



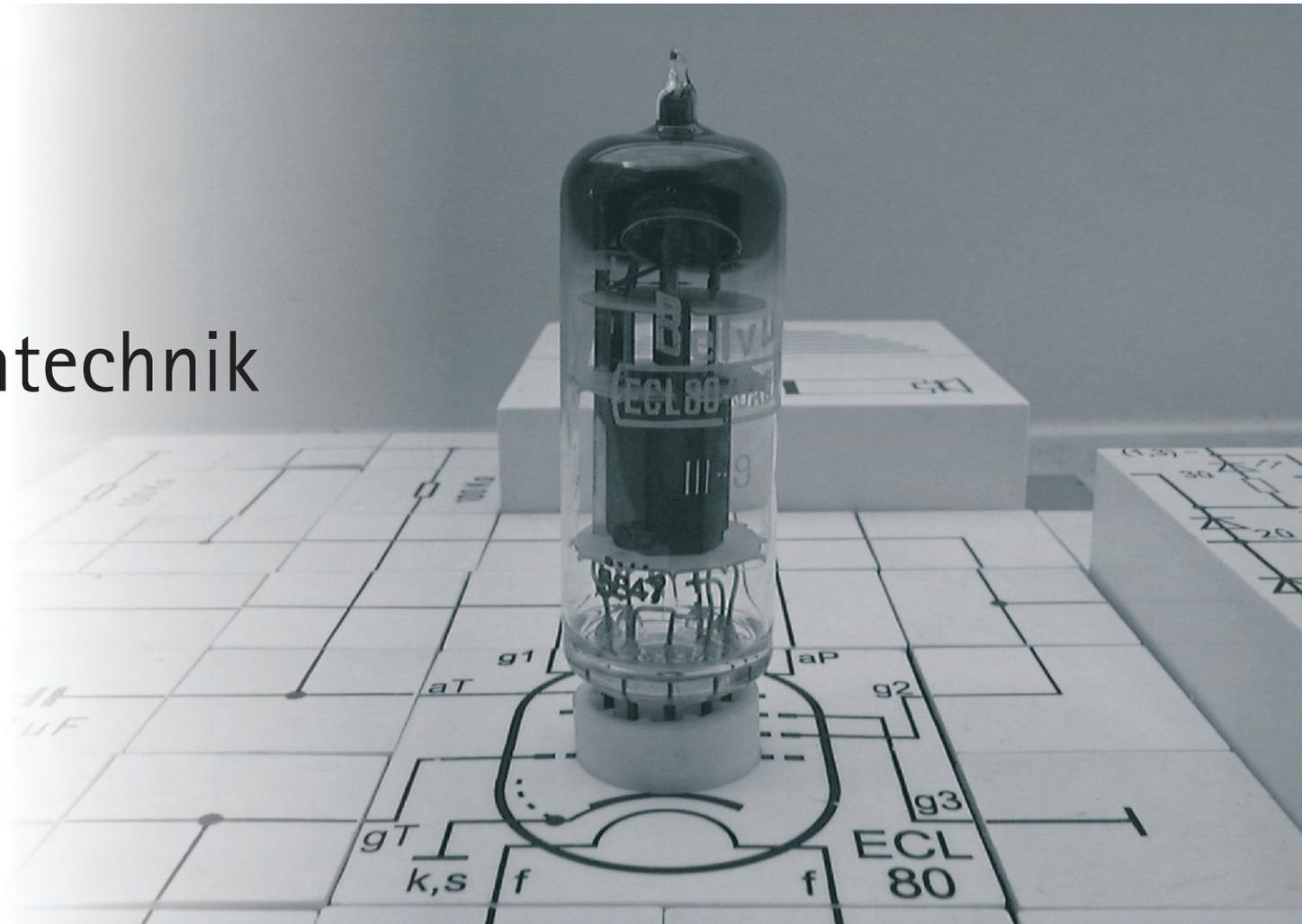
Radiotechnik Versuche



Anleitungsbuch Radiotechnik & Radio-Röhrentechnik

Autor
Gerd Kopperschmidt

Herausgeber
Reha Werkstatt Oberrad
Lectron
Buchrainstraße 18
60599 Frankfurt
Tel.: +49 (0)69 90 50 12 82
Fax: +49 (0)69 90 50 12 83
Email: lectron@frankfurter-verein.de
www.lectron.de



Verzeichnis der Versuche

Versuch	Thema	Seite	Versuch	Thema	Seite	Versuch	Thema	Seite
	Zu diesem Kasten	7	20	Aufbau der Elektronenröhre	48	46	UKW - Empfänger mit Nf - Übertrager	102
1	Schallwandler	8	21	Stromversorgung	50	47	UKW - Empfänger mit Lautsprecher	104
2	Transistorverstärker	10	22	Stereo - Nf - Verstärker für Kopfhörer	52	48	UKW - Empf. m. zweistufigem Nf - Verst.	106
3	Transistorverstärker mit npn - Transistor	12	23	Stereo - Nf - Verstärker mit ECC85	54	49	UKW - Empf. m. Röhren Nf - Verstärker	108
4	Zweistufiger Verst. mit kompl. Transistoren	14	24	Nf - Verstärker mit Ausgangsübertrager	56	50	UKW - Empf. m. 2 Spannungsversorgungen	110
	Schwingungen und Modulation	16	25	Nf - Verstärker mit Gitterstrom	58	51	Kombinierter UKW / MW Empfänger	112
5	Detektor	18	26	Zweistufiger Nf - Verstärker	60	52*	UKW / MW Empfänger für Netzbetrieb	114
6	Abstimmkreis und Resonanz	20	27	Nf - Verstärker mit Leistungspentode	62	53*	Variante des UKW / MW Empfängers	116
7	Kurzwellendetektor	22	28	Trafolose Endstufe mit EL95	64	54*	MW / KW Audion m. PCL86	118
8	Antennenankopplung	24	29	Zweistufiger Nf - Verstärker mit ECL80	66	55*	MW / KW Audion m. PCL86 (Variante)	120
9	Einstufiger Transistorempfänger	26	30*	Detektor mit Röhre	68	56*	UKW Empfänger mit NF-Verstärker	122
10	Einstufiger KW-Transistorempfänger	28	31	Detektor mit Triode	70	57*	Lectron UKW - Empfänger Set	124
11	Zweist. Transistorempfänger mit Rückkopplung	30	32	Audion mit Triode	72	58*	Komb. MW / UKW Empf. mit PCL86	126
12	Zweistufiger Transistorempfänger mit Rückkopplung und Lautsprecher	32	33	Zweistufiges Audion	74		Weiterführende Hinweise	128
13	Dreistufiger Transistorempfänger mit Lautsprecher	34	34	Audion mit Rückkopplung	76		Bauteileliste	130
14	Abstimmbarer dreistufiger Transistorempfänger mit Lautsprecher	36	35*	Audion mit PC86 / PC88	78		Weitere Versuche	132
15	Dreistufiger Transistorempfänger mit Ferritantenne	38	36	Audion mit Pentode EF80	80		Ausschneidebogen	133
16	Transistorempfänger mit doppelter Ausnutzung eines Transistors	40	37	Audion mit Leistungspentode EL95	82			
17	Transistorempfänger mit FET	42	38*	Audion mit Pentode EF98	84			
18	MW - Empfänger mit integriertem Schaltkreis	44	39	Dreistufiger Röhrenempfänger	86			
19*	MW - Empfänger mit Solarzelle	46	40	MW -Empfänger mit Abstimm-diode	88			
			41	Abstimm-diode bei inverser Polarität	90			
				Frequenzmodulation	92			
			42	UKW - Pendelaudion	94			
			43	Der LECTRON UKW - Baustein	96			
			44	UKW - Baustein mit Empfangsanzeige	98			
			45*	Empfangsanzeige mit Operationsverstärker	100			

*) Im Versuch 19 werden zwei Solarzellen aus dem LECTRON Experimentierkasten »Optoelektronik und Solartechnik« eingesetzt, die es auch einzeln unter der Bestellnummer 2610 bei LECTRON als Zukaufteil gibt. Für die Versuche 30, 35 und 38 sind die Röhren EAA91, PC86 / PC88 bzw. EF98 erforderlich, die nicht im Experimentierkasten enthalten sind. Versuch 45 benötigt einen Operationsverstärker aus dem gleichnamigen LECTRON Experimentierkasten oder als Zukaufteil (Bestell-Nr. 2439). Versuche 52 und 53 erfordern zusätzliche Verbindungsbausteine, Versuch 52 auch das Netzgerät (2601) Zum Aufbau der Versuche 54, 55 und 58 werden neben der PCL86 weitere Verbindungsbausteine eingesetzt. Neue Bausteine werden in den Versuchen 55 und 56 vorgestellt.



Lectron

Zu diesem Kasten

Die Zusammenstellung von LECTRON Bausteinen in diesem Experimentierkasten erlaubt es, zunächst verschiedene Grundschaltungen der Radiotechnik mit Transistoren aufzubauen: Vom einfachen Detektorempfänger, der ohne Batterie betrieben wird, bis zum Verstärker mit vier Transistorfunktionsstufen und Lautsprecherbetrieb. Mit allen Radios können Sender im Kurz- und im Mittelwellenbereich empfangen werden.

Ab Versuch 20 wird es dann mit dem Ausbau-System nostalgisch; es werden entsprechende Schaltungen bis zum UKW - Empfänger gezeigt, die mit »modernen« Elektronenröhren arbeiten und zwar mit niedrigen Anodenspannungen (max. 50 V), so dass man gefahrlos in die Schaltung fassen kann. Etwas Vorsicht sollte man jedoch walten lassen, denn die Röhren werden bei längerem Betrieb heiß. Die dem Kasten beigegebenen Röhren sind ungebrauchte Lagerexemplare (NOS = new old stock) aus früherer Produktion diverser Hersteller oder gebrauchte Exemplare, die für unsere Experimente noch eine ausreichende Emission aufweisen. Beim

Einsetzen in die Röhrenbausteine darf keine Gewalt angewendet werden. Der Baustein sollte auf einer festen ebenen Fläche liegen und die zugehörige Röhre senkrecht eingesetzt werden, was anfangs etwas schwer gehen kann.

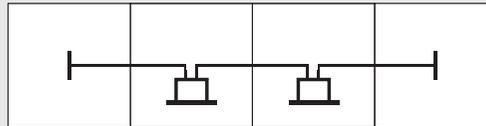
Der Aufbau der verschiedenen Schaltungen ist ohne besondere Vorkenntnisse möglich. Die standardisierten LECTRON Bausteine enthalten entweder ein elektronisches Bauelement oder Verbindungsleitungen; sie haften mit Magnetkraft an den Kontaktplättchen aneinander und an der Grundplatte, wodurch sie elektrisch miteinander verbunden werden. Durch sinnvolles Aneinanderreihen der Bausteine nach der jeweiligen Vorlage entstehen so funktionsfähige Schaltungen; gleichzeitig ist auf den weißen Abdeckungen das normgerechte Schaltbild zu sehen. Diese einfache Handhabung, ohne beispielsweise etwas löten zu müssen, zeichnet das LECTRON System gegenüber anderen vergleichbaren Experimentierkästen aus.

Die Schaltungen sind erprobt und werden bei richtiger Zusammenlegung der Bausteine funktionieren; trotzdem ist sorgfältiges Vorgehen angebracht. Halbleiter, wie Diode und Transistoren, können bei fehlerhafter Beschaltung leicht zerstört werden und sind dann unbrauchbar. Deswegen sollte jede

Schaltung sorgfältig kontrolliert werden, ehe die Versorgungsspannung angelegt wird.

Bei Beachtung dieser Regel wird derjenige, der überhaupt keine Elektronik - Vorkenntnisse besitzt, genauso funktionierende Schaltungen aufbauen können wie jemand, dem die einzelnen Funktionen der verwendeten Bauteile bereits geläufig sind. Für letzteren sind die Erklärungen und zusätzlichen Erläuterungen über Schaltungsbesonderheiten gedacht. Alles von Grund auf zu erklären und herzuleiten hätte den Umfang des Kastens gesprengt. Wer nach Durchführung der Experimente gerne tiefer in das hochinteressante Gebiet der Elektronik eintauchen möchte, dem seien das LECTRON 'Einsteiger' - System oder das LECTRON 'Start- und Ausbausystem' mit ihren ausführlichen und leicht verständlichen Anleitungsbüchern empfohlen.

Für Elektronik Experten, die sich auf speziellen Gebieten, wie Digitaltechnik, Optoelektronik- und Solartechnik, Kfz - Elektronik, Schrittmotoren, Operationsverstärkern und Schwellwertlogik weiter bilden möchten, gibt es bei LECTRON ein ganzes Spektrum von entsprechenden Experimentierkästen. Die Bausteine des vorliegenden Kastens können selbstverständlich bei diesen Ergänzungskästen weiter verwendet werden.

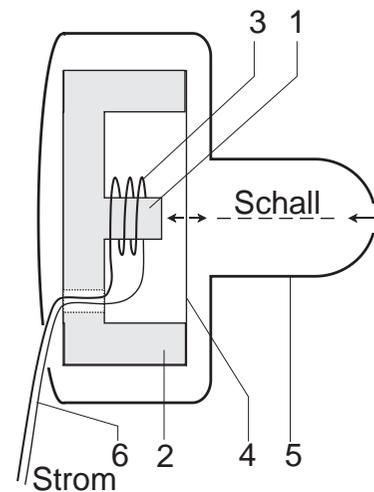


Versuch 1

Schallwandler

Wenn man wie beim Rundfunk akustische Schwingungen (Schall, Sprache, Musik) über weite Entfernungen drahtlos übertragen will, müssen diese Schwingungen (Schwankungen des Luftdrucks) zunächst in elektrische Signale umgesetzt werden. Normalerweise geschieht das in einem Mikrofon. Aber auch der im Kasten vorhandene Ohrhörer ist dazu in der Lage.

In unserem ersten Versuch fügen wir die Anschlussbausteine der beiden Ohrhörer auf der Aufbauplatte aneinander und schalten sie in Reihe durch den beiderseitigen Abschluss mit den Massebausteinen. Die bei dem Experiment verwendeten Ohrhörer sind gleichartig aufgebaut und wir verwenden den einen als Mikrofon und den anderen als Hörer. Der erste wandelt Schallwellen in winzige elektrische Signale um, die der andere wieder in hörbare Schallwellen zurück wandelt. Klopfen wir beispielsweise mit dem Fingernagel dagegen oder pusten über die Öffnung, so ist eine sehr leise Wiedergabe im anderen vernehmbar. Wir können - weil beide Wandler gleich aufgebaut sind - die Signalflussrichtung auch vertauschen: Der zunächst als Mikrofon ver-



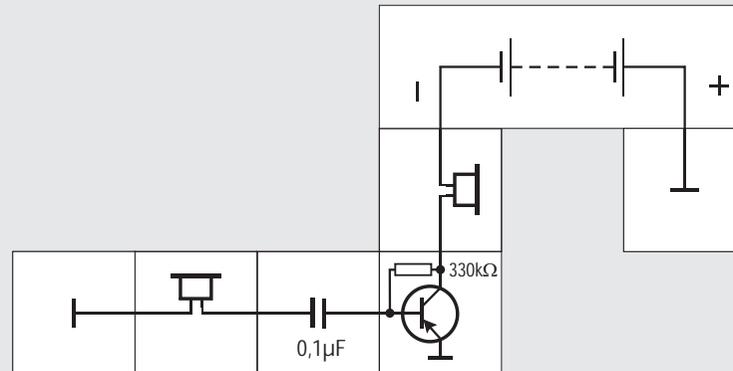
wendete Wandler ist dann der Hörer und umgekehrt.

Dieses Verhalten wird uns klar, wenn wir uns den Aufbau des Ohrhörers genauer ansehen: Im Inneren verbirgt sich ein STABMAGNET (1) mit einem ringförmigen POLSCHUH (2). Die um den Magneten gewi-

ckelte SPULE (3) besteht aus äußerst dünnem Kupferdraht. Vor der Spule befindet sich eine runde STAHLMEMBRAN (4), die wie eine Rasierklinge federt. Aus dem GEHÄUSE (5) führen 2 ANSCHLUSSDRÄHTE (6) heraus, welche die Enden der Spule mit den Seitenkontakten des Ohrhörerbausteins verbinden. Wenn nun ein Strom durch die Spule fließt, erzeugt sie ein Magnetfeld, das zusammen mit dem Feld des Stabmagneten die Membran mehr oder weniger anzieht; aber nur wenn sich die Membran aufgrund eines wechselnden Stromes bewegt, entstehen durch diese Bewegung Schallwellen, die wir hören. Fließt ein konstanter Strom springt die Membran in eine andere Stellung (wir hören einmalig einen Knacks) und verharrt dort.

Auf der Mikrofonseite passierte vorher genau das Umgekehrte: Schallwellen (nämlich die Luftdruckschwankungen) treffen auf die Membran und bewegen sie ein wenig, was zu Änderungen im Magnetfeld führt und weiter in winzigen Induktionsspannungen, die an den Spulenden abgenommen werden können, resultiert.

Ein Kopfhörer ist ein empfindliches Nachweisinstrument für Wechselströme; mit ihm sind noch Ströme im Mikroampere-Bereich hörbar zu machen.





Versuch 2

Transistorverstärker

Ein besseres Ergebnis erhalten wir, wenn wir zwischen Mikrofon und Hörer einen Transistorverstärker bauen, der die vom Mikrofon erzeugten winzigen Spannungen verstärkt, ehe sie vom anderen Wandler wieder in akustische Signale zurück gewandelt werden.

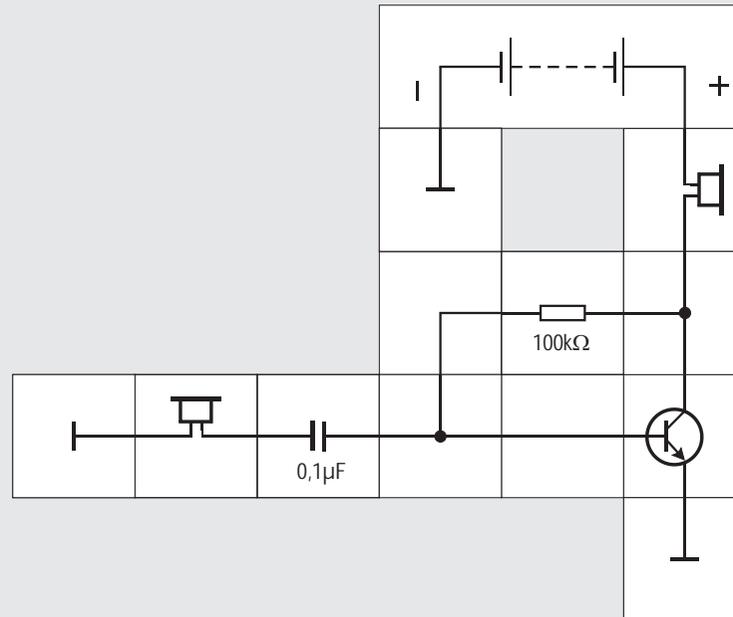
Dazu bauen wir die Schaltung des zweiten Experimentes auf. An die Basis des Transistors legen wir den als Mikrofon verwendeten Ohrhörer in Reihe mit einem Koppelkondensator; in den Kollektorkreis des Transistors den zweiten Ohrhörer als »Lautsprecher«. Kratzen wir jetzt am Mikrofon, ist die Wiedergabe erheblich lauter. Allerdings sind Mikrofon und Lautsprecher nicht mehr gleichberechtigt. Konnten wir im ersten Experiment beide Hörer sowohl als Mikrofon wie auch als Hörer nutzen, so hat jetzt Klopfen oder Kratzen am Hörer in der Kollektorleitung keine Wirkung mehr auf den Hörer in der Basisleitung.

