{d}$

a = Abstand der Leiter
d = Durchmesser der Leiter

Frequenz $f = \frac{1}{t}$

Wellenlänge $\lambda = c \cdot f$

Schwingungsdauer: $t = \frac{1}{f} = f^{-1} \rightarrow f = \left[\frac{1}{s} \right]$ bzw. $[s^{-1}]$

Thomsonsche Schwingungsformel: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot C}} \rightarrow L = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot C}$

$\rightarrow C = \frac{1}{(2\pi \cdot f)^2 \cdot L}$

Grenzfrequenz von RC-Hoch- und Tiefpässen:

$f_g = \frac{1}{2\pi RC}$

Zeitkonstante: $\tau = R \cdot C$

Schwingkreisgüte: $Q = \frac{f_0}{b} = \frac{R_p}{x_L} = \frac{x_L}{R_s}$

f_0 = Resonanzfrequenz d. Schwingkreises

R_p = paralleler Verlustwiderstand

b = 3dB-Bandbreite d. Schwingkreises

R_s = serieller Verlustwiderstand

Transformatoren, Übertrager:

$\ddot{u} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \sqrt{\frac{Z_1}{Z_2}}$

Gewinn, Dämpfung in Dezibel:

$D = 20 \cdot \lg \frac{U_1}{U_2} = 20 \cdot \lg \frac{I_1}{I_2} = 10 \cdot \lg \frac{P_1}{P_2}$

$\rightarrow \frac{U_1}{U_2} = 10^{\frac{D}{20}} \quad \frac{I_1}{I_2} = 10^{\frac{D}{20}} \quad \frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{D}{10}}$

ERP / EIRP:

$$P_{ERP} = P_{out} + G - D$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} + 2,16dB = P_{out} + G_i - D = P_{out} + (G + 2,16dB) - D$$

- P_{out} = Sender-Ausgangsleistung
- G = Gewinn auf Dipol bezogen
- G_i = Gewinn auf Isotropstrahler bezogen
- D = Dämpfungsverluste

Meßbereichserweiterung:

Spannungsmesser:

$$R_V = \frac{U - U_M}{I_M} = R_M (n - 1) = \frac{U_M}{I_M} (n - 1)$$

Strommesser:

$$R_P = \frac{R_M \cdot I_M}{I - I_M} = \frac{R_M}{n - 1}$$

- n = Erweiterungsfaktor
- U = neuer Spannungsmeßbereich
- U_M = Spannungsmeßbereich des Instruments
- I = neuer Strommeßbereich
- I_M = Strom bei Vollausschlag des Instruments
- R_V = Vorwiderstand
- R_p = Parallelwiderstand (Shunt)

Umrechnung in Dezibel

Leistungsverhältnis: $V_P = 10 \cdot \log \frac{P_1}{P_2} \rightarrow \frac{P_1}{P_2} = 10^{\frac{V_P}{10}}$

Spannungsverhältnis: $V_U = 20 \cdot \log \frac{U_1}{U_2} \rightarrow \frac{U_1}{U_2} = 10^{\frac{V_U}{20}}$

Stromverhältnis: $V_I = 20 \cdot \log \frac{I_1}{I_2} \rightarrow \frac{I_1}{I_2} = 10^{\frac{V_I}{20}}$

Pegel	Leistungsverhältnis			Spannungs-/Stromverhältnis		
	1/100.000.000	0,000 000 01	10^{-8}	1/10.000	0,000 1	10^{-4}
-80 dB	1/100.000.000	0,000 000 01	10^{-8}	1/10.000	0,000 1	10^{-4}
-70 dB	1/10.000.000	0,000 000 1	10^{-7}			
-60 dB	1/1.000.000	0,000 001	10^{-6}	1/1.000	0,001	10^{-3}
-50 dB	1/100.000	0,000 01	10^{-5}			
-40 dB	1/10.000	0,000 1	10^{-4}	1/100	0,01	10^{-2}
-30 dB	1/1.000	0,001	10^{-3}			
-20 dB	1/100	0,01	10^{-2}	1/10	0,1	10^{-1}
-10 dB	1/10	0,1	10^{-1}			
-6 dB	¼	0,25		½	0,5	
-3 dB	½	0,5		$\sqrt{1/2}$	0,707	
0 dB	1/1	1		1/1	1	
3 dB	2			$\sqrt{2}$	1,414	
6 dB	4			$(\sqrt{2} \cdot \sqrt{2})$	2	
10 dB	10/1					
20 dB	100/1		10^2	10/1		
30 dB	1.000/1		10^3			
40 dB	10.000/1		10^4	100/1		10^2
50 dB	100.000/1		10^5			
60 dB	1.000.000/1		10^6	1.000/1		10^3
70 dB	10.000.000/1		10^7			
80 dB	100.000.000/1		10^8	10.000/1		10^4

Beispiele:

Spannungsverhältnis von 9 dB = 6 dB + 3 dB = $2 \cdot \sqrt{2} = 2 \cdot 1,414 = \underline{2,828}$

Spannungsverhältnis von 57 dB = 60 dB - 3 dB = $1000 \cdot \sqrt{\frac{1}{2}} = 1000 \cdot 0,707 = \underline{707}$