Wir haben diesen Verstärker stülpelt mit einem pnp - Germanium - Transistor aufgebaut. Die ersten Transistoren waren aus dem Halbleitermaterial Germanium aufgebaut, wobei pnp die Folge der drei mit entsprechenden Fremdatomen dotierten Schichten des Transistors (Emitter, Basis, Kollektor) bezeichnet. Die Größe des vom Emitter zum Kollektor fließenden Stroms, des Kollektorstroms, wird beim Transistor vom ca. 50 - 100 mal kleineren Basisstrom gesteuert. Dazu muss bei einem pnp - Transistor der Emitter auf höherem Potential als die beiden anderen Elektroden liegen, so dass in den ersten Transistorschaltungen der Pluspol der Versorgungsspannung als Bezugspotential an Masse ge-

legt wurde und man mit negativen Spannungen arbeitete.

Im Gegensatz zur Digitaltechnik, in der der Transistor als Schalter benutzt wird und nur die beiden Zustände »gesperrt« und »gut leitend« kennt und dabei keinen Basisstrom bzw. ausreichend Basisstrom zum niederohmigen Durchschalten bekommt, wird er hier als Verstärker in einem Zwischenbereich betrieben. Kleine Änderungen des Basisstroms wirken sich dann als große Änderungen des Kollektorstroms aus. Damit der Transistor seinen Arbeitspunkt in diesem Zwischenbereich hat, bekommt er bereits ohne Anliegen des zu verstärkenden Signals einen geringen Basisstrom.

In unserer Verstärkerschaltung sorgt der 330 k Ω Widerstand vom Kollektor dafür, dass der Transistor ohne Ansteuerung bereits in diesem Zustand arbeitet, er legt also seinen Arbeitspunkt fest. Das »Mikrofon« darf nun nicht direkt an die Basis angeschlossen werden, da sein Innenwiderstand von ca. 600 Ω den Arbeitspunkt in den Sperrbereich des Transistors verschöbe. Da wir ohnehin nur die im Mikrofon erzeugte Wechselspannung verstärken wollen, eignet sich ein 0,1 μ F Kondensator gut als Koppellement; er lässt Wechselspannung passieren und sperrt die Gleichspannung ab, der vorher eingestellte Arbeitspunkt bleibt somit erhalten.





Versuch 3

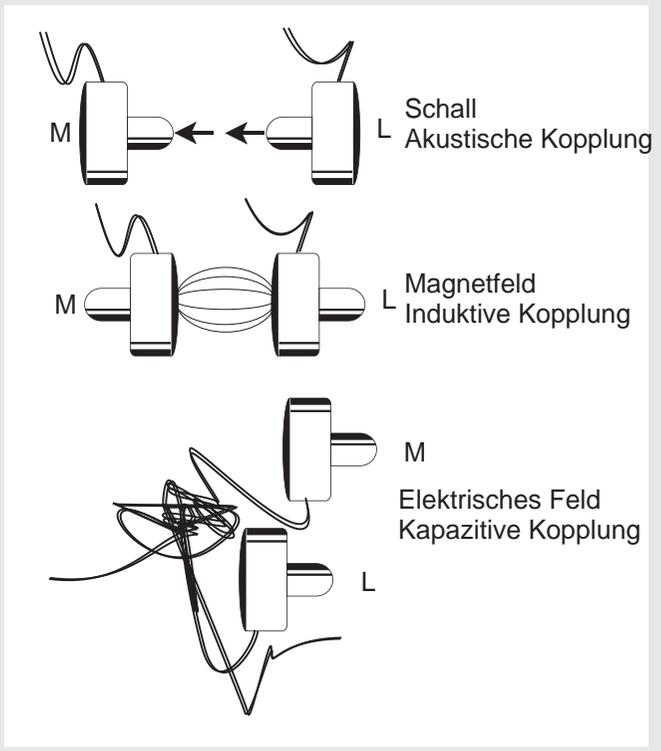
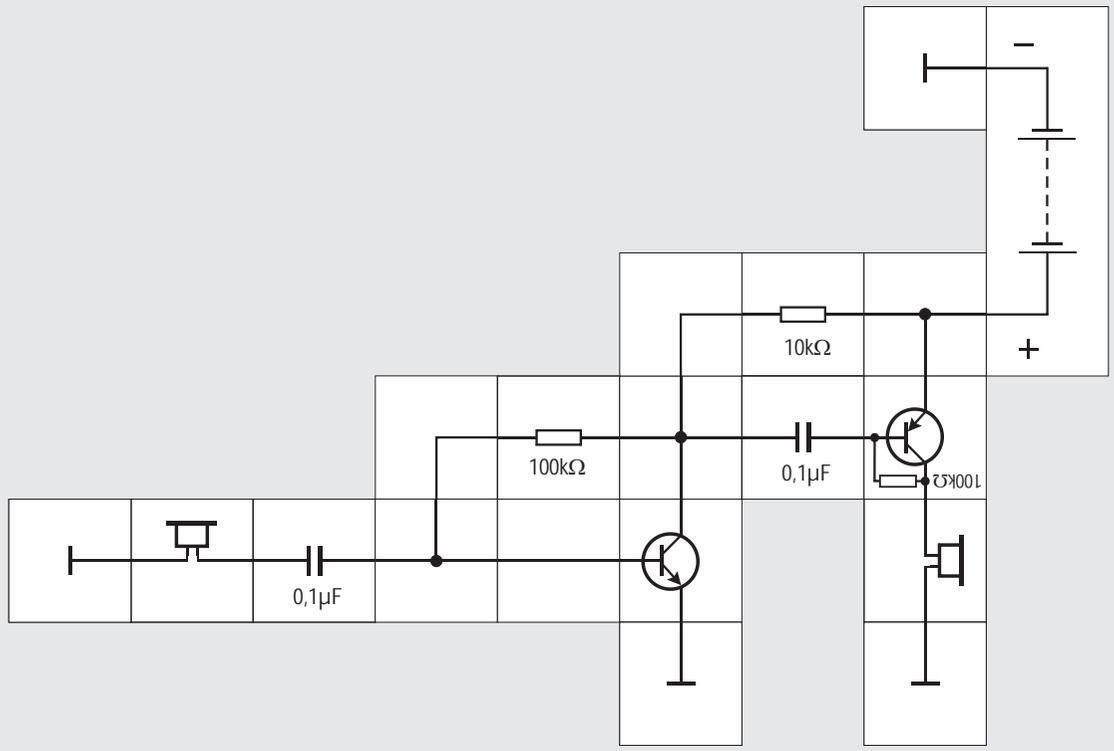
Transistorverstärker mit npn - Transistor

Wir können eine Schaltung mit gleicher Funktion auch mit einem moderneren Silizium npn - Transistor aufbauen und erhalten die oben abgebildete Konfiguration. Es ist zu beachten, dass jetzt der Minuspol der Batterie am Bezugspotential Masse liegt. Die Schaltung sieht auf den ersten Blick etwas umfangreicher aus als die des Versuchs 2; das liegt aber lediglich daran, dass es im LECTRON-System keinen npn - Transistorbaustein mit eingebautem Widerstand und einer Emitter-Verbindung zur Masse gibt.

Allgemein lassen sich Schaltungen, die mit pnp - Transistoren aufgebaut sind, in solche mit npn - Transistoren umwandeln und umgekehrt, indem man alle Transistoren durch ihre komplementären Typen ersetzt, sowie alle Dioden, Elektrolytkondensatoren und die Versorgungsspannung umpolt.

Beim Aufbau eines Röhrenverstärkers werden wir noch einmal zum Vergleich auf diese Schaltung mit einem npn - Transistor zurück kommen.

04





Versuch 4

Zweistufiger Verstärker mit komplementären Transistoren

Ist die Verstärkung einer Stufe nicht ausreichend, so können wir eine weitere Stufe an die erste an-koppeln. Die Gesamtverstärkung ergibt sich dann aus dem Produkt der Einzelverstärkungen und wird dadurch leicht sehr hoch. Das funktioniert natürlich sowohl bei Stufen, die mit pnp - als auch bei solchen, die mit npn - Transistoren aufgebaut sind. In unserer Versuchsschaltung zeigen wir eine weitere

Möglichkeit auf, indem wir eine npn- Stufe mit einer pnp - Stufe koppeln. Auch der umgekehrte Fall ist möglich, ohne dass wir es jetzt ausführen wollen.

Bei so hohen Verstärkungen kommt es leicht zu einer Erscheinung, die wir alle von öffentlichen Veranstaltungen kennen, auf denen Sprache oder Musik von einem Mikrofon aufgenommen und weiter verstärkt über Lautsprecher wieder abgegeben werden, nämlich der RÜCKKOPPLUNG. Statt der Sprache oder Musik hören wir dann ein schrilles Pfeifen. Das Mikrofon empfängt zu große Anteile dessen, was der Lautsprecher abgibt, der Verstärker verstärkt es weiter, das Mikrofon empfängt diese weiter verstärkten Anteile, gibt sie wieder auf den Verstärker, usw, usw. ... Das System aus Mikrofon, Verstärker und Lautsprecher benötigt zum Anschwingen nicht einmal eine Anregung mit einem Nutzsiganal, um sich hoch zu schaukeln; das stets vorhandene Eigenrauschen reicht bei genügend hoher Gesamtverstärkung aus, das System in diesen Zustand zu bringen. Allerdings muss neben einer ausreichenden Verstärkung noch eine andere Bedingung erfüllt sein: Die so genannte PHASENLAGE des Ausgangssignals muss gleich der des Eingangssignals sein, sonst kommt es nicht zur Selbsterregung.

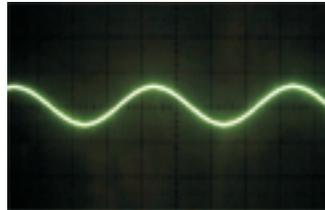
Bei unseren einstufigen Transistorverstärkern

waren die Phasen von Ein- und Ausgangssignal zueinander invertiert oder hatten eine Phasenverschiebung von 180° . Schalten wir jedoch zwei Stufen hintereinander, so führt die zusätzliche Invertierung der weiteren Stufe dazu, dass Ein- und Ausgangssignal wieder in Phase sind, die Phasenverschiebung beträgt 360° oder wieder 0° . Bei solchen zweistufigen Verstärkern kommt es also sehr leicht zur Selbsterregung. Wir können das demonstrieren, indem wir den Lautsprecher in die Nähe des Mikrofons bringen. Sollte dann wider Erwarten das Pfeifen nicht auftreten, muss ein Kopfhörerbaustein in der Schaltung um 180° gedreht werden.

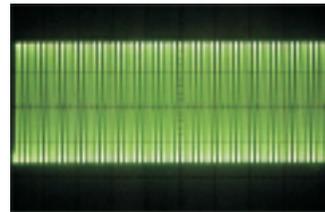
Die Rückkopplung kann auf verschiedene Art zustande kommen, sie ist nicht auf die eben beschriebene AKKUSTISCHE RÜCKKOPPLUNG beschränkt. Auch KAPAZITIVE RÜCKKOPPLUNGEN über das elektrische Feld, beispielsweise über ungünstig zueinander verlegte signalführende Leitungen, oder induktive Rückkopplungen über das verkoppelte magnetische Feld zweier Spulen führen zu der beschriebenen Erscheinung.

Dass das normalerweise bei Verstärkern unerwünschte Auftreten der Rückkopplung auch sinnvoll genutzt werden kann, werden wir später in den Schaltungen zum Empfang von Rundfunksendern zeigen.

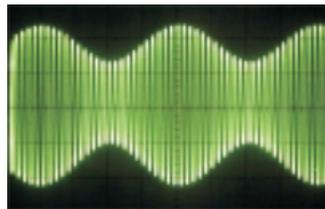
Senderseitige Signale



1) Nf - Signal

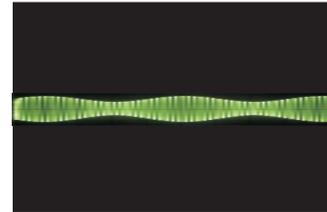


2) Hf - Träger unmoduliert

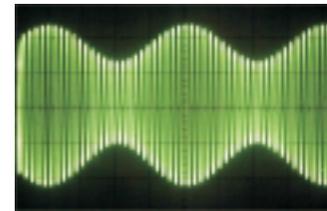


3) moduliertes Sendesignal

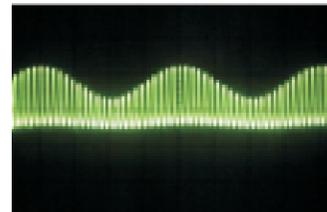
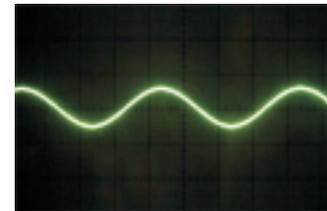
Empfängerseitige Signale



4) Empfangssignal



5) verstärktes Empfangssignal

6) gleichgerichtetes
(demoduliertes) Signal

7) Nf - Signal



Schwingungen und Modulation

In unseren ersten Experimenten bauten wir Mikrofonverstärker auf, mit deren Hilfe wir in der Lage waren, akustische Schwingungen (Schall, Sprache, Musik) in elektrische Signale umzusetzen, zu verstärken, über eine Leitung zu übertragen und wieder in akustische Signale zurück zu wandeln. Wir wollen nun sehen, wie man ohne den Draht auskommt, also drahtlos überträgt.

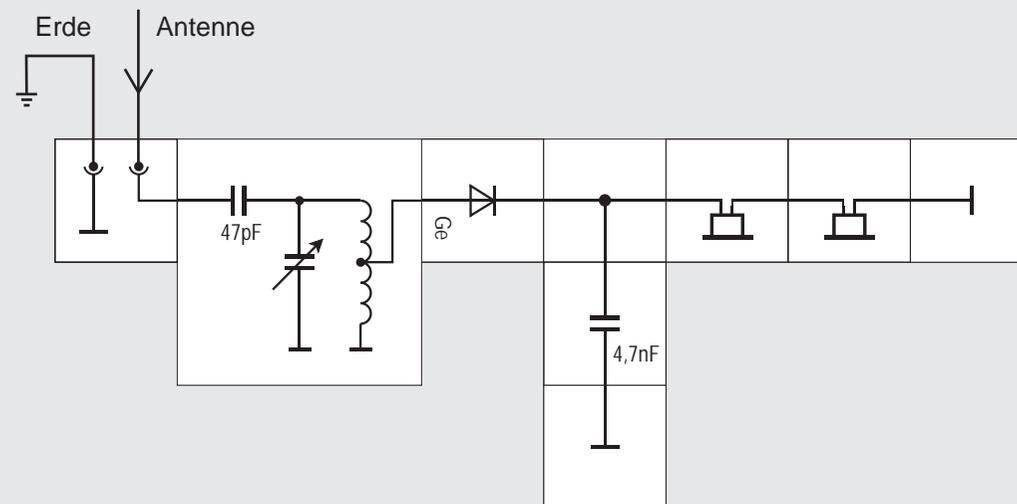
Diese akustischen Signale (Oszillogramm 1) haben

Frequenzen im so genannten TONFREQUENZ- oder NIEDERFREQUENZBEREICH; er erstreckt sich von 20 Hz (Hertz) bis 20 kHz (20 bis 20000 Schwingungen pro Sekunde). Selbst bei äußerst starker Verstärkung würde eine Sendeantenne diese Frequenzen im Niederfrequenzbereich (Nf) kaum abstrahlen, ein drahtloser Rundfunkempfang wäre nicht möglich. Anders sieht es dagegen mit Frequenzen im HOCHFREQUENZBEREICH (Hf) aus. Wenn wir uns die Skala eines Rundfunkgerätes betrachten, werden wir beispielsweise für den »Mittelwellenbereich« Frequenzangaben von 550 kHz bis 1500 kHz entdecken (2). Dass wir diese Frequenzen als Ton nicht mehr wahrnehmen können, dürfte verständlich sein. Aber doch empfangen wir Sender auf einer dieser Frequenzen.

Man benutzt diesen Frequenzbereich und noch weitaus höhere, weil die Ausbreitungsbedingungen einer elektromagnetischen Welle mit solch hoher Frequenz im freien Raum sehr günstig sind und arbeitet dabei mit einem Trick: Die Hochfrequenz wird mit der Niederfrequenz MODULIERT, indem man deren Amplitude (Höhe) im Takte der Niederfrequenz schwanken lässt (3). Wie das technisch gemacht wird, würde den Rahmen des Experimentierkastens sprengen und soll deswegen nicht beschrieben werden.

In der Fachsprache ist die Hochfrequenz der TRÄGER, man spricht von einer TRÄGERFREQUENZ und einer AMPLITUDENMODULATION. Modulierte hochfrequente Schwingungen werden also von der Sendeantenne abgestrahlt, breiten sich durch den freien Raum aus und bringen so das modulierte Signal an unsere Empfangsantenne. Dieses im allgemeinen äußerst schwache Signal (4) ist in der Lage, winzige Spannungen in der Empfangsantenne zu erzeugen, die wir »weiter verarbeiten« müssen, um die aufmodulierte Niederfrequenz wieder zu gewinnen und in für uns hörbare akustische Schwingungen umzusetzen (5 bis 7).

In den Abbildungen sind die einzelnen Stationen der Signalverarbeitung gezeigt. Das Signal von der Antenne wird zunächst verstärkt und wir erhalten ein Signal, wie es in Abbildung 5 dargestellt ist. Um die Niederfrequenz vom hochfrequenten Träger zu trennen, muss das Signal gleichgerichtet oder DEMODULIERT werden. Das so erhaltene Signal (6) wird noch geglättet, indem man die hochfrequenten Anteile entfernt, ehe man es einem Kopfhörer zuführt (7). Möglich ist auch eine weitere Verstärkung des niederfrequenten Signals, um einen Lautsprecher damit anzusteuern. Die Weiterverarbeitung im Empfänger wollen wir uns in den folgenden Experimenten genauer ansehen.





Versuch 5

Detektor

Wir wollen zunächst – wie in der Frühzeit der Rundfunktechnik üblich – mit einem sogenannten Detektor versuchen, ohne Batterie und damit ohne weitere Verstärkung (5) das Empfangssignal (4) zu demodulieren. Um aus dem Empfangssignal das aufmodulierte Nutzsignal zu erhalten, müssen wir die eine Hälfte »abschneiden«, es also gleichrichten. Die Ohrhörermembran kann ohnehin nicht der Hochfrequenz folgen, aber auch nicht das sie umhüllende Nutzsignal wiedergeben, da es stets sowohl im positiven wie im negativen Spannungsbereich vorkommt und das resultierende Signal stets gleich Null ist. Das Gleichrichten oder Demodulieren geschieht mit der Germaniumdiode. In der Pionierzeit des Rundfunks wurde ein Bleiglanzkristall (Bleisulfid) verwendet, auf dem mit einer Drahtspitze zunächst eine zum Gleichrichten geeignete Stelle detektiert (gefunden) werden musste; daher

stammt auch der Name für diese einfache Empfangseinrichtung.

Wenn wir uns in einer einigermaßen günstigen Lage zu einem Mittelwellensender befinden, so haben wir zu jeder Tageszeit mit Hilfe einer Hochantenne (langer außerhalb des Gebäudes isoliert befestigter Draht) einen ausreichenden Empfang, es trifft noch genügend Energie vom Sender auf unsere Empfangsantenne und regt sie zum Mitschwingen an. Abends nach Sonnenuntergang ist der Empfang generell besser, da sich dann speziell im Mittelwellenbereich die Ausbreitungsbedingungen verbessern.

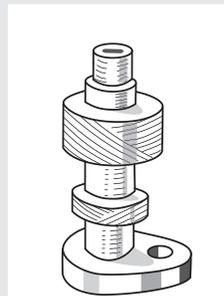
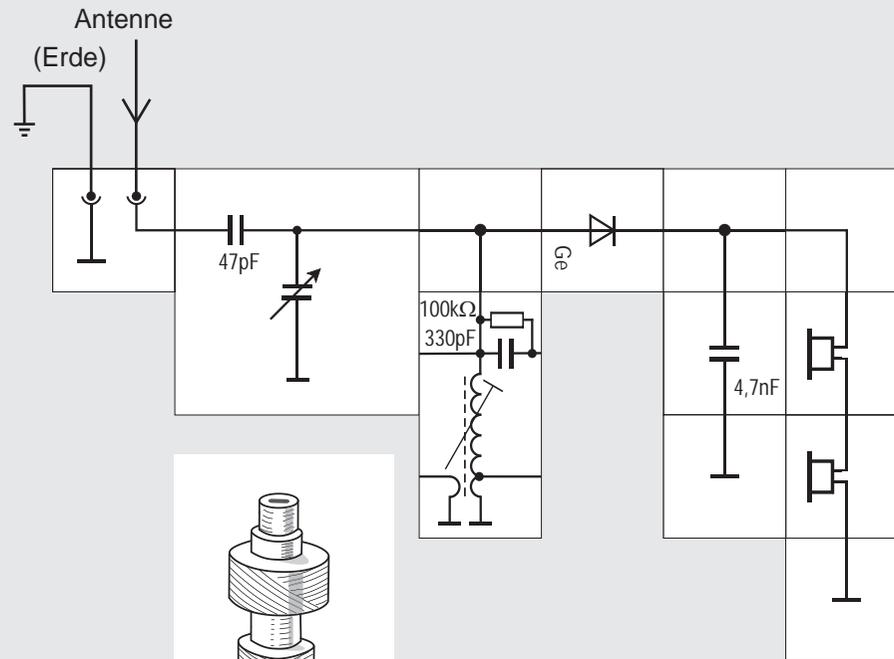
Bei aufziehendem Gewitter sollten keine Empfangsexperimente mit der Hochantenne durchgeführt werden. Am bestens ist es, auch die Antenne rechtzeitig abzubauen oder außerhalb des Gebäudes gut zu erden.

Wir bauen unsere Schaltung auf und schließen die Antenne an. Von ihr gelangt ein ganzes Gemisch von Wechselspannungen der verschiedenen Sendestationen mit ihren unterschiedlichen (Träger-) Frequenzen an den Abstimmbaustein. Die Antenne bevorzugt zwar den Sender, dessen Trägerfrequenz gerade so hoch ist, dass die dazu gehörige Wellenlänge auf die Antenne »passt«, diese Selektion ist aber bei weitem nicht ausreichend, um einen gewünsch-

ten Sender von den anderen zu trennen. Deswegen wird ein »Eingangskreis«, bestehend aus einer Spule und einem veränderbaren Kondensator, einem DREHKONDENSATOR, benötigt. Drehen wir am Abstimmkondensator, so finden wir eine Stellung, in der wir einen bestimmten Sender am lautstärksten empfangen. Der Eingangskreis liegt dann in RESONANZ zur Frequenz des gerade eingestellten Senders. Alle anderen Senderfrequenzen werden unterdrückt. Die ankommende hochfrequente Wechselspannung des eingestellten Senders wird von der Diode gleichgerichtet und die Ohrhörermembran bewegt sich im Takte der umhüllenden Wechselspannung, die ja das Nutzsignal ist: Wir hören die vom Sender ausgestrahlte Sprache oder Musik. Der parallel geschaltete Kondensator schließt die Hochfrequenzreste kurz.

Es ist wichtig, dass wir zum Demodulieren die Germaniumdiode aus dem Experimentierkasten und keine andere Diode (die alle höhere Schwellenspannungen haben und deswegen zum Gleichrichten des schwachen Antennensignals nicht geeignet sind) verwenden.

Versuchsweise können wir zur Empfangsverbesserung auch noch »Erde« anschließen, und zwar verbinden wir dazu die Aufbauplatte (Masse) mit der Wasserleitung oder der Heizung.



MW-Kreuzwickel-
spule mit Ferritkern



Versuch 6

Abstimmkreis und Resonanz

Bevor wir eine verbesserte Detektorschaltung aufbauen, wollen wir uns näher mit der Wirkung des SCHWINGKREISES befassen, so heißt nämlich die Schaltung, die sich in dem Abstimmbaustein befindet. Das Antennensignal gelangt über den 47pF Kopplungskondensator auf eine Anordnung von einem Kondensator, dessen Kapazität von 5pF bis ca. 250pF einstellbar ist und eine Spule (Induktivität); beide sind parallel gegen Masse geschaltet. Für Gleichstrom stellt die Spule mit ihrem fast vernachlässigbaren Drahtwiderstand einen Kurzschluss gegen Masse dar. Für Wechselströme mit sehr hoher Frequenz ist sie dagegen ein sehr großer Widerstand; diese werden über den veränderbaren Kondensator kurzgeschlossen. Kondensator und Spule verhalten sich gegenüber Wechselströmen entgegengesetzt. Der INDUKTIVE WIDERSTAND einer Spule wird mit zunehmender Frequenz größer, der KAPAZITIVE WIDERSTAND eines Kondensators kleiner. Sind Spule und Kondensator - im Abstimmbaustein - parallel geschaltet, so gibt es für eine bestimmte Frequenz, die RESONANZFREQUENZ $f_{res} = 1/2p\overline{ÖLC}$, den Fall, dass beide gleich groß sind. Für Wechselströme, die

genau diese Frequenz haben, hat der PARALLELSCHWINGKREIS bei Vernachlässigung des Spulenwiderstandes und der Leckströme im Kondensator einen unendlich hohen Widerstand. Für Wechselströme mit abweichender Frequenz ist er mehr oder weniger hoch, sie werden geschwächt. Darauf beruht die Selektion eines Senders mit bestimmter Trägerfrequenz im so genannten ABSTIMM- oder RESONANZKREIS.

Im praktischen Fall kann hauptsächlich der Spulenwiderstand nicht vernachlässigt werden, der Widerstand des Parallelschwingkreises bleibt im Resonanzfall deswegen endlich. Wie hoch er wird, hängt wesentlich davon ab, welche Materialien und welche Konstruktion für die Spule verwendet werden. Anfangs verwendete man für Hochfrequenzspulen Zylinderspulen auf Isolierröhrchen, bei denen die Windungen der Wicklung nebeneinander aufgebracht waren, was viel Raum einnahm. Später wurden einfache zylindrische Wickelkörper mit Kreuzspulenwicklung (besonders kapazitätsarm) aus Hf-Litze mit einem Ferritkern zum Einstellen der gewünschten Induktivität verwendet. Dieser Kern kann dazu mehr oder weniger tief in die Spule gedreht werden.

Unser Mittelwellen - Spulenbaustein enthält eine solche hochwertige Spule und wir werden an der

größeren Lautstärke eines schwach empfangenen Senders erkennen, dass im Vergleich zur Detektorschaltung des vorherigen Versuchs die Verluste geringer sind. Abstimmen ist jetzt nicht nur mit dem Drehkondensator, sondern auch mit dem Ferritkern möglich. Die Spule im Abstimmbaustein besteht zwar auch aus verlustarmer Hf - Litze, ist allerdings nicht so kapazitätsarm gewickelt, was später, wenn wir Empfänger mit Verstärkerstufen aufbauen, nicht so entscheidend ist wie bei einem Detektor, da die Verluste wieder ausgeglichen werden können.

Der induktive Scheinwiderstand einer Spule mit der Induktivität L ist:

$$X_L = \omega L = 2\pi fL,$$

der kapazitive Scheinwiderstand eines Kondensators mit der Kapazität C:

$$X_C = 1/\omega C = 1/2\pi fC$$

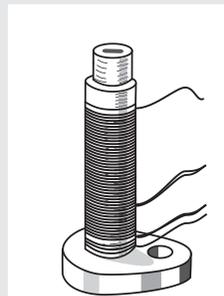
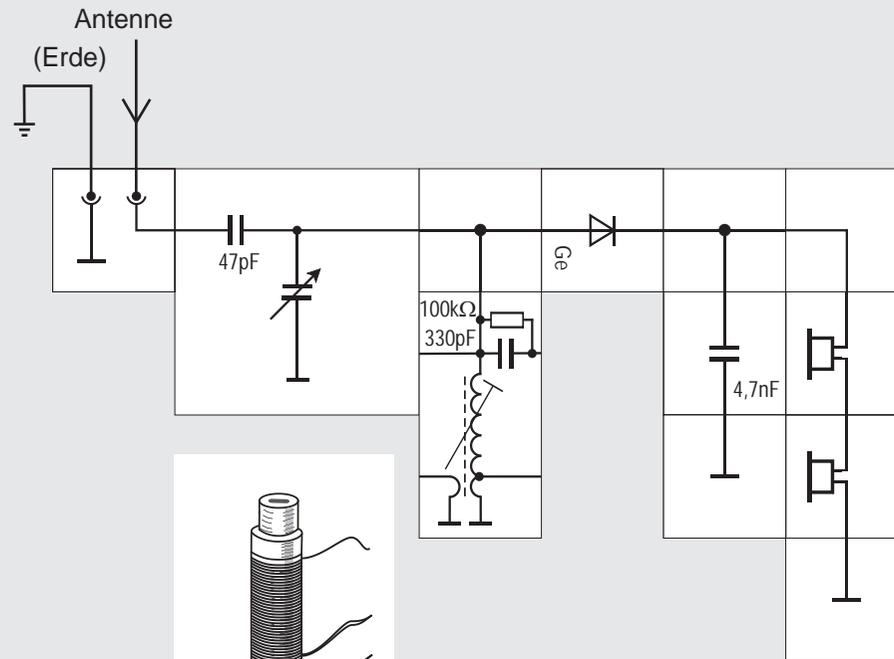
Im Resonanzfall ist $X_L = X_C$ oder

$$\omega L = 1/\omega C$$

$$\omega^2 = 1/LC$$

Mit $\omega = 2\pi f$ ergibt sich daraus für die Resonanzfrequenz:

$$f_{res} = 1/2p\overline{ÖLC}$$



KW-Cu-Lackdrahtspule mit Ferritkern



Versuch 7

Kurzwellendetektor

Mit unserem Mittelwellendetektor werden wir tagsüber nur einen Sender empfangen, wenn wir in der Nähe eines Mittelwellensenders wohnen. Abends, nach Sonnenuntergang verbessern sich die Empfangsverhältnisse auch von Sendern aus anderen Kontinenten geradezu dramatisch, weil dann an elektrisch leitenden oberen Luftschichten der Erde, der Ionosphäre, die Funkwellen gerade der Frequenzen des Mittelwellenbereichs reflektiert werden und dadurch die Reichweite der Sender zunimmt. Wollen wir also bereits am Tage, wenn die reflektierende Schicht noch nicht so ausgebildet ist, Empfang haben, müssen wir auf den Bereich der Kurzwelle (3 - 20 MHz) ausweichen. Wir benötigen dafür natürlich einen Abstimmkreis, der für diese Frequenzen geeignet ist. Den Drehkondensator behalten wir bei und tauschen nur die Spule, die jetzt eine kleinere Induktivität haben muss, aus. Im Experimentierkasten gibt es mehrere Kurzwellenspulen, die für unterschiedliche Frequenzbereiche (Kurzwellenbänder) geeignet sind. Im Vergleich zur Mittelwellenspule fällt auf, dass sie weniger Windungen (ca. 20 - 30) haben und aus Kupferlack-draht

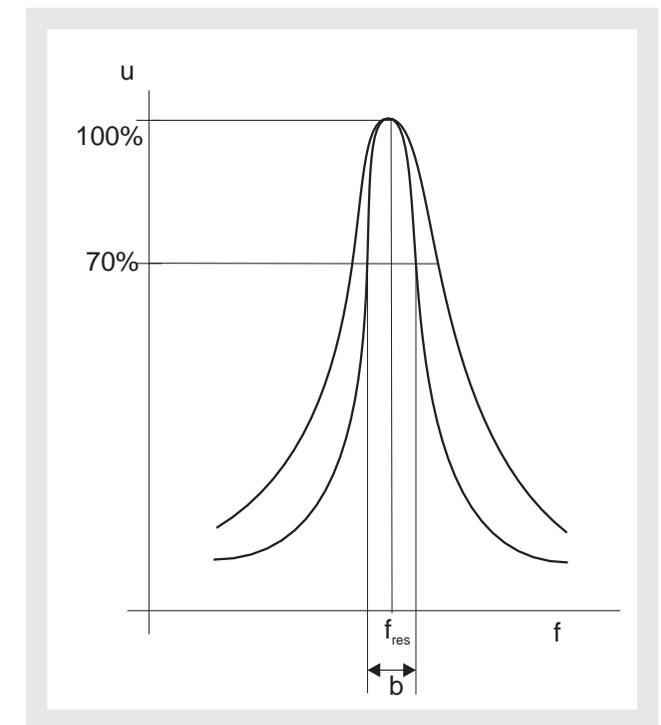
aufgebaut sind. Wir dürfen an die Empfangsqualitäten keine überzogenen Erwartungen stellen, insbesondere, was die Trennschärfe angeht. Wahrscheinlich werden wir mehrere Sender gleichzeitig hören. Das liegt daran, dass die Güte, und damit die Selektion, unseres Abstimmkreises nicht ausreichend hoch ist. Da wir nicht mit idealen Bauteilen arbeiten, ist die im letzten Versuch beschriebene Resonanzkurve mehr oder weniger flach und neben dem gewünschten Sender kommen weitere, die auf benachbarten Frequenzen senden, ebenfalls nahezu ungeschwächt durch unseren Abstimmkreis. Ein Maß für dessen Trennschärfe ist die Güte g . Sie ist definiert als

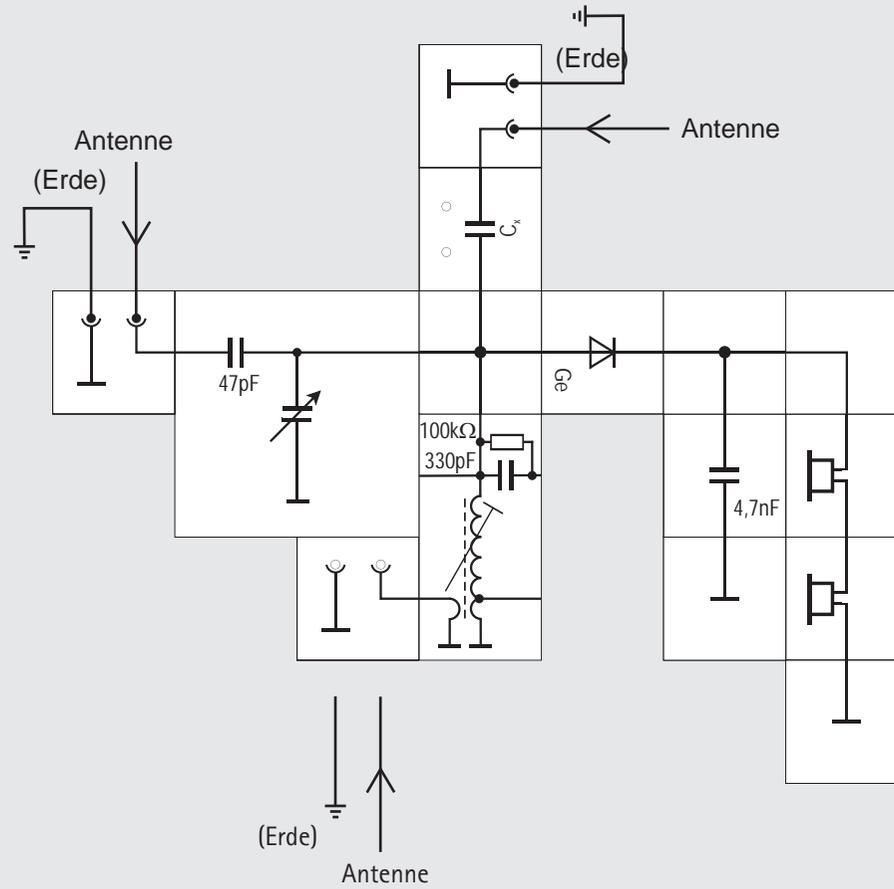
$$g = \frac{\text{Resonanzfrequenz}}{\text{Bandbreite}} \\ g = f_{\text{res}} / b$$

Die Bandbreite eines (Abstimm-)Kreises setzt sich aus dem Frequenzbereich oberhalb und unterhalb der Resonanzfrequenz zusammen, bei dem die auf 100% bei der Resonanzfrequenz gesetzte Spannung jeweils auf 70% abgefallen ist. Es gilt: Je höher die Güte, desto geringer ist die Bandbreite und desto besser werden störende Nachbarfrequenzen unterdrückt.