Spannungsverhältnis von 23 dB = 20 dB + 3 dB = $10 \cdot \sqrt{2} = 10 \cdot 1,414 = \underline{14,14}$

Leistungsverhältnis von 9 dB = 3 dB + 3 dB + 3 dB = $2 \cdot 2 \cdot 2 = \underline{8}$

Leistungsverhältnis von 57 dB = 60 dB - 3 dB = $1.000.000 : 2 = \underline{500.000}$

Leistungsverhältnis von 23 dB = 20 dB + 3 dB = $100 \cdot 2 = \underline{200}$

ERP / EIRP:

$$P_{ERP} = P_{out} + G - D$$

$$P_{EIRP} = P_{ERP} + 2,16dB = P_{out} + G_i - D = P_{out} + (G + 2,16dB) - D$$

- P_{out} = Sender-Ausgangsleistung
- G = Gewinn auf Dipol bezogen
- G_i = Gewinn auf Isotropstrahler bezogen
- D = Dämpfungsverluste

Meßbereichserweiterung:

Spannungsmesser:

$$R_V = \frac{U - U_M}{I_M} = R_M (n - 1) = \frac{U_M}{I_M} (n - 1)$$

Strommesser:

$$R_p = \frac{R_M \cdot I_M}{I - I_M} = \frac{R_M}{n - 1}$$

- n = Erweiterungsfaktor
- U = neuer Spannungsmeßbereich
- U_M = Spannungsmeßbereich des Instruments
- I = neuer Strommeßbereich
- I_M = Strom bei Vollausschlag des Instruments
- R_V = Vorwiderstand
- R_p = Parallelwiderstand (Shunt)

Abkürzungen in Formeln

(Auswahl, soweit nicht direkt bei den Formeln erwähnt)

A	Querschnitt, Fläche
A_L	Induktivitätsfaktor (A_L -Wert) meist in nH / Windung ²
b	3-dB-Bandbreite
C	Kapazität
c	Lichtgeschwindigkeit
D	Verstärkung (Dämpfung) in dB
E	elektrische Feldstärke in V/m
I	Strom
f	Frequenz, allg.
f_g	Grenzfrequenz
f_0	Resonanzfrequenz
L	Induktivität
l	Länge
n	Anzahl d. Windungen
P	Leistung
Q	Güte
R	Widerstand
T	Schwingungsdauer
t	Zeit
U	Spannung
U_{eff}	Effektivspannung
U_s	Spitzenspannung
U_{ss}	Spannung Spitze-Spitze
Z	Scheinwiderstand, komplexer Widerstand (z.B. Fußpunktwiderstand, Wellenwiderstand)
ϵ_0	elektrische Feldkonstante

$$\epsilon_0 \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm}$$

λ	Wellenlänge
x_C	kapaz. Blindwiderstand
x_L	indukt. Blindwiderstand
π	Konstante ($\approx 3,14$)
ρ	spez. Widerstand
τ	Zeitkonstante
μ_0	magnetische Feldkonstante

$$\mu_0 = \frac{4\pi \cdot Vs}{10^7 Am} \approx 1,2566 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m}$$

μ_r	relative Permeabilität (Permeabilitätskonstante)
ω	Kreisfrequenz

Antwortbogen fachliche Prüfung für Funkamateure Klasse 2

Prüfungsteil	Prüfungsdauer	Anzahl der Fragen
Technische Kenntnisse	<input type="checkbox"/> 90 Minuten	50
Betriebliche Kenntnisse	<input type="checkbox"/> 60 Minuten	40
Kenntnisse von Vorschriften	<input type="checkbox"/> 60 Minuten	40

Nummer des Prüfungsbogens: _____
 Name _____
 Vorname _____
 Ort / Datum _____

Hinweise zur Prüfung

- Benutzen Sie für die Beantwortung der Fragen nur diesen Antwortbogen. Kreuzen Sie oben den jeweils von Ihnen bearbeiteten Prüfungsteil an, und geben Sie die Nummer des Prüfungsbogens und Ihren Namen und Vornamen an.
- Bitte lesen und überdenken Sie jede Frage sorgfältig, bevor Sie eine Antwort ankreuzen. Für die Beantwortung der Fragen steht Ihnen die oben für den jeweiligen Prüfungsteil angegebene Prüfungsdauer zur Verfügung.
- Zu jeder Frage werden 4 Antworten vorgegeben, von denen **immer nur eine richtig** ist. Kennzeichnen Sie in der nebenstehenden Tabelle, in der der Fragennummer entsprechenden Zeile, das Feld unter dem entsprechenden Buchstaben mit einem Kreuz. Verwenden Sie dazu nur Kugel- oder Tintenschreiber.
- Wird keine oder mehr als eine Antwort je Frage im Antwortbogen angekreuzt, so gilt diese Frage als falsch beantwortet. Soll eine bereits angekreuzte Antwort korrigiert werden, so ist die falsch angekreuzte Antwort durch eine horizontalen Doppelstrich (=) durchzustreichen und die richtige Antwort anzukreuzen. Soll eine solche falsch markierte Antwort wieder als richtig gelten, so ist das Kreuz mit Doppelstrich zu unterpunktieren(==).
- Jede richtig beantwortete Frage zählt beim Prüfungsteil "Technische Kenntnisse" 2 Punkte und bei den Prüfungsteilen "Betriebliche Kenntnisse" und "Kenntnisse von Vorschriften" 2,5 Punkte. Um die Prüfung zu bestehen, müssen 75 Punkte erreicht werden. Werden 70 Punkte erreicht, kann eine mündliche Nachprüfung erfolgen.