Ein Beispiel soll das verdeutlichen. Wenn wir mit unseren Kurzwellenspulen und dem Drehkondensator eine Güte $g = 100$ erreichen, was bereits sehr gut

ist, wird bei einer Empfangsfrequenz im 49 m Kurzwellenband von $f_{\text{res}} = 6$ MHz eine Bandbreite von 60 kHz erzielt. Nun sind aber die Abstände der Kurzwellensender häufig nur 10 kHz und weniger auseinander, so dass der Abstimmkreis sie nicht mehr trennen kann und wir mehrere gleichzeitig hören.







Versuch 8

Antennenankopplung

In unseren bisherigen Versuchen haben wir die Antenne, ohne darüber nachzudenken, einfach an den Abstimmkreis angeschlossen und hatten damit meistens wohl Erfolg: Wir empfangen mehrere Sender und die Abstimmung funktionierte auch. Bei Rundfunkempfängern und gerade beim Detektor ohne nachträgliche Verstärkung kommt es aber darauf an, möglichst viel der Energie, die die Antenne auffängt, dem angeschlossenen Empfänger - und hier dem Abstimmkreis - zur Verfügung zu stellen. Betrachten wir die Antenne als Generator mit einem Innenwiderstand, so wissen wir, dass ein Maximum an Energie oder Leistung an die angeschlossene Stufe weiter gegeben wird, wenn LEISTUNGSANPASSUNG vorliegt; dies ist der Fall, wenn Innenwiderstand des Generators und angeschlossener Lastwiderstand gleich groß sind. Jeweils die Hälfte der Lei-

stung des als ideal angenommenen Generators wird dann in jedem der beiden Widerstände umgesetzt. Nun wäre es wirklich Zufall, wenn wir beim einfachen Anschließen eines Stücks Draht an unseren Abstimmkreis Leistungsanpassung erreicht hätten. Wir wollen deswegen mit einer detaillierteren Betrachtung herausfinden, wie wir Leistungsanpassung erreichen können.

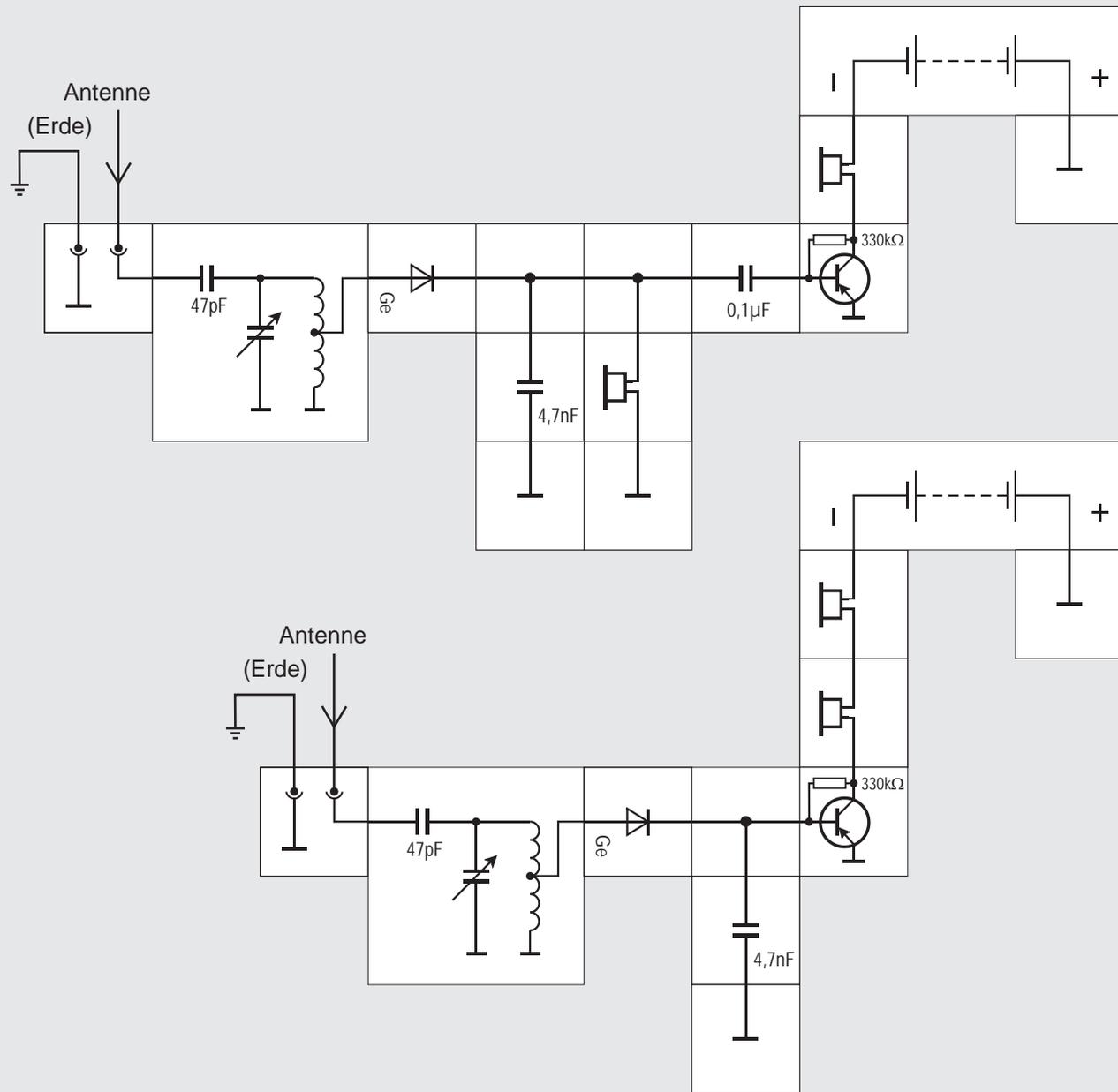
Dazu gehen wir von unserem Detektor für Kurzwellenempfang aus. Eine gute Kurzwellenantenne ist ein Dipol, bestehend aus zwei lang ausgespannten Drähten, beispielsweise jeder 12,5 m lang. Ein abgestimmter Dipol mit der Länge (eines Drahtes) von $l/4$ (l ist die Wellenlänge des Senders, wir empfangen also Sender aus dem 49 m Band, entsprechend der Trägerfrequenz $f = 6$ MHz) wirkt für seine Resonanzfrequenz wie ein Widerstand von 60 bis 70 Ω . Die von der Dipolantenne aufgefangene Energie wird mit geringsten Verlusten zum Eingangskreis transportiert, wenn der Wellenwiderstand des Antennenkabel ebenfalls 60 Ω hat. Nehmen wir an, dass der Drehkondensator im Abstimmkreis bei $C = 200$ pF steht, so hat er einen Scheinwiderstand von $X_c = 1/2\text{pf}C = 133$ Ω . Gehen wir von einer Güte $g = 100$ aus, so ist der Resonanzwiderstand unseres Abstimmkreises 100×133 $\Omega = 13,3$ k Ω .

Vom Abstimmkreis aus betrachtet sieht die Anten-

ne wie ein parallel geschalteter Widerstand aus, der die Güte des Kreises etwa auf die Hälfte herabsetzt; der Resonanzwiderstand beträgt also 6,65 k Ω , was für den Antennenwiderstand von 60 Ω keineswegs Leistungsanpassung ist. Der Antennenwiderstand muss dafür um den Faktor $6,65 / 60 = 110$ hochtransformiert werden. Ein Transformator muss deswegen das Wicklungsverhältnis $\overline{0110} \approx 11$ haben., Bei einer Windungszahl von 33 der Abstimmspule bedeutet das eine Windungszahl von 3 für die Antennenspule. Die LECTRON Abstimmspulen haben deswegen noch eine weitere Spule zum Anschluss der Antenne mit $1/10$ der Windungszahl der Hauptspule.

Meistens haben wir aber gar keinen Dipol, sondern nur einen einfachen, evtl. auch zu kurzen Draht mit der Impedanz von 25 Ω oder weniger. Hier kann eine Ankopplung der Antenne über einen Koppelkondensator mit $C = 200$ pF / 11 = 18 pF ebenso günstig sein. Es lohnt sich also, mit dem Cx - Baustein den eingebauten 47 pF Koppelkondensator zu umgehen und andere Werte auszuprobieren. Die Versuchsschaltung gibt die drei Möglichkeiten der Antennenankopplung wieder. Allgemein können kurze Antennen fester angekoppelt werden, lange Antennen mit loser Kopplung ergeben allerdings bessere Ergebnisse.

09





Versuch 9

Einstufiger Transistorempfänger

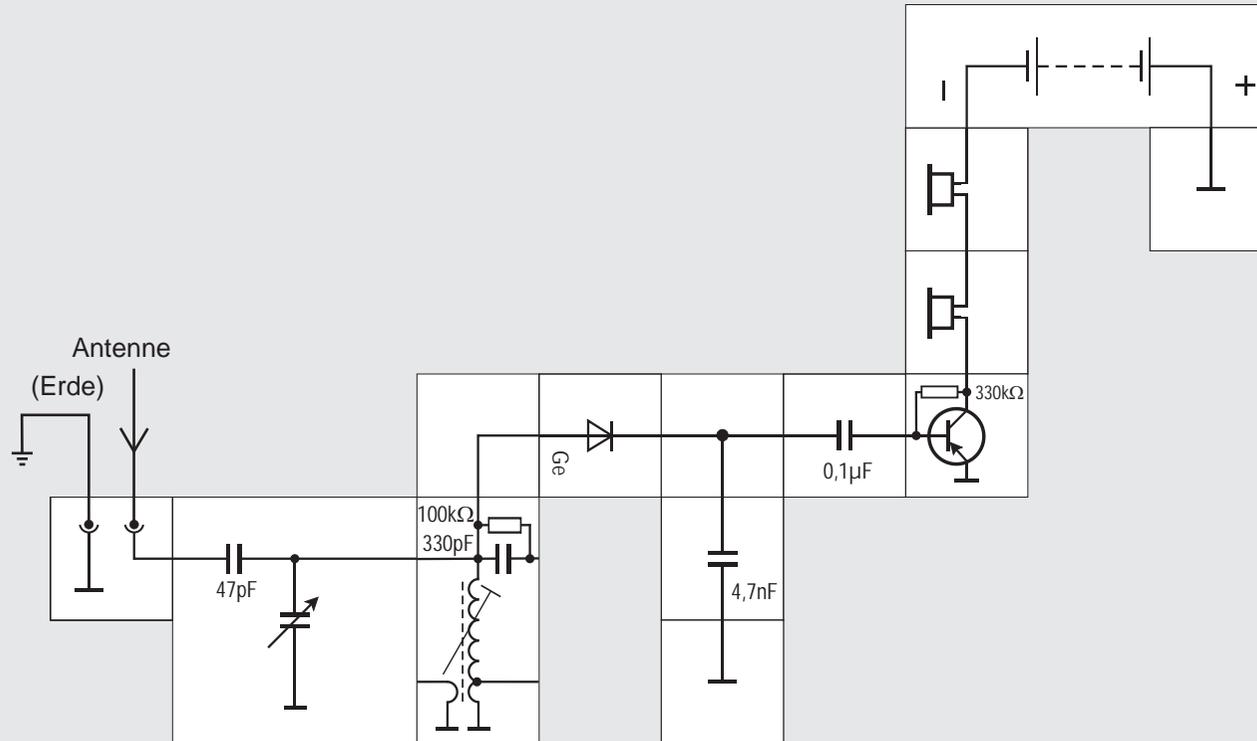
An unsere Detektorschaltung aus Versuch 5 wollen

wir nun eine Transistorverstärkerstufe anschließen. Wir belassen zunächst noch einen Ohrhörer an der Diode und schließen nur den zweiten zwischen Transistor und Batterie an. Der Vergleich der beiden Ohrhörersignale zeigt uns den deutlichen Unterschied zwischen unverstärktem und verstärktem Eingangssignal. Nach diesem Vergleich sollte der linke Hörer entfernt und in Reihe zum rechten geschaltet werden.

Wenn die Germaniumdiode so wie in der Abbildung geschaltet ist, brauchen wir keinen Koppelkondensator vorzusehen. Für die Basisvorspannung des Transistors arbeitet sie in Sperrichtung und der Arbeitspunkt des Transistors verschiebt sich durch die Ankopplung des Detektorteils nicht. Der $0,1\mu\text{F}$ Kondensator sollte trotzdem wieder in die Schaltung eingefügt werden, dann ist es gleichgültig, wie herum die Diode eingebaut ist; der Arbeitspunkt wird nur durch den $330\text{ k}\Omega$ Widerstand festgelegt.

Auch kann man wieder ausprobieren, ob die Empfangsverhältnisse sich verbessern, wenn man die Erde anschließt. Versuchsweise kann bei starken Sendern die Germaniumdiode entfernt und die Ankopplung nur über einen $0,1\mu\text{F}$ Kondensator vorgenommen werden, dann übernimmt die Basis - Emitter - Diode des Transistors die Gleichrichtung des vom Abstimmkreis gelieferten Signals.

10



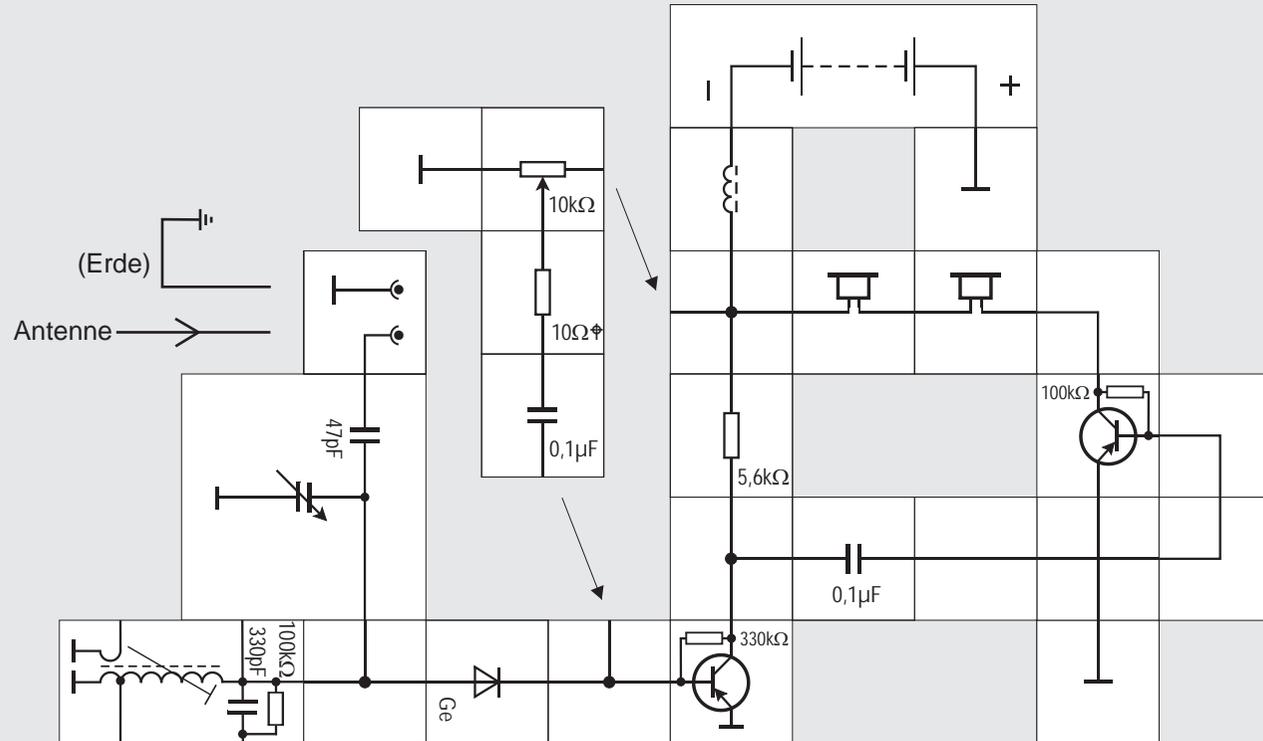


Versuch 10

Einstufiger KW-Transistorempfänger

Natürlich ist es auch möglich, den Detektorschaltungen aus Versuch 8 einen einstufigen Transistorverstärker nachzuschalten. Bei der Ankopplung müssen wir immer darauf achten, die Germaniumdiode »richtig« herum in die Schaltung zu setzen oder besser noch einen Koppelkondensator zusätzlich zu verwenden, damit der Arbeitspunkt des Transistors erhalten bleibt.

Auf jeden Fall sollten die verschiedenen Antennenankopplungen auch bei diesem einstufigen Transistorempfänger ausprobiert werden.





Versuch 11

Zweistufiger Transistorempfänger mit Rückkopplung

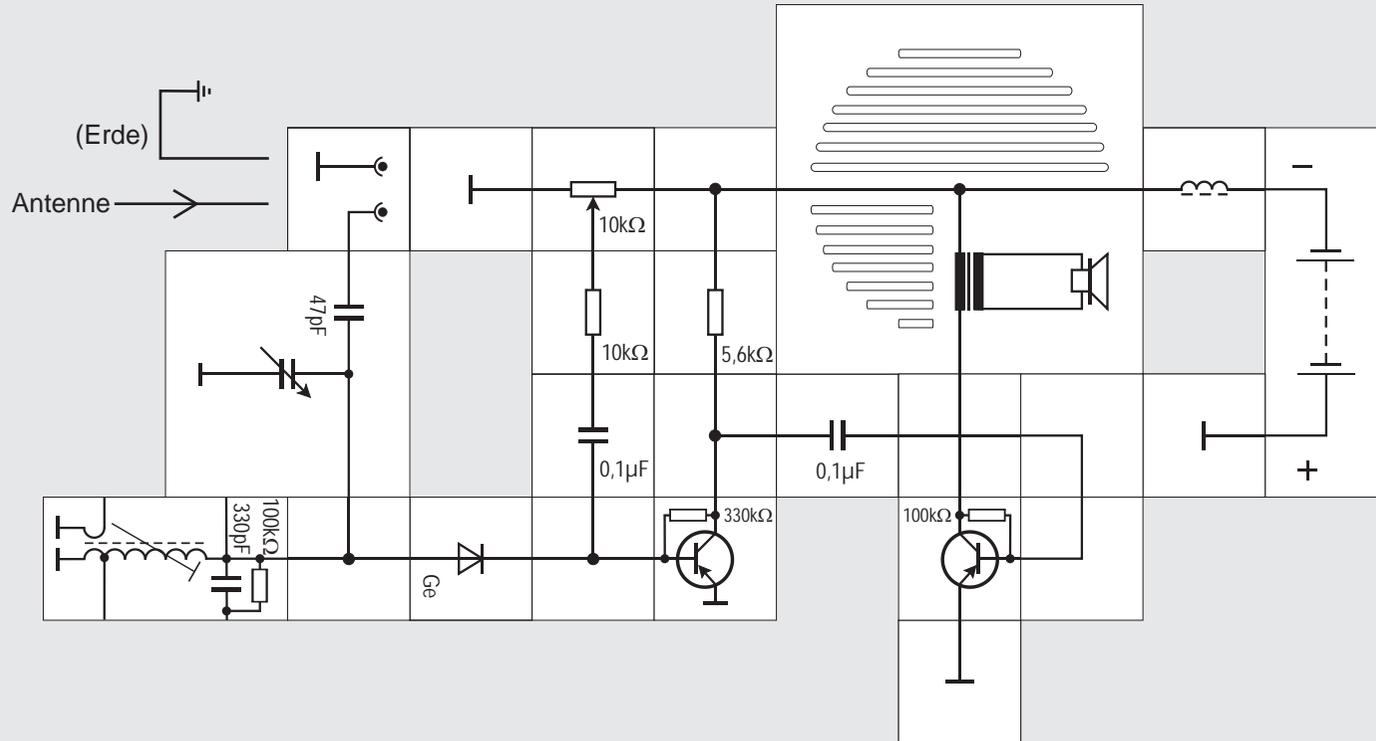
Wir brauchen es bei einer Transistor - Verstärkerstufe nicht zu belassen, sondern können noch eine zweite anschließen. Da wir nur Wechselsignale verstärken wollen, geschieht das über einen Kondensator, der diese durchlässt, für Gleichsignale aber ein großes Hindernis darstellt. Den links oben dargestellten Schaltungsteil schließen wir noch nicht an. Die zweite Transistorstufe bauen wir mit einem weiteren pnp - Germanium - Transistor auf.