Antworten

Frage	A	B	C	D
1 TA103			X	
2 TA105				X
3 TA109			X	
4 TA116	X			
5 TA120		X		
6 TA122		X		
7 TB102				X
8 TB106	X			
9 TB110			X	
10 TB202		X		
11 TB204			X	
12 TB209	X			
13 TB211			X	
14 TB302				X
15 TB402		X		
16 TB406				X
17 TB501	X			
18 TB512				X
19 TB516			X	
20 TB603		X		
21 TB607		X		
22 TB616			X	
23 TB701		X		
24 TB803				X
25 TB803	X			
26 TB921			X	
27 TC104	X			
28 TC205			X	
29 TC212			X	
30 TC310	X			
31 TC405			X	
32 TC503			X	
33 TC505				X
34 TC511				X
35 TC604				X
36 TC615	X			
37 TD108			X	
38 TD111	X			
39 TD117		X		
40 TD509			X	
41 TE203		X		
42 TE303		X		
43 TF105	X			
44 TG112		X		
45 TG211		X		
46 TH213				X
47 TI211			X	
48 TJ228	X			
49 TK108			X	
50 TL213			X	

Ergebnisse	
Erreichte Punktzahl:	Technik x 2,0 =
	Betrieb/Vorschriften x 2,5 =
Mündliche Nachprüfung:	ausreichend <input type="checkbox"/> nicht ausreichend <input type="checkbox"/>
Prüfungsteil bestanden:	ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>
Unterschrift des Prüfers, Datum _____	

Antwortbogen fachliche Prüfung für Funkamateure Klasse 2

Prüfungsteil	Prüfungsdauer	Anzahl der Fragen
Technische Kenntnisse	<input type="checkbox"/> 90 Minuten	50
Betriebliche Kenntnisse	<input type="checkbox"/> 60 Minuten	40
Kenntnisse von Vorschriften	<input type="checkbox"/> 60 Minuten	40

Nummer des Prüfungsbogens: _____
 Name _____
 Vorname _____
 Ort / Datum _____

Hinweise zur Prüfung

- Benutzen Sie für die Beantwortung der Fragen nur diesen Antwortbogen. Kreuzen Sie oben den jeweils von Ihnen bearbeiteten Prüfungsteil an, und geben Sie die Nummer des Prüfungsbogens und Ihren Namen und Vornamen an.
- Bitte lesen und überdenken Sie jede Frage sorgfältig, bevor Sie eine Antwort ankreuzen. Für die Beantwortung der Fragen steht Ihnen die oben für den jeweiligen Prüfungsteil angegebene Prüfungsdauer zur Verfügung.
- Zu jeder Frage werden 4 Antworten vorgegeben, von denen **immer nur eine richtig** ist. Kennzeichnen Sie in der nebenstehenden Tabelle, in der der Fragenummer entsprechenden Zeile, das Feld unter dem entsprechenden Buchstaben mit einem Kreuz. Verwenden Sie dazu nur Kugel- oder Tintenschreiber.
- Wird keine oder mehr als eine Antwort je Frage im Antwortbogen angekreuzt, so gilt diese Frage als falsch beantwortet. Soll eine bereits angekreuzte Antwort korrigiert werden, so ist die falsch angekreuzte Antwort durch eine horizontalen Doppelstrich (=) durchzustreichen und die richtige Antwort anzukreuzen. Soll eine solche falsch markierte Antwort wieder als richtig gelten, so ist das Kreuz mit Doppelstrich zu unterpunktieren(=)).
- Jede richtig beantwortete Frage zählt beim Prüfungsteil "Technische Kenntnisse" 2 Punkte und bei den Prüfungsteilen "Betriebliche Kenntnisse" und "Kenntnisse von Vorschriften" 2,5 Punkte. Um die Prüfung zu bestehen, müssen 75 Punkte erreicht werden. Werden 70 Punkte erreicht, kann eine mündliche Nachprüfung erfolgen.

Antworten

Frage	A	B	C	D
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				

Ergebnisse	
Erreichte Punktzahl:	Technik x 2,0 =
	Betrieb/Vorschriften x 2,5 =
Mündliche Nachprüfung:	ausreichend <input type="checkbox"/> nicht ausreichend <input type="checkbox"/>
Prüfungsteil bestanden:	
ja <input type="checkbox"/> nein <input type="checkbox"/>	
_____ Unterschrift des Prüfers, Datum	

Prüfungstest Technische Kenntnisse

1. **Welche Einheit wird für die magnetische Feldstärke verwendet?** (TA103)
 - a) Amperemeter (Am).
 - b) Henry pro Meter (H/m).
 - c) Ampere pro Meter (A/m).
 - d) Tesla (T).

2. **Die Einheit "Siemens" wird verwendet für die Angabe** (TA105)
 - a) der Impedanz einer Leitung.
 - b) des Ohmschen Widerstands.
 - c) der magnetischen Feldstärke.
 - d) des Leitwertes eines Widerstands.

3. **Ein Spannungsverhältnis von 15 entspricht** (TA109)
 - a) 11,7 dB.
 - b) 47 dB.
 - c) 23,5 dB.
 - d) 52 dB.

4. **Die Periodendauer von 50 μ s entspricht einer Frequenz von** (TA116)
 - a) 20 kHz.
 - b) 200 kHz.
 - c) 20 MHz.
 - d) 2 MHz.

5. **Die digitale Anzeige eines Senders hat eine Anzeigegenauigkeit von 10 ppm. Sie zeigt die Sendefrequenz von 14,250000 MHz an. In welchen Grenzen kann sich die tatsächliche Frequenz bewegen?** (TA120)
 - a) Zwischen 14,249998575 und 14,250001425 MHz.
 - b) Zwischen 14,2498575 und 14,2501425 MHz.
 - c) Zwischen 14,248575 und 14,251425 MHz.
 - d) Zwischen 14,24998575 und 14,25001425 MHz.

6. **Der Verkürzungsfaktor ist** (TA122)
 - a) die Wurzel aus dem Verhältnis von Induktivität zur Kapazität eines Leiters.
 - b) das Verhältnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit entlang eines Leiters zur Vakuumlichtgeschwindigkeit.
 - c) das Verhältnis von Durchmesser zur Länge eines Leiters.
 - d) das Verhältnis des Wellen- bzw. des Strahlungswiderstandes zum Feldwellenwiderstand des freien Raumes.

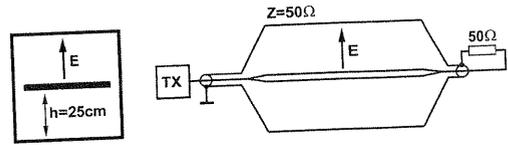
7. **Was verstehen Sie unter Halbleitermaterialien?** (TB102)
- a) Einige Stoffe wie z.B. Indium oder Magnesium sind in reinem Zustand gute Isolatoren. Durch geringfügige Zusätze von Silizium, Germanium oder geeigneten anderen Stoffen werden sie jedoch zu Leitern.
 - b) Einige Stoffe (z.B. Silizium, Germanium) sind in trockenem Zustand gute Elektrolyten. Durch geringfügige Zusätze von Wismut oder Tellur kann man daraus entweder N-leitendes- oder P-leitendes Material für Anoden bzw. Kathoden von Halbleiterbauelementen herstellen.
 - c) Einige Stoffe (z.B. Silizium, Germanium) sind in reinem Zustand gute Leiter. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen nimmt jedoch ihre Leitfähigkeit ab.
 - d) Einige Stoffe (z.B. Silizium, Germanium) sind in reinem Zustand gute Isolatoren. Durch geringfügige Zusätze von geeigneten anderen Stoffen werden sie jedoch zu Leitern.
8. **P-dotiertes Halbleitermaterial hat** (TB106)
- a) Löcher, in denen sich Elektronen befinden könnten.
 - b) fehlende Atome.
 - c) zu viele Elektronen.
 - d) frei bewegliche Defektatome.
9. **Zwischen den Enden eines Kupferkabels mit einem Querschnitt von $0,5 \text{ mm}^2$ messen Sie einen Widerstand von $1,5 \text{ Ohm}$. Wie lang ist das Kabel?** (TB110)
- a) 168,5 m
 - b) 25,3 m
 - c) 42,1 m
 - d) 4,2 m
10. **Welche Grundfrequenz hat die Ausgangsspannung eines Vollweggleichrichters, der an eine 50-Hz-Versorgung angeschlossen ist?** (TB202)
- a) 200 Hz.
 - b) 100 Hz.
 - c) 50 Hz.
 - d) 25 Hz.
11. **Welche Eigenschaften sollten Strom- und Spannungsquellen aufweisen?** (TB204)
- a) Spannungsquellen sollten einen möglichst hohen Innenwiderstand und Stromquellen einen möglichst niedrigen Innenwiderstand haben.
 - b) Strom- und Spannungsquellen sollten einen möglichst niedrigen Innenwiderstand haben.
 - c) Spannungsquellen sollten einen möglichst niedrigen Innenwiderstand und Stromquellen einen möglichst hohen Innenwiderstand haben.
 - d) Strom- und Spannungsquellen sollten einen möglichst hohen Innenwiderstand haben.
12. **Die Leerlaufspannung einer Spannungsquelle beträgt $5,0 \text{ V}$. Schließt man einen Belastungswiderstand mit $1,2 \text{ }\Omega$ an, so geht die Klemmenspannung der Spannungsquelle auf $4,8 \text{ V}$ zurück. Wie hoch ist der Innenwiderstand der Spannungsquelle?** (TB209)
- a) $0,05 \text{ }\Omega$.
 - b) $0,2 \text{ }\Omega$.
 - c) $0,25 \text{ }\Omega$.
 - d) $8,2 \text{ }\Omega$.