Nach Anlegen der Batterie werden wir bemerken, dass die Lautstärke durch die nochmalige Verstärkung erheblich größer geworden ist und wir auch leisere Sender besser hören können.

Die Lautstärke unseres Empfängers können wir nun weiter erhöhen, ohne den eigentlichen Verstärker oder die Antennenverhältnisse zu verändern. Durch Anschließen des zusätzlichen Schaltungsteils, bei dem zunächst der Drehknopf des Potentiometers im Gegenuhrzeigersinn ganz nach links gedreht sein sollte, geben wir bereits verstärkte Signale noch einmal auf die erste Verstärkerstufe. Wir haben deswe-

gen auch den bisher vorhandenen 3,3 nF Kondensator, der die Hf nach Masse leitete, weggelassen, da wir die Hf mit der Nf verstärken wollen. Wir drehen den Knopf vorsichtig im Uhrzeigersinn, bis ein Pfeifton zu hören ist und dann ein wenig zurück. Bei dem Pfeifton handelt es sich um das typische Rückkopplungspfeifen: Ein Teil der verstärkten Schwingungen (Hf und Nf) wird nämlich über den Rückkopplungsweg vom Kollektor des zweiten Transistors dem Verstärkereingang (Basis des ersten Transistors) zugeführt und nochmals verstärkt. Durch diese Mehrfachverstärkung erhöht sich die Güte des Schwingkreises und damit erhöhen sich Trennschärfe und Lautstärke, weil die Verluste ausgeglichen werden. Damit die Stromversorgung die Hf nicht kurzschließt, muss eine Hf- Drossel in die Minus-Leitung gelegt werden. Sie stellt für Wechselströme hoher Frequenz einen großen Widerstand dar, während sie Gleichstrom nahezu ungehindert passieren lässt. Geben wir zu viel von dem verstärkten Signal noch einmal auf den Eingang, setzt der Rückkopplungspfeifton ein, die Schaltung führt dann Eigenschwingungen aus und wir können das Sendersignal nicht mehr hören.

Auch diese Schaltung sollte wieder mit den anderen Spulen und den weiteren Möglichkeiten der Antennenanpassung ausprobiert werden.





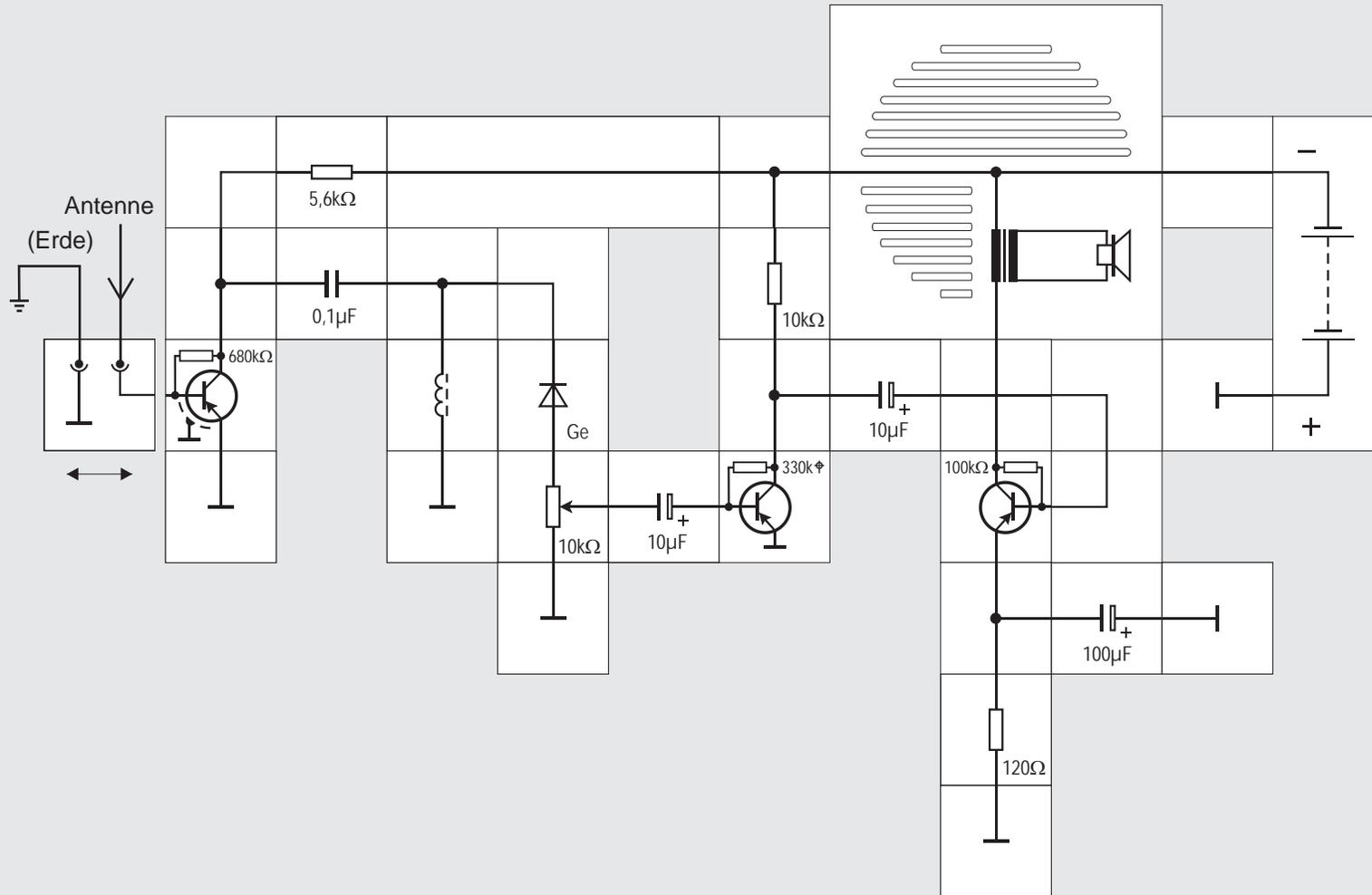
Versuch 12

Zweistufiger Transistorempfänger mit Rückkopplung und Lautsprecher

Wir werden bemerkt haben, dass der Empfang recht laut - fast schon zu laut - für unsere Ohren ist. Da liegt es nahe zu versuchen, statt der Ohrhörer einen Lautsprecher anzuschließen.

Auf dem Lautsprecherbaustein sehen wir, dass der Lautsprecher nicht direkt, sondern über einen Übertrager angeschlossen wird. Dieser Nf - Übertrager hat die gleiche Aufgabe wie antennenseitig der Hf - Übertrager im Spulenbaustein, er soll für eine Leistungsanpassung sorgen (Versuch 8).

Hatten wir die Ohrhörer mit ihrem Innenwiderstand von circa 600Ω pro Hörer bisher direkt in die Kollektorleitung des Transistors gelegt, so würde das mit dem Lautsprecher und seinen 8Ω zu einer krasen Fehlanpassung an den Innenwiderstand des Transistors führen. Deswegen gibt es in dem Lautsprecherbaustein einen Übertrager mit dem Übersetzungsverhältnis $\ddot{u} = 5:1$, der den Lautsprecherwiderstand auf $\ddot{u}^2 \cdot 8 \Omega = 200 \Omega$ transformiert. Das ist zwar immer noch nicht ideal, aber schon erheblich besser als ohne Übertrager.





Versuch 13

Dreistufiger Transistorempfänger mit Lautsprecher

Eine andere Möglichkeit, einen Empfänger mit Lautsprecherwiedergabe zu betreiben, besteht darin, das Hochfrequenzsignal von der Antenne in einer Stufe zu verstärken, bevor wir es der Diode zum Demodulieren zuführen. Wir benötigen dann keine Rückkopplung.

Wir lassen zunächst die Abstimmereinheit weg; unser Schaltbild zeigt, dass die von der Antenne kommenden Hochfrequenz-Wechselspannungen unmittelbar dem Basisanschluss des ersten Transistors zugeführt werden. Dieser sogenannte Eingangstransistor verstärkt die empfangene Hochfrequenzspannung. Über einen Widerstand von $5,6 \text{ k}\Omega$ ist der

Transistor an die Batterie - Gleichspannung angeschlossen. Diese ständig anliegende Gleichspannung würde ein einwandfreies Arbeiten der nachfolgenden Diode unmöglich machen, denn diese soll nur die Hochfrequenzspannung gleichrichten. Daher ist zwischen dem Kollektor des ersten Transistors und der Diode ein Kondensator von $0,1 \mu\text{F}$ eingefügt, der die Batteriespannung sperrt. Als Arbeitswiderstand für die Hochfrequenzspannung wirkt dann auch nicht der $5,6 \text{ k}\Omega$ Widerstand, sondern der Spulenbaustein. Im Gegensatz zum Kondensator hat eine Spule für Gleichstrom praktisch keinen Widerstand. Bei Wechselstrom hat sie jedoch, je nach Anzahl der Windungen einen sehr hohen Widerstand. Parallel zum Spulenbaustein erhält man die von der Antenne aufgenommene und im ersten Transistor verstärkte Hochfrequenz-Wechselspannung. Die Wechselspannung wird nun der Diode zugeleitet und von dieser gleichgerichtet. Nach der Diode, also am Potentiometerbaustein, steht dann die aus der modulierten Hochfrequenzspannung zurückgewonnene Niederfrequenzspannung (Tonfrequenz) wieder zur Verfügung. Je nach Lautstärkebedarf nimmt man am Potentiometer die gesamte Niederfrequenzspannung oder nur einen Teil davon ab und steuert damit den folgenden zweistufigen Niederfrequenzverstärker; dieser ist so leistungsfähig, dass damit ein Lautsprecher be-

trieben werden kann. Als Koppelkondensatoren für die Nf verwenden wir die größeren $10 \mu\text{F}$ Kondensatoren. Zur Arbeitspunktstabilisierung gibt es einen 120Ω Widerstand in der Emitterleitung des letzten Transistors. Damit die Wechselspannung des Nutzsinalns trotzdem voll verstärkt wird, ist der Widerstand für sie mit einem $100 \mu\text{F}$ Kondensator überbrückt.

Bei angeschlossener Antenne wird nun die Batterie eingeschaltet und zunächst am Potentiometer die volle Spannung abgegriffen. Im Lautsprecher wird man dann eine ganze Reihe von Rundfunksendern gleichzeitig hören können. Wohnt man in der Nähe eines starken Ortssenders, dann hört man diesen am lautesten und muss eventuell am Potentiometer die Lautstärke vermindern. Das Ausschuchen eines bestimmten Senders ist mit dieser Schaltung wegen der fehlenden Abstimmereinheit natürlich nicht möglich. Es kann wegen der zusätzlichen Hf - Verstärkung auch sein, dass ein Ortssender stark einfällt und es zu Verzerrungen kommt. Dann sollte die Antenne über einen kleinen Koppelkondensator von wenigen Picofarad an die erste Stufe angeschlossen werden. Der Kondensator entsteht einfach dadurch, dass der Anschlussbaustein einige Millimeter vom Transistorbaustein abgerückt wird, eine leitende Verbindung zwischen den Kontaktplättchen beider Bausteine also nicht mehr vorhanden ist.

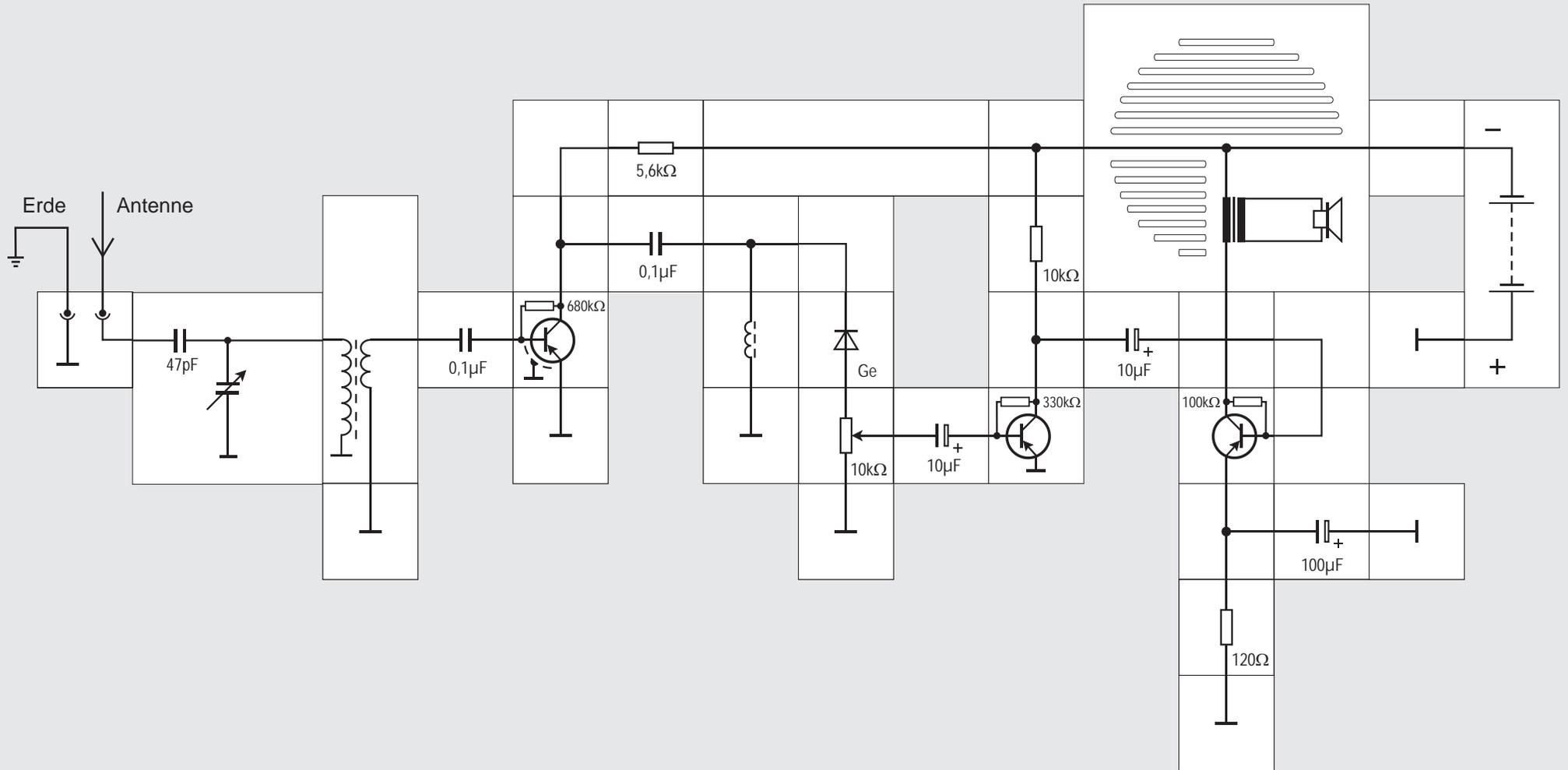


Versuch 14

Abstimmbarer dreistufiger Transistorempfänger mit Lautsprecher

Wollen wir unseren dreistufigen Empfänger des vorherigen Versuchs mit einem Abstimmkreis versehen, so dürfen wir diesen nicht direkt an die Basis anschließen. Der Arbeitspunkt des ersten Transistors würde sich durch die galvanische Verbindung über die Spule mit Masse unzulässig verschieben. Wir benötigen also einen kleinen Koppelkondensator und benutzen den 47pF aus dem Drehkondensator - Baustein dafür. Da wir nun zur Antennenanpassung diesen Kondensator nicht mehr benutzen können, bedienen wir uns wieder des Tricks aus dem vorherigen Versuch und ziehen bei Bedarf den Anschlussbaustein etwas ab. Natürlich können wir auch die Antenne induktiv über die Zusatzwicklung des Spulenbausteins ankoppeln. Im Versuchsaufbau sind beide Möglichkeiten eingezeichnet.

15





gebaut ist. Wie das Schaltbild zeigt, handelt es sich eigentlich nicht nur um eine Spule, sondern um zwei. Zum Abstimmkreis gehört jedoch nur eine davon. Über die zweite Spule (Koppelspule) wird die vom Schwingkreis herausgesuchte Hochfrequenzspannung ausgekoppelt. Das ist notwendig, um den Schwingkreis an den nachfolgenden Transistoreingang besser anpassen zu können. Damit bildet dieser Baustein also einen Transformator. Die Ankopplung an die Basis des ersten Transistors geschieht wieder über einen Koppelkondensator, da andernfalls ein Gleichstromweg über die Spule nach Masse bestünde, der den Arbeitspunkt des Transistors verschöbe.