13. In welchem Zusammenhang müssen Innenwiderstand R_i und Lastwiderstand R_L stehen, damit Stromanpassung vorliegt? (TB211)
- a) $R_L \gg R_i$
 - b) $R_L = \frac{1}{R_i}$
 - c) $R_L \ll R_i$
 - d) $R_L = R_i$
14. Ein HF-Abklatschkondensator am Anodenkreis einer Senderendstufe soll mit einer PTFE-Folie als Dielektrikum hergestellt werden. Die Durchschlagsfestigkeit von PTFE beträgt ca. 400 kV/cm. Wie dick muss die PTFE-Folie theoretisch mindestens sein, wenn an dem Kondensator mit einer Spannung von 2000 V zu rechnen ist? (TB302)
- a) 0,2 mm.
 - b) 0,5 mm.
 - c) 2 mm.
 - d) 0,05 mm.
15. Eine Spule ohne Eisenkern erzeugt eine Feldstärke von 200 A/m. Wie groß ist die magnetische Flussdichte? (TB402)
- a) 0,25 T.
 - b) 0,25 mT.
 - c) 2,5 T.
 - d) 2,5 mT.
16. Ferromagnetische Werkstoffe zeigen beim Ummagnetisieren durch ein magnetisches Wechselfeld eine Hystereseschleife. Der Flächeninhalt der Hystereseschleife ist ein Maß für die (TB406)
- a) Remanenz.
 - b) Permeabilität.
 - c) Koerzitivfeldstärke.
 - d) Ummagnetisierungsverluste.
17. Wodurch entsteht ein elektromagnetisches Feld und woraus besteht es? (TB501)
- a) Ein elektromagnetisches Feld entsteht, wenn durch einen elektrischen Leiter ein zeitlich schnell veränderlicher Strom fließt. Es besteht aus der elektrischen und aus der magnetischen Feldkomponente (E-Feld und H-Feld).
 - b) Ein elektromagnetisches Feld entsteht, wenn sich elektrische Ladungen in einem Leiter befinden. Es besteht aus dem elektrischen Feld (E-Feld), das wiederum ein magnetisches Feld (H-Feld) induziert.
 - c) Ein elektromagnetisches Feld entsteht, wenn durch einen elektrischen Leiter ein konstanter Strom fließt. Es besteht aus dem magnetischen Feld (H-Feld), das wiederum ein elektrisches Feld (E-Feld) induziert.
 - d) Ein elektromagnetisches Feld entsteht, wenn an einem elektrischen Leiter eine konstante Spannung angelegt wird. Es besteht aus dem elektrischen Feld (E-Feld), das wiederum ein magnetisches Feld (H-Feld) induziert.

18. Welche Frequenz entspricht einer Wellenlänge von 30 mm im Vakuum? (TB512)

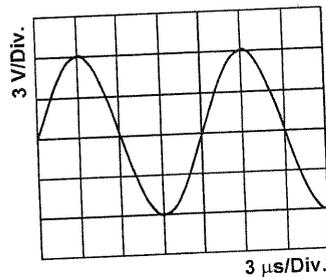
- a) 1 MHz.
- b) 100 kHz.
- c) 100 MHz.
- d) 10 GHz.

19. Welche elektrische Feldstärke E herrscht in der Mitte der dargestellten, symmetrisch aufgebauten Messzelle, wenn der angeschlossene Sender 1 Watt Ausgangsleistung liefert? (TB516)



- a) 176,8 V/m.
- b) 14,1 V/m.
- c) 28,3 V/m.
- d) 200 V/m.

20. Wie groß ist der Spitzen-Spitzen-Wert der in diesem Schirmbild dargestellten Spannung? (TB603)



- a) 2 Volt.
- b) 12 Volt.
- c) 6 Volt.
- d) 8,5 Volt.

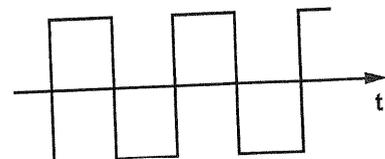
21. Ein sinusförmiges Signal hat einen Effektivwert von 12 V. Wie groß ist der Spitzen-Spitzen-Wert? (TB607)

- a) 16,97 V.
- b) 33,9 V.
- c) 24 V.
- d) 36,4 V.

22. Eine Wellenlänge von 69 cm entspricht einer Frequenz von (TB616)

- a) 440,317 MHz.
- b) 435,574 MHz.
- c) 434,783 MHz.
- d) 430,162 MHz.

23. Ein symmetrisches Rechtecksignal hat eine Grundfrequenz von 1500 Hz. Welche Frequenzen sind in diesem Signal enthalten? (TB701)



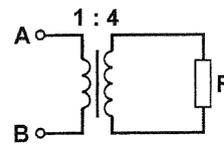
- a) 1500 Hz, 3000 Hz, 4500 Hz und höher.
- b) 1500 Hz, 4500 Hz, 7500 Hz und höher.
- c) 1500 Hz, 2250 Hz, 3000 Hz und höher.
- d) 1500 Hz, 3000 Hz, 6000 Hz und höher.

24. **Ein Träger von 145 MHz wird mit der NF-Frequenz von 2 kHz und einem Hub von 1,8 kHz frequenzmoduliert. Welche Frequenzen treten im Frequenzbereich der ungefähren Bandbreite des modulierten Signals auf?** (TB803)
- a) Es sind nur die Trägerfrequenz und die erste Harmonische, also 145,000 MHz und 290,000 MHz vorhanden.
 - b) Die Trägerfrequenz und eine der beiden Seitenbandfrequenzen, also entweder 144,998 MHz und 145,000 MHz oder 145,002 MHz und 145,000 MHz.
 - c) Es sind nur die Seitenbandfrequenzen mit der Information, also 144,998 MHz und 145,002 MHz vorhanden.
 - d) Die Trägerfrequenz und die ersten beiden Seitenbandfrequenzen, also 144,998 MHz, 145,000 MHz und 145,002 MHz.
25. **Die Spitzenleistung eines Senders (PEP) ist** (TB902)
- a) die durchschnittliche Leistung, die ein Sender unter normalen Betriebsbedingungen während einer Periode der Hochfrequenzschwingung bei der höchsten Spitze der Modulationshüllkurve der Antennenspeiseleitung zuführt.
 - b) das Produkt aus der Leistung, die unmittelbar der Antenne zugeführt wird und ihrem Gewinnfaktor in einer Richtung, bezogen auf den Halbwellendipol.
 - c) die unmittelbar nach dem Senderausgang messbare Leistung über die Spitzen der Periode einer durchschnittlichen Hochfrequenzschwingung, bevor Zusatzgeräte (z.B. Anpassgeräte) durchlaufen werden.
 - d) die durchschnittliche Leistung, die ein Sender unter normalen Betriebsbedingungen an die Antennenspeiseleitung während eines Zeitintervalls abgibt, der im Verhältnis zur Periode der tiefsten Modulationsfrequenz ausreichend lang ist.
26. **Ein mit einer künstlichen 50- Ω -Antenne in Serie geschaltetes Amperemeter zeigt 2 A an. Die Leistung in der Last beträgt** (TB921)
- a) 250 W.
 - b) 25 W.
 - c) 200 W.
 - d) 100 W.
27. **Metalloxidwiderstände** (TC104)
- a) sind induktionsarm und eignen sich besonders für den Einsatz bei sehr hohen Frequenzen.
 - b) sind besonders als Hochlastwiderstände bei niedrigen Frequenzen geeignet.
 - c) haben einen extrem stark negativen Temperaturkoeffizienten und sind besonders als NTC-Widerstände (Heißleiter) geeignet.
 - d) haben geringe Toleranzen und Widerstandsänderung und sind besonders als Präzisionswiderstände in der Messtechnik geeignet.
28. **Wie verhält sich der komplexe Widerstand eines verlustbehafteten Kondensators bei steigender Frequenz?** (TC205)
- a) Er wird größer, weil sich der Skin-Effekt stärker bemerkbar macht.
 - b) Er wird größer, weil sich die induktiven Verluste stärker bemerkbar machen.
 - c) Er wird kleiner, weil sich die Kreisfrequenz Omega erhöht.
 - d) Er bleibt unverändert, weil auch die ohmschen Verluste gleich bleiben.

29. Ein HF-Abklatschkondensator am Anodenkreis einer Senderendstufe hat eine Plattenfläche von 60 cm^2 und eine $0,15 \text{ mm}$ starke PTFE-Folie als Dielektrikum. Wie groß ist die Kapazität des Kondensators? (TC212)
- $7,1 \text{ nF}$.
 - $3,5 \text{ nF}$.
 - 708 pF .
 - 354 pF .

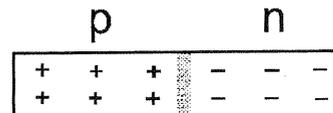
30. Wie groß ist die Induktivität einer Spule mit 14 Windungen, die auf ein Kernmaterial mit einem A_L -Wert von 1,5 gewickelt ist? (TC310)
- $0,294 \text{ }\mu\text{H}$.
 - $2,94 \text{ nH}$.
 - $2,94 \text{ }\mu\text{H}$.
 - $29,4 \text{ nH}$.

31. In dieser Schaltung ist $R = 6,4 \text{ k}\Omega$. Die Impedanz zwischen den Anschlüssen A und B (TC405)



- beträgt dann $1,6 \text{ k}\Omega$.
- beträgt dann $25,6 \text{ k}\Omega$.
- beträgt dann $0,4 \text{ k}\Omega$.
- beträgt dann $6,4 \text{ k}\Omega$.

32. Das folgende Bild zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Halbleiterdiode. Wie entsteht die Sperrschicht? (TC503)



- Die Diode ist ein Bauteil aus P- und N-leitendem Material. An der Grenzschicht wandern Elektronen aus dem P-Teil in den N-Teil. Dadurch wird auf der P-Seite der Elektronenüberschuss teilweise abgebaut, auf der N-Seite der Elektronenmangel teilweise neutralisiert. Es bildet sich auf beiden Seiten der Grenzfläche eine isolierende Schicht.
 - Die Diode ist ein Bauteil aus P- und N-leitendem Material. An der Grenzschicht wandern Atome aus dem N-Teil in den P-Teil. Dadurch wird auf der N-Seite der Atommangel abgebaut, auf der P-Seite der Atommangel vergrößert. Es bildet sich auf der N-Seite eine leitende Schicht.
 - Die Diode ist ein Bauteil aus P- und N-leitendem Material. An der Grenzschicht wandern Elektronen aus dem N-Teil in den P-Teil. Dadurch wird auf der N-Seite der Elektronenüberschuss teilweise abgebaut, auf der P-Seite der Elektronenmangel teilweise neutralisiert. Es bildet sich auf beiden Seiten der Grenzfläche eine isolierende Schicht.
 - Die Diode ist ein Bauteil aus P- und N-leitendem Material. An der Grenzschicht wandern Atome aus der Grenzschicht in den N- und P-Teil. Dadurch wird auf beiden Seiten der Atommangel abgebaut. Es bildet sich auf der P-Seite eine leitende Schicht.
33. Ein in Durchlassrichtung betriebener PN-Übergang ermöglicht (TC505)
- keinen Stromfluss.
 - den Elektronenfluss von P nach N.
 - den Stromfluss von N nach P.
 - den Stromfluss von P nach N.