Beide Spulen sind gemeinsam auf einen stabförmigen Kern aus einem besonderen Material, das uns bereits bei den Abstimmkernen begegnete – einen sogenannten FERRITSTAB – gewickelt. Bei einem empfindlichen Rundfunkempfänger, wie wir ihn noch aufbauen werden, genügt bereits dieser Ferritstab als Antenne, und man kann auf den Anschluss einer zusätzlichen Antenne verzichten. Dabei ist allerdings zu beachten, dass eine solche Anordnung richtungsempfindlich ist. Die größte Lautstärke im Empfänger erzielt man dann, wenn der Ferritstab quer zu der Richtung liegt, aus der der jeweilige Sender empfangen wird. Auf diese Weise lassen sich ge-

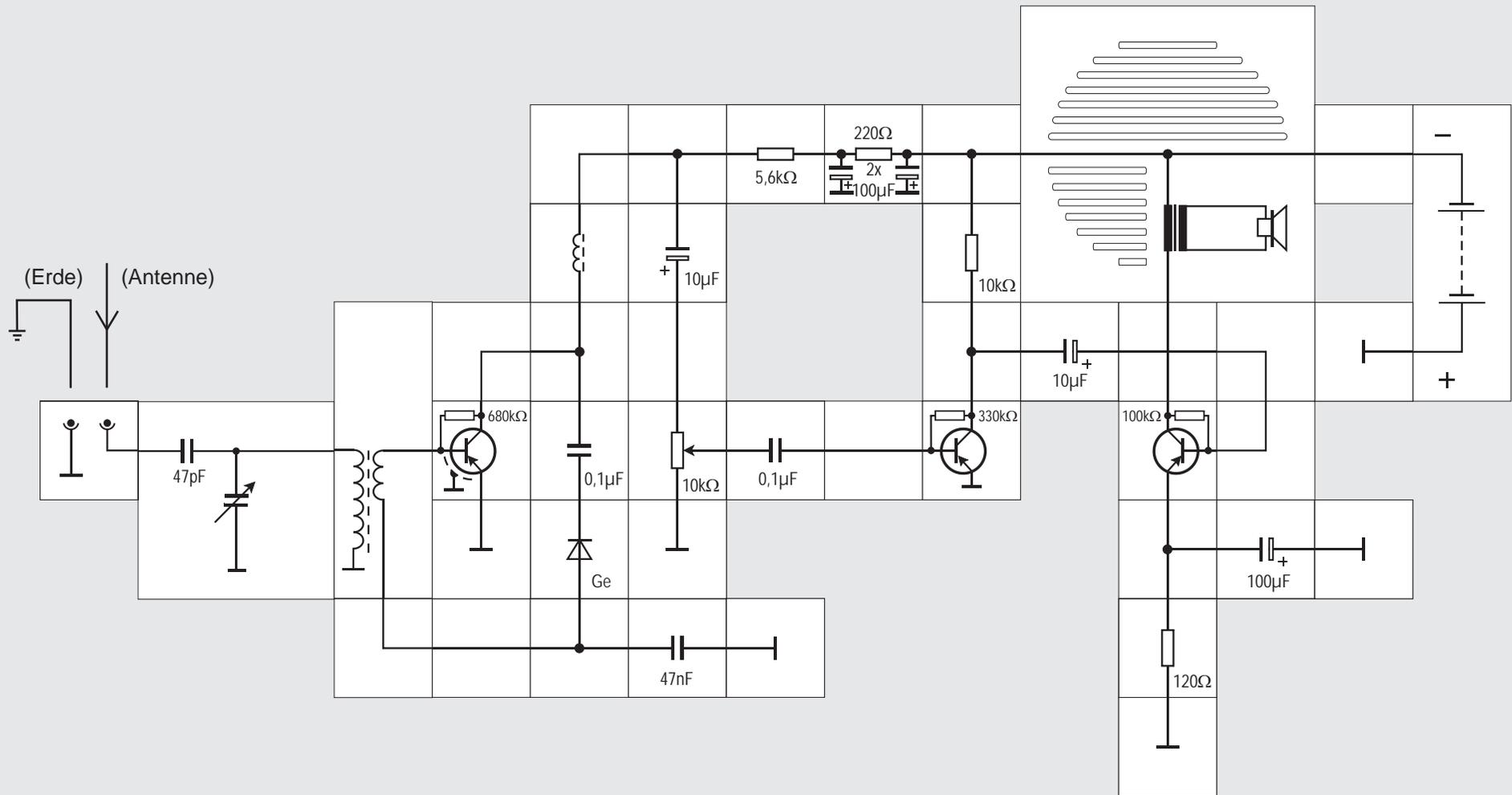
benenfalls auch Sender besser trennen, deren Frequenzen nahe beieinander liegen und die daher durch die Abstimmwirkung des Schwingkreises allein nicht einwandfrei getrennt werden können. Rundfunkempfänger sind dafür mit einer drehbaren Ferritantenne ausgerüstet.

Der Aufbau der Verstärkerstufen und die Gleichrichtung der Hochfrequenzspannung entspricht bei dieser Schaltung dem vorigen Versuch. Lediglich die Ankopplung der Antenne wird über die Abstimmbausteine vorgenommen. Sie ist auch bei dieser Schaltung noch notwendig. Die Antennenspannung gelangt über den 47 pF Kondensator an den Schwingkreis. Über die Koppelspule und den 0,1 μ F Kondensator wird die Hochfrequenzspannung der Basis des Eingangstransistors zugeführt. Durch Drehen am Abstimmkondensator lassen sich einzelne Sender heraussuchen; wir können das Gerät abstimmen. Da hier nur ein einziger Abstimmkreis vorhanden ist, erreicht man allerdings noch keine sehr große Trennschärfe. Moderne Rundfunkempfänger arbeiten mit mehreren Abstimmkreisen und haben damit eine wesentlich bessere Trennschärfe. Mit dem Versuchsaufbau können wir – vor allem abends – mehrere starke Sender im Mittelwellenbereich einwandfrei empfangen.

Versuch 15

Dreistufiger Transistorempfänger mit Ferritantenne

Statt der bisher verwendeten Abstimmseinheiten wollen wir nun eine weitere einsetzen. Wir behalten den Drehkondensator bei und verwenden eine Schwingkreisspule, die in einem Dreierbaustein ein-





Versuch 16

Transistorempfänger mit doppelter Ausnutzung eines Transistors

Durch einen besonderen Kunstgriff kann man einen Rundfunkempfänger mit drei Transistoren, wie er in den letzten Schaltungen aufgebaut wurde, noch wesentlich empfindlicher machen, wenn man einen Transistor doppelt - zur Hochfrequenz- und zur Niederfrequenzverstärkung - ausnutzt. Man erhält eine Hochfrequenz- und drei Niederfrequenzverstärkerstufen. Bei einer solchen Vielzahl von Verstärkerstufen kann es vorkommen, dass zwischen den einzelnen Stufen über die Stromquelle (Batterie) eine unerwünschte Rückkopplung erfolgt. Die Schaltung beginnt wie gewohnt zu pfeifen. Um das zu vermeiden, müssen die Verstärkerstufen gegenseitig mit einem RC - Glied ($220 \Omega / 2 \times 100 \mu\text{F}$) entkoppelt werden.

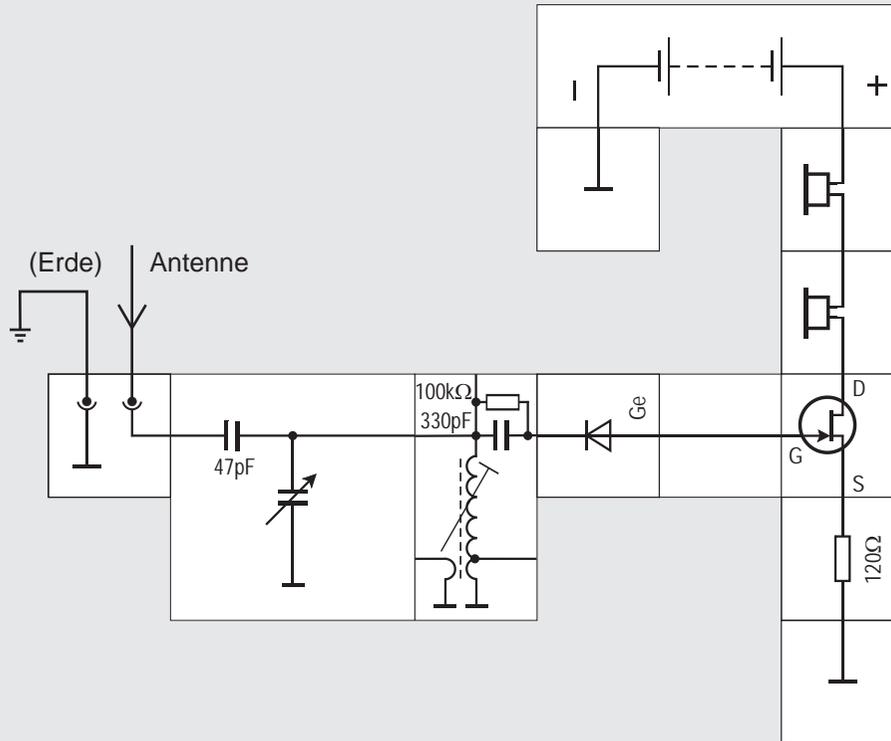
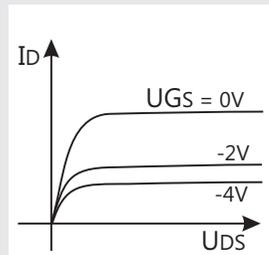
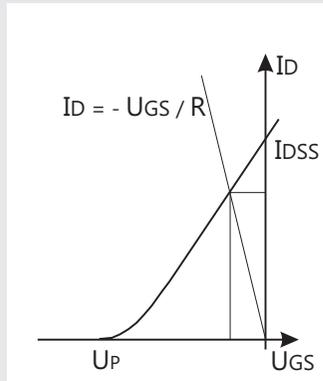
Wie beim letzten Versuch erfolgt auch hier mit dem Schwingkreis eine Abstimmung auf den gewünschten Sender. Die Hochfrequenzspannung gelangt über die Koppelspule zur Basis des ersten Transistors. Hier kann auf die Zwischenschaltung eines Kondensators verzichtet werden, da der andere An-

schluss der Koppelspule über einen 47 nF Kondensator an Masse gelegt ist. Im Kollektorkreis dieses Transistors liegt zunächst der Spulenbaustein als Arbeitswiderstand. Für die Hochfrequenz - Wechselspannung stellt er einen sehr großen Widerstand dar. Über den Spulenbaustein kann daher praktisch kein Hochfrequenzstrom fließen. Die vom Schwingkreis ausgesuchte und im Transistor verstärkte Hochfrequenzspannung steht daher in voller Größe an seinem Kollektor zur Verfügung. Über einen $0,1 \mu\text{F}$ Kondensator erreicht sie die Diode und wird von ihr gleichgerichtet. An dem zwischen der Diode und Masse liegenden 47 nF Kondensator entsteht die gleichgerichtete Hochfrequenzspannung, also die Niederfrequenz- (Tonfrequenz-) Spannung. Über die Koppelspule wird diese Niederfrequenz wieder der Basis des ersten Transistors zugeführt. Da die Induktivität der Koppelspule gering und die Frequenz niedrig ist, stellt die Spule keinen Widerstand für die Niederfrequenz dar. Auch die Niederfrequenz wird jetzt im ersten Transistor verstärkt. Für diese Frequenz bedeutet der vom Kollektor zur Diode führende $0,1 \mu\text{F}$ Kondensator einen großen Widerstand, daher wird in diesem Stromkreis praktisch kein Niederfrequenz-Wechselstrom fließen. Dagegen bildet der Spulenbaustein im Kollektorkreis für die Niederfrequenz einen geringen Wider-

stand. Als Arbeitswiderstand für die Niederfrequenz ist daher der in Reihe zum Spulenbaustein liegende $5,6 \text{ k}\Omega$ Widerstand anzusehen. Die verstärkte Niederfrequenz kann somit an diesem Widerstand abgenommen werden und gelangt über einen weiteren Kondensator von $10 \mu\text{F}$ zum Potentiometer. Von dort aus erfolgt die weitere Verstärkung der Niederfrequenzspannung wie in den vorhergehenden Versuchsschaltungen.

In die Stromzuführungsleitung des ersten Transistors ist das Entkopplungsglied eingefügt, um eine unerwünschte Rückkopplung zu vermeiden.

Da in dieser Schaltung gegenüber dem letzten Versuch eine nochmalige Verstärkung der Niederfrequenz stattfindet, ist eine erheblich größere Empfindlichkeit zu erreichen. Wir können daher auf den Anschluss einer zusätzlichen Antenne verzichten und den eingebauten Ferritstab als Antenne verwenden. In der Beschreibung der Abstimmungsschaltung wurde schon auf die Richtungsempfindlichkeit einer solchen Ferritstab - Antenne, die statt des elektrischen das magnetische Feld des Senders empfängt, hingewiesen. Um eine gute Empfangsleistung zu erzielen, müssen wir daher den Versuchsaufbau mit der Grundplatte so drehen, bis die größte Lautstärke des eingestellten Senders auftritt. Die Ferritstabachse liegt dann quer zur Senderrichtung.





Versuch 17

Transistorempfänger mit Feldeffekttransistor

Nach diesen Experimenten mit Rundfunkempfängern wollen wir noch kurz einen Transistor vorstellen, der nicht mit einem Strom, sondern mit einer Spannung gesteuert wird, nämlich den Feldeffekttransistor, kurz FET genannt. Er weist in dieser Hinsicht Gemeinsamkeiten mit der Elektronenröhre auf, die in ähnlicher Weise gesteuert wird.

Das Prinzip des Feldeffekttransistors ist seit Mitte der dreißiger Jahre des vorigen Jahrhunderts bekannt, also bereits vor Erfindung der so genannten BIPOLAREN Transistoren, mit denen wir bisher experimentiert haben. Wegen der damals noch nicht entwickelten Fertigungstechniken und unzureichender Kenntnisse über die Vorgänge in Halbleitern konnte er jedoch nicht gebaut werden. Das Prinzip des FET beruht auf der Steuerung eines Stroms in einem Halbleiterkanal durch ein senkrecht zur Stromrichtung wirkendes elektrisches Feld. Das Steuerfeld wirkt auf den Kanal über eine Isolierschicht; nach Art dieser Schicht unterscheidet man zwei Grundformen:

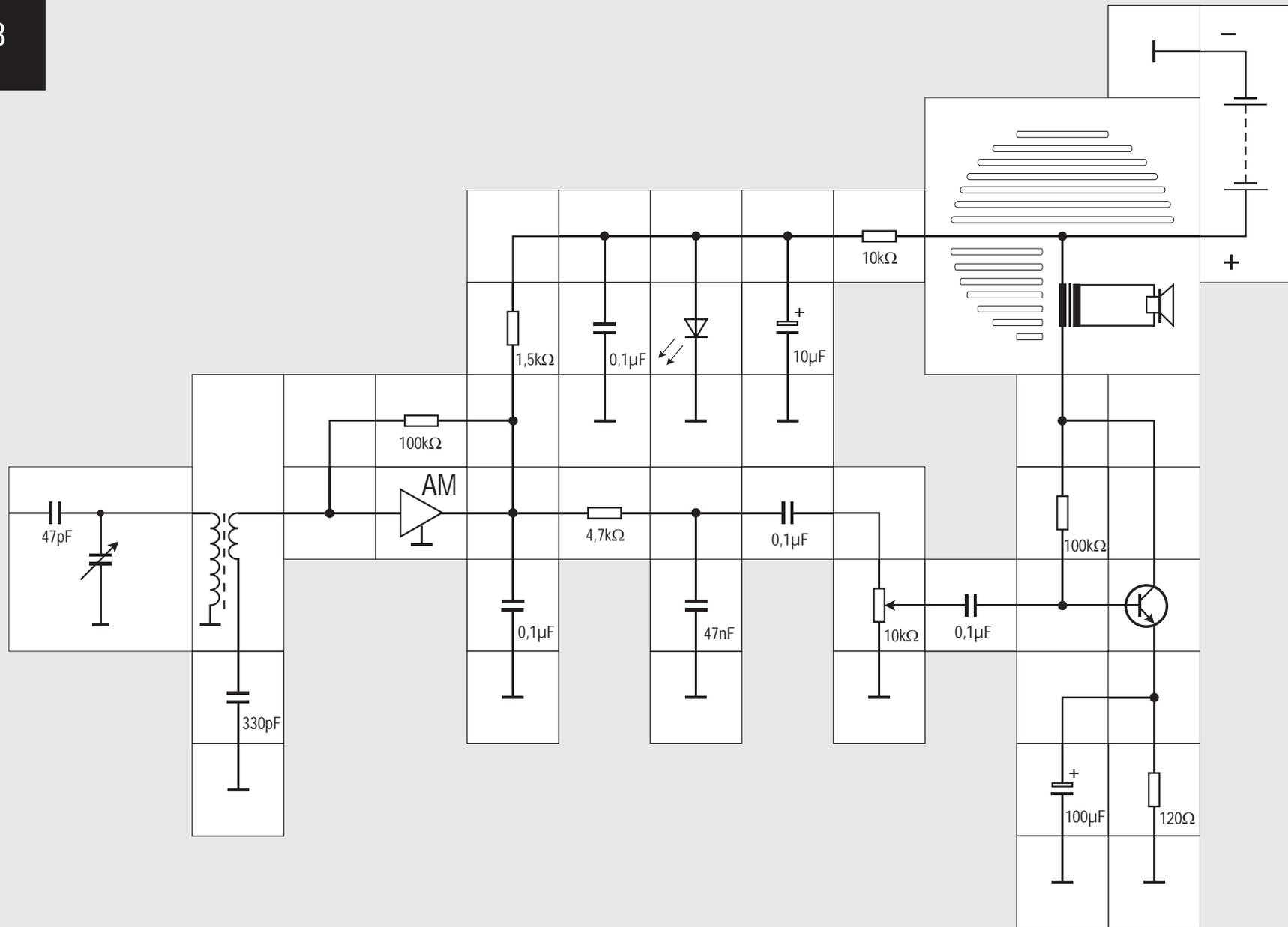
Den MOS-FET oder IG-FET (engl. metal - oxid - semi-

conductor bzw. insulated gate transistor), bei dem die Steuerelektrode durch eine Isolierschicht vom Kanal getrennt ist, und den Sperrschicht-FET, bei dem das Steuerfeld über einen in Rückwärtsrichtung vorgespannten pn - Übergang auf den Kanal wirkt, deswegen auch pn-FET genannt.

Genauso wie es pnp und npn bipolare Transistoren gibt, kann man bei FETs p-Kanal und n-Kanal Typen unterscheiden. Wir wollen uns nur mit dem Sperrschicht-FET beschäftigen und eine kleine Verstärkerstufe damit aufbauen. Der LECTRON FET - Baustein enthält den n-Kanal Typ BF244/45; seine Elektroden heißen Source S (entspricht dem Emitter), Gate G (Basis) und Drain D (Kollektor). Sein höchster Drainstrom $I_D = I_{DSS}$ fließt bei $U_{GS} = 0$. Die Polarität der Gatespannung kann nur in der Richtung gewählt werden, dass der Drainstrom kleiner wird, andernfalls flösse ein unerwünschter Gatestrom, weil der pn - Übergang dann in leitender Richtung betrieben würde. Die U_{GS} - Spannung, die erforderlich ist, den Transistor zu sperren, wird als Abschnürspannung (pinchoff voltage) U_p bezeichnet.