34. Die Auswahlantworten enthalten Silizium-Dioden mit unterschiedlichen Arbeitspunkten. Bei welcher Antwort befindet sich die Diode in leitendem Zustand? (TC511)

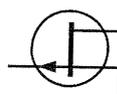
- a) 15V  18V
- b) 3,9V  3,2V
- c) 5,3V  4,7V
- d) -3V  -3,6V

35. Wie groß ist der Kollektorstrom eines bipolaren Transistors, wenn die Spannung an seiner Basis die gleiche Höhe hat wie die Spannung an seinem Emitter? (TC604)

- a) Es fließen ca. 5 bis 10 Milliampere.
- b) Es fließt der maximale Kollektorstrom.
- c) Es fließen je nach Kollektorspannung 0,01 Ampere bis 1 Ampere.
- d) Es fließt kein Kollektorstrom.

36. Der folgende Transistor ist ein

(TC615)



- a) P-Kanal-Sperrschicht FET.
- b) N-Kanal-Isolierschicht FET (Anreicherungstyp).
- c) N-Kanal-Sperrschicht FET.
- d) P-Kanal-Isolierschicht FET (Verarmungstyp).

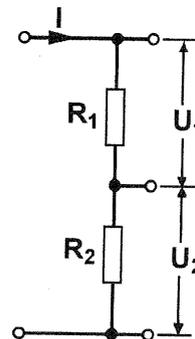
37. Wie groß ist die Gesamtkapazität, wenn drei Kondensatoren $C_1 = 0,06 \text{ nF}$, $C_2 = 40 \text{ pF}$ und $C_3 = 20 \text{ pF}$ in Reihe geschaltet werden? (TD108)

- a) 40 pF.
- b) 4,1 pF.
- c) 10,9 pF.
- d) 0,12 nF.

38. Wie teilt sich die Spannung an zwei in Reihe geschalteten Widerständen auf, wenn

$$R_1 = 1/6 \text{ mal so groß ist wie } R_2 ?$$

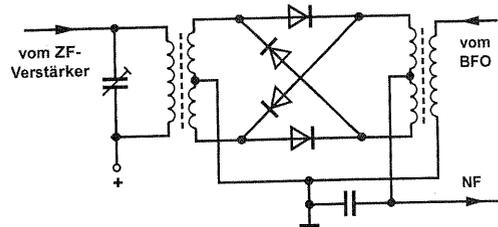
(TD111)



- a) $U_1 = U_2 / 6$
- b) $U_1 = 5 * U_2$
- c) $U_1 = U_2 / 5$
- d) $U_1 = 6 * U_2$

39. **Drei parallel geschaltete Widerstände haben einen Gesamtwiderstand von 1,66 kΩ. R₁ hat 3,3 kΩ, R₂ hat 5,6 kΩ. Welchen Wert hat R₃ ?** (TD117)
- a) 10,6 kΩ.
 - b) 8,3 kΩ.
 - c) 9,2 kΩ.
 - d) 8,9 kΩ.

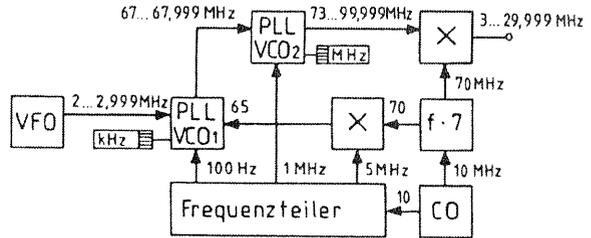
40. **Bei dieser Schaltung handelt es sich um einen**



(TD509)