In unserem Versuchsaufbau ist an die Gleichrichterdiode der FET angeschlossen, wobei sein Arbeitspunkt mit dem Widerstand in der Source -Leitung eingestellt wird. Es ist $I_D = - U_{GS} / R$.

18





Versuch 18

MW - Empfänger mit integriertem Schaltkreis

Zum Abschluss der Experimente mit Transistorempfängern wollen wir noch einen Schaltkreis vorstellen, bei dem die Stufen Hf - Verstärkung, Demodulation und Schwundregelung auf einem einzigen Siliziumkristall realisiert sind; wir müssen lediglich die Stufen Abstimmkreis und Endstufe hinzufügen. Dieser Baustein wurde ursprünglich von der Firma Ferranti unter der Bezeichnung ZN414 in einem dreipoligen Transistorgehäuse herausgebracht und arbeitet mit nur 1,5 V Versorgungsspannung und einem Ohrhörer. Es ist allerdings auch möglich über einen Ausgangsübertrager, wie ihn der LECTRON - Lautsprecherbaustein enthält, einen 8 Ω Lautsprecher zu betreiben. Mittlerweile ist er unter der Bezeichnung MK484 von einer anderen Firma erhältlich, da bei Ferranti die Produktion eingestellt wurde.

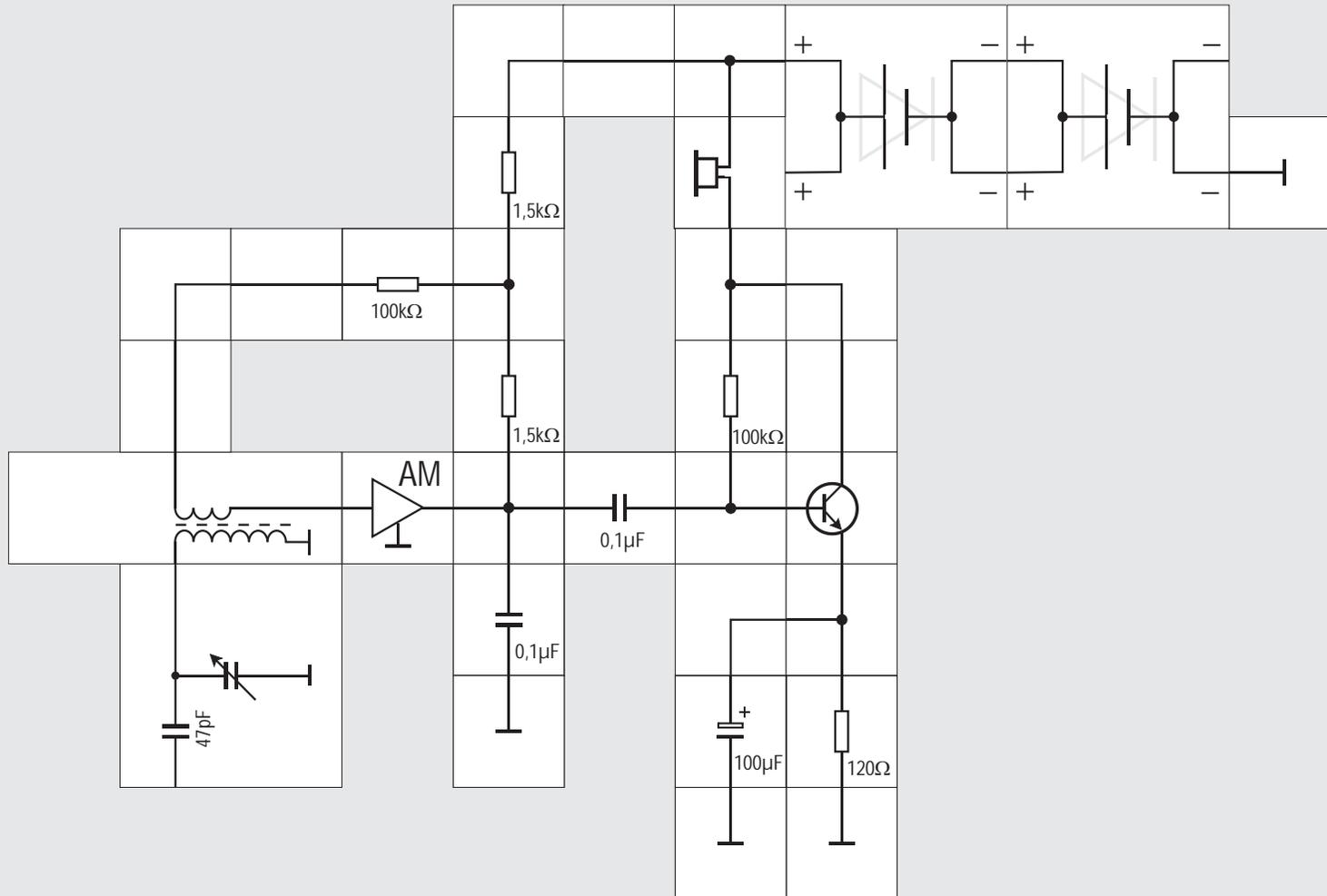
Der Abstimmkreis ist in der von der Herstellfirma gelieferten Applikation ein Parallelschwingkreis mit Drehkondensator und Ferritstabantenne; er liegt in Reihe zum 100 k Ω Widerstand, der den Ausgang mit dem Eingang des integrierten Schaltkreises ver-

bindet. Da sowohl der LECTRON - Drehkondensator als auch die Ferritantenne einseitig mit Masse verbunden sind, müssen wir leicht geänderte Konfigurationen wählen.

Zur Gewinnung der 1,5 V Versorgungsspannung aus der 9 V Batteriespannung und Stabilisierung dient die rote Leuchtdiode mit dem 10 k Ω Vorwiderstand. Der Baustein benötigt lediglich 0,3 mA Versorgungsstrom. Beim Empfang eines Senders können wir sehen, wie die Helligkeit der Leuchtdiode im Takt von Sprache oder Musik etwas schwankt. Die Endstufe mit dem npn - Transistor ist kapazitiv an den Ausgang angekoppelt. Am 10 k Ω Potentiometer lässt sich die Lautstärke einstellen. Die Arbeitspunkt festlegung des Transistors geschieht mit dem 100 k Ω Kollektor - Basis -Widerstand. Außerdem ist der Transistor mit der 120 Ω / 100 μ F RC - Kombination leicht gegengekoppelt.

Wir werden tagsüber ohne Schwierigkeiten den Ortssender und abends viele andere MW - Sender empfangen. Durch die Ferritantenne ist der Aufbau richtungsempfindlich, durch Drehen der ganzen Versuchsanordnung ist es möglich, ein Maximum an Feldstärke in dem Ferritstab zu erzeugen, nämlich dann, wenn seine Stabachse 90° zur Richtung, in der der Sender steht, liegt.

19*





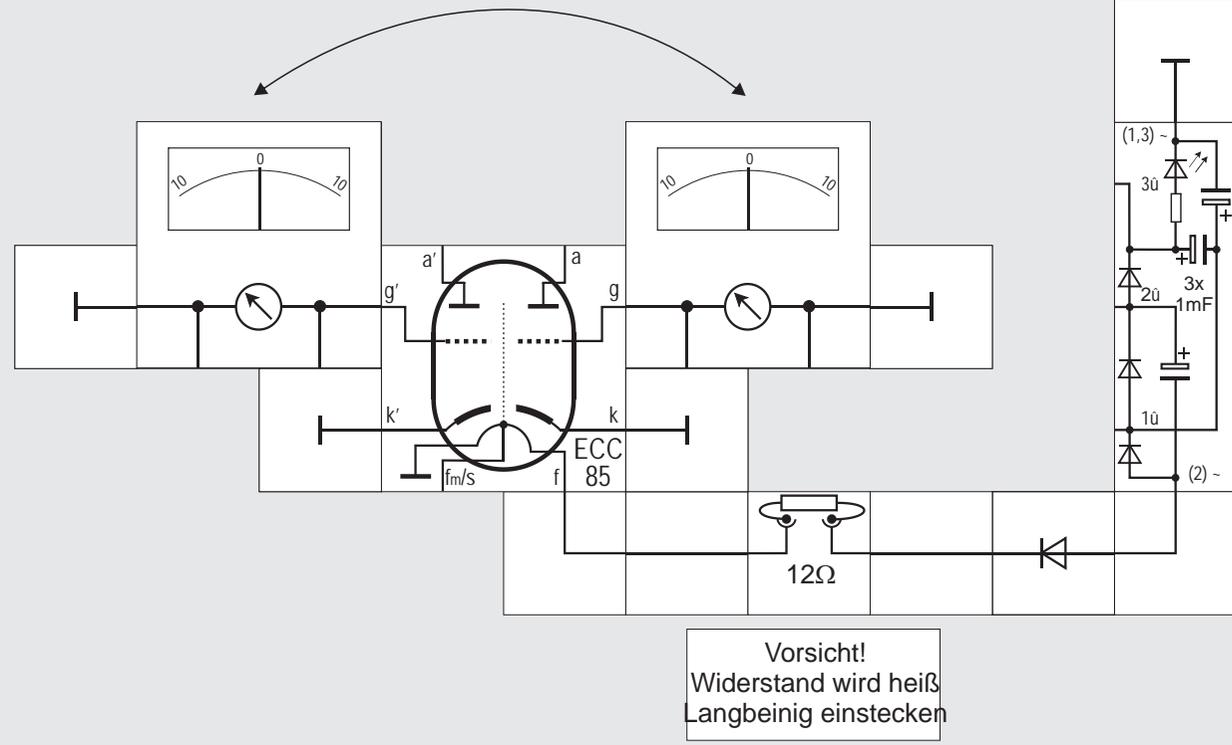
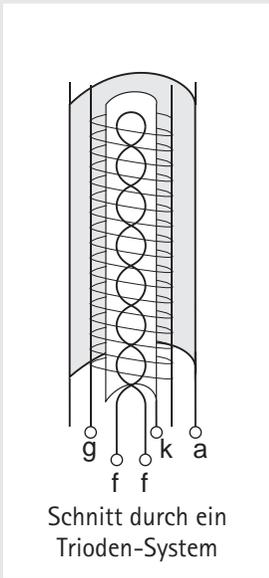
Versuch 19*

MW - Empfänger mit Solarzelle

Da der integrierte Schaltkreis aus dem vorherigen Experiment nur 1,5 V Versorgungsspannung benötigt, bietet es sich an, ihn mit zwei Solarzellen statt mit einer herkömmlichen Batterie zu betreiben. Wer den LECTRON Experimentierkasten »Optoelektronik & Solartechnik«, der fünf dieser auffallend blauen Solarzellen enthält, nicht besitzt, kann sie unter der Bestellnummer 2610 von LECTRON einzeln beziehen.

Die Schaltung ist noch einmal weiter vereinfacht, da die Stabilisierung wegfällt. Der Abstimmkreis ist in einer anderen Variante als im vorherigen Versuch angekoppelt. Trotz der geringen Versorgungsspannung ist ebenso ein Lautsprecherempfang zumindest des Ortssenders möglich, wenn die Sonne scheint.

20





Lectron

Versuch 20

Aufbau der Elektronenröhre

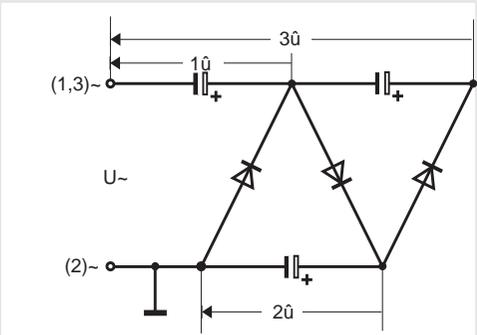
Bevor der Transistor zu Beginn der sechziger Jahre seinen Siegeszug antrat, waren die Rundfunkempfänger mit Elektronenröhren ausgerüstet. Es gab keine andere Möglichkeit, das von der Antenne aufgefangene Signal so weit zu verstärken, dass man damit Lautsprecher betreiben konnte. Obwohl der Transistor wegen vieler Vorteile die Röhre in Rundfunkempfängern völlig verdrängt hat, ist sie häufig noch in Nf - Verstärkern anzutreffen und wir wollen uns in den folgenden Experimenten mit ihr näher beschäftigen.

Die Fähigkeit der Röhre, ein elektrisches Signal verstärken zu können, beruht auf einem Effekt, der bereits dem amerikanischen Erfinder Edison aufgefallen war, als er mit Glühlampen experimentierte. Und zwar emittierte ein heißer Glühfaden in einem luftleeren Glaskolben elektrisch negativ geladene Ladungsträger, die Elektronen. Über einen in denselben Glaskolben eingeschmolzenen dritten Draht, der keine leitende Verbindung zum Glühdraht hatte, konnte ein kleiner Strom - besonders wenn dieser Draht eine positive Spannung gegenüber dem Glühdraht hatte - praktisch durch das Vakuum der

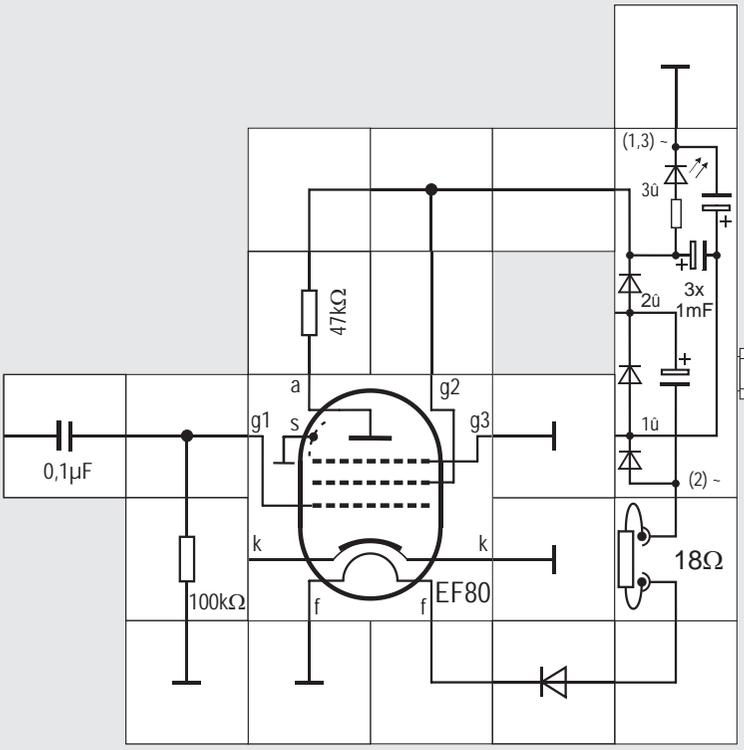
Glühlampe fließen. Edison erkannte die Bedeutung nicht und so gilt sein Landsmann Lee de Forest, der zwischen den Glühdraht (Kathode) und dem beschriebenen Draht (Anode) eine weitere Elektrode (Gitter) zum Steuern dieses Stromes anbrachte, als Erfinder der Elektronenröhre. Erinnernten die ersten Röhren in ihrem Aussehen noch stark an Glühlampen, so sind moderne etwas anders aufgebaut, obwohl sich ihr Arbeitsprinzip nicht geändert hat: Eine Heizwendel $f-f$ erhitzt eine dünnes langes Nickel - Röhrrchen k , das mit Bariumoxid überzogen und für die Elektronenemission verantwortlich ist. Die Heizung der Röhre ist also indirekt. Um dieses Röhrrchen herum befindet sich ein dünner als Wendel ausgebildeter Draht, das Gitter g ; die ganze Anordnung wird von einem weiteren Zylinder, der Anode a , umschlossen. Wegen dieser drei Elektroden nennt man eine solche Röhre TRIODE. Über das Gitter wird mit gegenüber der Kathode negativen Spannungen, damit es selbst stromlos bleibt, die Höhe des Anodenstroms leistungslos gesteuert. Üblich sind Anodenspannungen von $+250\text{ V}$. Wir werden allerdings mit erheblich geringeren - und damit ungefährlichen - Anodenspannungen unsere Experimente durchführen. Viele Röhren funktionieren nämlich auch schon mit $30 - 50\text{ V}$, speziell entwickelte bereits mit 6 V .

Damit eine Röhre in der beschriebenen Weise arbeiten kann, muss natürlich der Heizfaden in Ordnung sein, was sich leicht mit einem Durchgangsprüfer feststellen lässt. Nach Anlegen der passenden Heizspannung muss die Heizwendel glühen. Außerdem muss die Kathode noch Elektronen emittieren können. Ob die Emissionsfähigkeit und das Vakuum der Röhre in Ordnung sind, findet man mit einer Spannungsmessung zwischen Gitter und Kathode einer beheizten Röhre heraus. Ein hochohmiges Instrument ($R_i = 1\text{ M}\Omega/\text{V}$) zeigt circa $-0,5\text{ V}$ Spannung an, die dadurch zustande kommt, dass selbst ohne Anliegen einer positiven Anodenspannung Elektronen die Kathode verlassen, zum Gitter gelangen und es negativ aufladen.

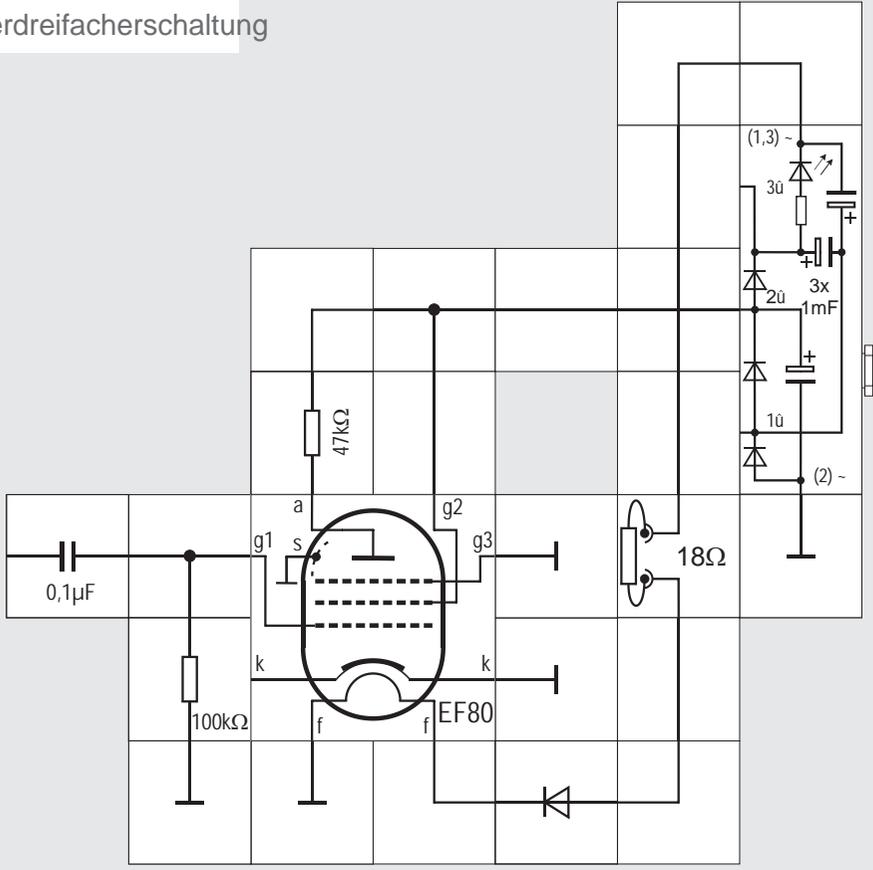
Wir wollen das bei der ECC85, einer Doppeltriode, in einem Versuch zeigen. Die Röhre benötigt eine Heizspannung von $6,3\text{ V}$ bei 435 mA , unsere Stromversorgung, die wir im nächsten Versuch genauer beschreiben, gibt 12 V ab. Wir legen eine Universaldiode in Reihe, die nur jede zweite Halbwelle durchlässt, und einen $12\ \Omega$ Leistungswiderstand in Reihe. Wir können auch, falls kein Digitalmultimeter vorhanden ist, mit dem LECTRON - Instrument den Gitterstrom messen, er wird, wenn die Röhre nach einer halben Minute glüht, circa $-20\ \mu\text{A}$ in jedem Trioden - System betragen.