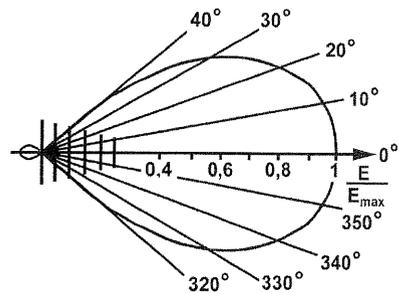
- a) Phasendiskriminator zur Demodulation von FM-Signalen.
 - b) Hüllkurvendemodulator zur Demodulation von AM-Signalen.
 - c) Produktdetektor zur Demodulation von SSB-Signalen.
 - d) Flankendemodulator zur Demodulation von FM-Signalen.
41. **Was gilt in etwa für die Bandbreite eines FM-Signals, wenn der Modulationsindex $m > 2$ wird?** (TE203)
- a) $f_{mod} < \Delta f$. Die Bandbreite wird im wesentlichen durch $m \cdot f_{mod}$ bestimmt; $B \approx m \cdot f_{mod}$.
 - b) $f_{mod} < \Delta f$. Die Bandbreite wird im wesentlichen durch Δf bestimmt; $B \approx 2 \cdot \Delta f$.
 - c) $f_{mod} > \Delta f$. Die Bandbreite wird im wesentlichen durch f_{mod} bestimmt; $B \approx 2 \cdot f_{mod}$.
 - d) $f_{mod} > \Delta f$. Die Bandbreite wird im wesentlichen durch $m \cdot \Delta f$ bestimmt; $B \approx m \cdot \Delta f$.
42. **Welche NF-Zwischenträgerfrequenzen werden in der Regel in Packet-Radio bei 1200 Bd benutzt?** (TE303)
- a) 850 / 1200 kHz
 - b) 1200 / 2200 Hz
 - c) 300 / 2700 Hz
 - d) 500 / 1750 Hz
43. **Wie ist bei modernen KW-Transceivern der Frequenzplan eines z.B. von 100 kHz bis 30 MHz durchstimmbaren Empfängers?** (TF105)
- a) Die 1. ZF liegt höher als das Doppelte der maximalen Empfangsfrequenz. Nach der Filterung im Roofing-Filter (1. ZF) wird auf die 2. ZF im Bereich um 9 bis 10 MHz heruntergemischt.
 - b) Die 1. ZF liegt im Bereich um 9 bis 10 MHz. Dabei wird beim Abstimmen in Stufen umgeschaltet.
 - c) Die 1. ZF liegt unter der niedrigsten Empfangsfrequenz. Ein Mitlauffilter unterdrückt Spiegelfrequenzen und andere Störfrequenzen.
 - d) Die Empfangsfrequenz wird direkt in die NF-Lage heruntergemischt (Direktmischung). Dabei können keine Spiegelfrequenzen auftreten.

44. Im folgenden Blockschaltbild ist die Frequenzaufbereitung für einen Amateurfunk-Transceiver dargestellt. Auf welcher Frequenz muss der VCO₂ eingerastet haben, wenn eine Ausgangsfrequenz von 14,351 MHz abgegeben wird? (TG112)



- a) 6,351 MHz
 b) 17,000 MHz
 c) 2,351 MHz
 d) 6,000 MHz
45. Im Regelfall sollte ein Oszillator zunächst an (TG211)
- a) ein Notchfilter angeschlossen sein.
 b) eine Pufferstufe angeschlossen sein.
 c) einen Leistungsverstärker angeschlossen sein.
 d) einen HF-Verstärker im C-Betrieb angeschlossen sein.

46. Die folgende Skizze zeigt das Horizontaldiagramm der relativen Feldstärke einer horizontalen Yagi-Antenne. Wie groß ist im vorliegenden Fall die Halbwertsbreite (Öffnungswinkel)? (TH213)



- a) Etwa 34°.
 b) Etwa 69°.
 c) Etwa 27°.
 d) Etwa 55°.
47. Eine Amateurfunkstation in Frankfurt/Main will eine Verbindung nach Tokio auf dem langen Weg herstellen. Auf welchem Winkel gegen Nord (Azimut) muss der Funkamateur seinen Kurzwellenbeam drehen, wenn die Beamrichtung für den kurzen Weg 38° beträgt? (TI211)
- a) Auf 322°.
 b) Auf 308°.
 c) Auf 218°.
 d) Auf 122°.
48. Wie misst man am einfachsten die Hüllkurvenform eines HF-Signals? (TJ228)
- a) Mit einem breitbandigen Oszilloskop.
 b) Mit einem breitbandigen Detektor und Kopfhörer.
 c) Mit einem hochohmigen Vielfachinstrument in Stellung AC.
 d) Mit einem empfindlichen Dip-Meter in Stellung Wellenmessung.

49. **Ein unselektiver TV-Vorverstärker wird am wahrscheinlichsten** (TK108)
- a) durch Einwirkungen auf die Gleichstromversorgung beim Betrieb eines nahen Senders störend beeinflusst.
 - b) auf Grund seiner zu niedrigen Verstärkung beim Betrieb eines nahen Senders störend beeinflusst.
 - c) durch Übersteuerung mit dem Signal eines nahen Sender störend beeinflusst.
 - d) auf Grund von Netzeinwirkungen beim Betrieb eines nahen Senders störend beeinflusst.
50. **Muss ein Funkamateurl als Betreiber einer ortsfesten 2-m-Amateurfunkstelle bei der Sendart F3E und einer Senderleistung von 6 Watt an einer 15-Element-Yagiantenne mit 13 dB Gewinn die Einhaltung der Personenschutzgrenzwerte nachweisen?** (TL213)
- a) Nein, bei der Sendart F3E und Sendezeiten unter 6 Minuten in der Stunde kann der Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern durch den Funkamateurl vernachlässigt werden.
 - b) Nur wenn die Antenne vertikal polarisiert ist. Bei horizontaler Polarisierung kann er davon ausgehen, dass eine Richtantenne mit diesem Gewinn einen sehr kleinen vertikalen Öffnungswinkel hat und die Personenschutzgrenzwerte auf jeden Fall eingehalten werden.
 - c) Ja, er ist in diesem Fall verpflichtet die Einhaltung der Personenschutzgrenzwerte nachzuweisen.
 - d) Nein, der Schutz von Personen in elektromagnetischen Feldern ist durch den Funkamateurl erst bei einer Strahlungsleistung von mehr als 10 W EIRP sicherzustellen.