Villard-Verdreifacherschaltung



Vorsicht!
Widerstand wird heiß
Langbeinig einstecken





Versuch 21

Stromversorgung

Röhrensaltungen benötigen mehrere Betriebsspannungen, die in Röhrenrundfunkgeräten ein Transformator zur Verfügung stellt. Es die Heizspannung, meistens 6,3 V oder 12,6 V mit einer relativ hohen Belastbarkeit von einigen Ampere; eine Röhre benötigt typisch 2 W Heizleistung, bei 6,3 V also 300 mA Heizstrom, der bei indirekt geheizten Röhren, wie wir sie hier meistens verwenden wollen, Wechselstrom ist. Außerdem brauchen die Röhren normalerweise eine Anodengleichspannung von 200 V bis 250 V mit einer Belastbarkeit, die sich in einem Rundfunkgerät auf circa 100 mA summiert. Hierfür gibt es eine Transformatorwicklung, die an einen Gleichrichter angeschlossen ist. Dieser Gleichrichter war in früheren Zeiten ebenfalls eine Röhre ohne Gitter, denn es kann ja nur ein Elektronenstrom von der heißen Kathode zur Anode und nicht umgekehrt fließen, was man für Gleichrichterzwecke ausnutzte.

Wir wollen mit solch hohen Anodenspannungen nicht experimentieren, sondern höchstens 50 V verwenden; entsprechend kleiner sind dann die Anodenströme. Und da wir in unseren Schaltungen nur

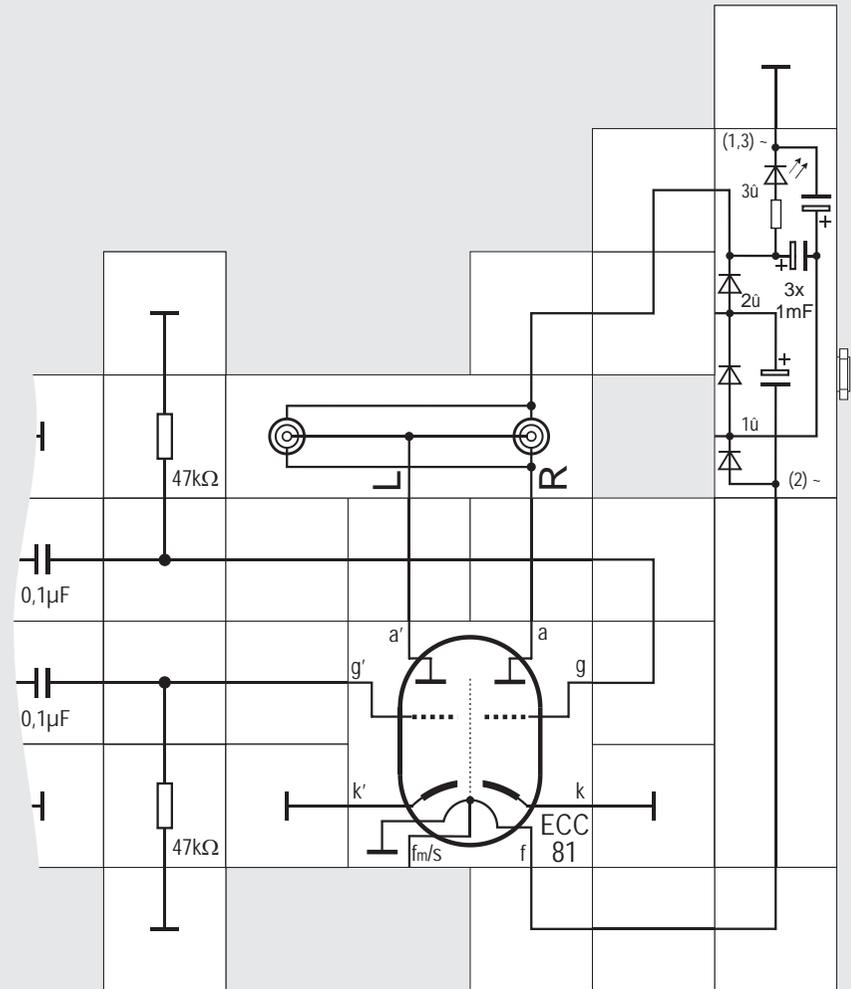
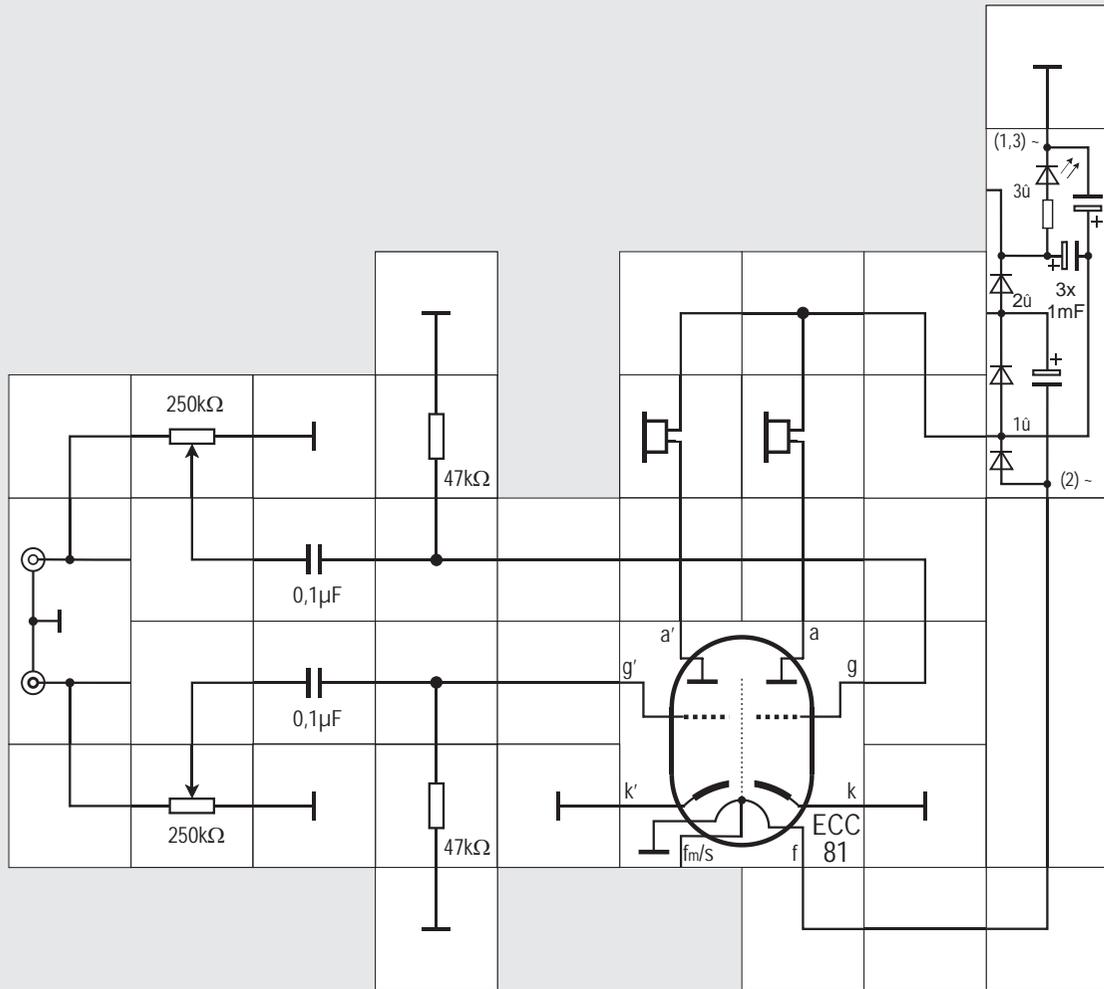
maximal zwei Röhren verwenden, kommen wir mit einigen Milliampere Anodenstrom aus. Wir benötigen zur Versorgung also keinen schweren Trafo, sondern ein Steckernetzgerät, das uns 12 bis 13 V Wechselspannung mit einer Belastbarkeit von 1 A für die Röhrenheizung zur Verfügung stellt. Die Anodengleichspannung erzeugen wir mit einer Verdreifacherschaltung (Villard - Schaltung). Sie ist in einem Dreierbaustein untergebracht und funktioniert folgendermaßen:

Bei Anliegen der negativen Halbwelle lädt sich der obere linke Kondensator über die linke Diode auf den Scheitelwert der Wechselspannung auf; sein positiver Anschluss wird zunächst auf Erdpotential gehalten, sein negativer Anschluss liegt auf $-U$. Während der folgenden positiven Halbwelle nimmt dieser Punkt gegen Erde das Potential $+U$ an. Er kann sich nun aber nicht über die linke Diode entladen, da sie sperrt; er behält Ladung und Spannung bei, so dass das Potential an seinem positiven Anschluss auf $+2U$ angehoben wird. Über die nächste Diode wird der untere Kondensator ebenfalls auf dieses Potential aufgeladen. Es steht dann als Ausgangsspannung zur Verfügung, denn während der nächsten negativen Halbwelle kann der untere Kondensator sich ebenfalls nicht entladen, da die zweite Diode dies verhindert. Bei der nächsten positiven

Halbwelle wird der Fußpunkt des unteren Kondensators um weitere U angehoben und die dritte Diode lädt den dritten Kondensator auf $3U$ auf. Das Muster der Schaltung kann so fortgesetzt werden, uns reicht aber die Verdreifachung. Die Arbeitsweise der Schaltungen beruht auf der Eigenschaft der Dioden, Schaltungsteile gerade immer im »richtigen« Augenblick selbsttätig zu entkoppeln. Der Masseanschluss kann auch an den oberen Wechselspannungseingang gelegt werden. Eine eingebaute Leuchtdiode zeigt das Vorhandensein der Spannung $3U$ an. Benötigen wir 50 V oder 17 V Anodenspannung, so müssen wir sie an $3U$ bzw. $1U$ abgreifen und $(3,1) \sim$ wird mit Masse verbunden. Die Heizwechselspannung von 12,6 V erhalten wir an $(2) \sim$. Wollen wir mit 34 V Anodenspannung arbeiten, so steht diese an $2U$ zur Verfügung; $(2) \sim$ wird dann mit Masse verbunden und die Heizspannung an $(3,1) \sim$ abgegriffen.

In der linken Abbildung ist gezeigt, wie man verdrahten muss, wenn man eine EF80 an $3U = 50$ V und in der rechten an $2U = 34$ V betreiben will. In die Heizleitung muss auf jeden Fall wieder die Universaldiode (nicht mit der Ge - Diode verwechseln!) und ein Leistungsvorwiderstand 18Ω , sonst brennt der Heizfaden der Röhre, der 6,3 V \sim erwartet, durch und sie wird unbrauchbar.

22





Lectron

gige Triodensysteme, die lediglich die Heizung gemeinsam haben. Diese Heizung weist eine Besonderheit auf: Sie kann mit 12,6 V / 150 mA oder mit 6,3 V / 300 mA betrieben werden. Im ersten Fall braucht nur der eine f - Stift an 12,6 V gelegt zu werden, der zweite ist im LECTRON- Baustein bereits fest mit Masse verdrahtet; im zweiten Fall müssten wir den f - Stift an Masse und 6,3 V an die Mittelanzapfung der Heizung f_m legen. Bei den Röhren ECC82 und ECC83, die nicht im Experimentierkasten enthalten sind, funktioniert das genauso.

Da der Nf-Verstärker kaum Teile benötigt und die verwendete Röhre zwei Systeme besitzt, bauen wir ihn gleich zweifach für ein Stereosignal auf. Das Eingangssignal beispielsweise aus einem CD-Spieler wird über die Cinch-Buchse, ein Potentiometer und einen Koppelkondensator dem Gitter zugeführt. Mit dem Potentiometer kann das Eingangssignal so weit abgeschwächt werden, dass keine Verzerrungen durch Übersteuerung eintreten. Der Widerstand 47 k Ω legt den Arbeitspunkt der Röhre fest. Wir hatten im vorherigen Experiment gesehen, dass das Gitter bei heißer Kathode sich leicht negativ auflädt und den Strom gemessen. Genau das Gleiche passiert jetzt wieder, das Gitter wird ohne Signal folglich leicht negativ gegenüber der Kathode, bei 47 k Ω ungefähr -200 mV, wenn wir die Schaltung

mit $U_a = 17$ V Anodenspannung betreiben. Wählen wir den Widerstand kleiner, z. B. 10k Ω , beträgt die Gittervorspannung circa -100 mV, gleichzeitig steigt der Anodenstrom von 0,1 mA auf 0,2 mA. Auch eine andere wichtige Kenngröße der Röhre, die STEILHEIT S wird größer (von 0,5 mA/V auf 1 mA/V). Vereinfacht gesagt, bedeutet $S = 0,5$ mA/V der Anodenstrom ändert sich in diesem Arbeitspunkt um 0,5 mA, wenn die Gitterspannung um 1 V geändert wird. Versuchsweise können wir auch leicht die Anodenspannung auf den dreifachen Wert erhöhen, indem wir die Kopfhörer statt mit dem U_a mit dem $3U_a$ - Anschluss verbinden. Die höhere Anodenspannung führt zu einem Arbeitspunkt mit höherer Steilheit. Unter »normalen« Bedingungen, also mit 250 V Anodenspannung, hat die ECC81, die sowohl für Hf- als auch für Nf-Anwendungen eingesetzt wird, eine Steilheit von 5,6 mA/V, es fließt bei -2 V Gitterspannung ein Anodenstrom von 10 mA.

Wer gerne statt der im Experimentierkasten vorhandenen kleinen Ohrhörer seinen eigenen hochwertigen Kopfhörer anschließen möchte, kann den Klinkenbuchsen - Adapter benutzen, der das Stereosignal über eine 3,5 mm und eine 6,3 mm Buchse gleichzeitig zur Verfügung stellt (siehe rechte Abbildung; Anodenspannung an $3U_a$ angeschlossen).

Versuch 22

Stereo - Nf - Verstärker für Kopfhörer

Wir wollen als erste Röhrenschialtung einen kleinen Nf-Verstärker mit der Doppeltriode ECC81 aufbauen. In dem Glaskolben befinden sich zwei unabhän-



Anschlüssen nur 6,3 V; einen Heizungsmittelanschluss besitzt sie nicht, dafür ist an dem entsprechenden Anschluss eine interne Abschirmung angeschlossen. Wir müssen also, damit wir die verringerte Heizspannung erhalten, wieder mit der Universaldiode und einem Leistungsvorwiderstand arbeiten. Die größeren Kathoden (435 mA Heizstrom) sorgen dafür, dass die Röhre eine größere Steilheit hat und damit besser für niedrige Spannungen geeignet ist als die ECC81. Vorsicht: Wegen der größeren Kathoden benötigt die Röhre mehr Heizleistung und wird deswegen - wie auch der Vorwiderstand - heiß.

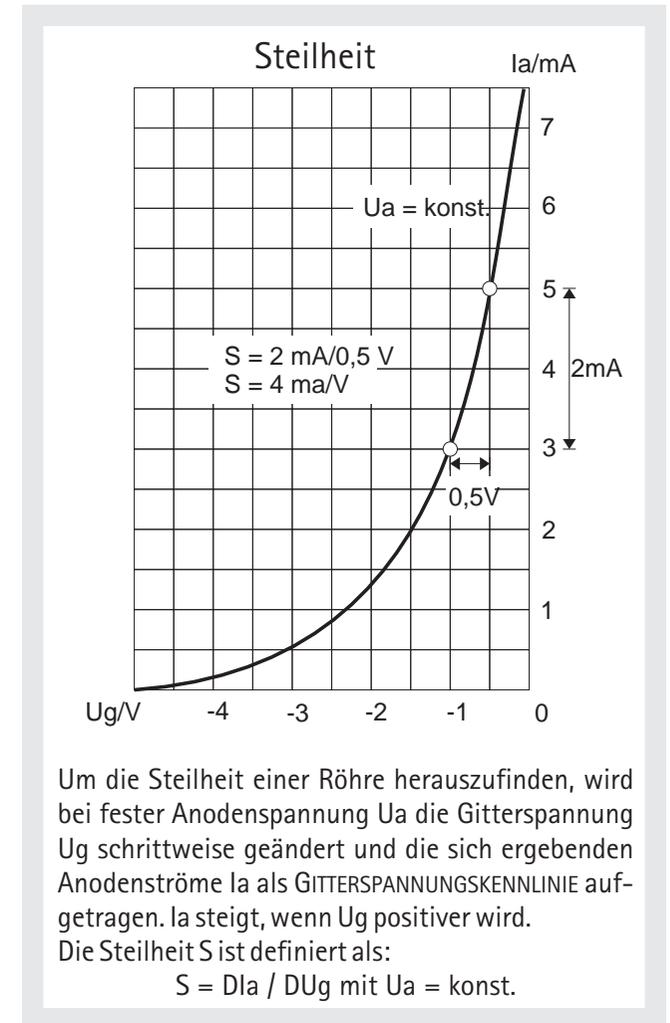
Der Versuchsaufbau zeigt, wie »verdrahtet« werden muss. Auch hier können wir wieder mit verschiedenen Gitterableitwiderständen und unterschiedlichen Anodenspannungen experimentieren.

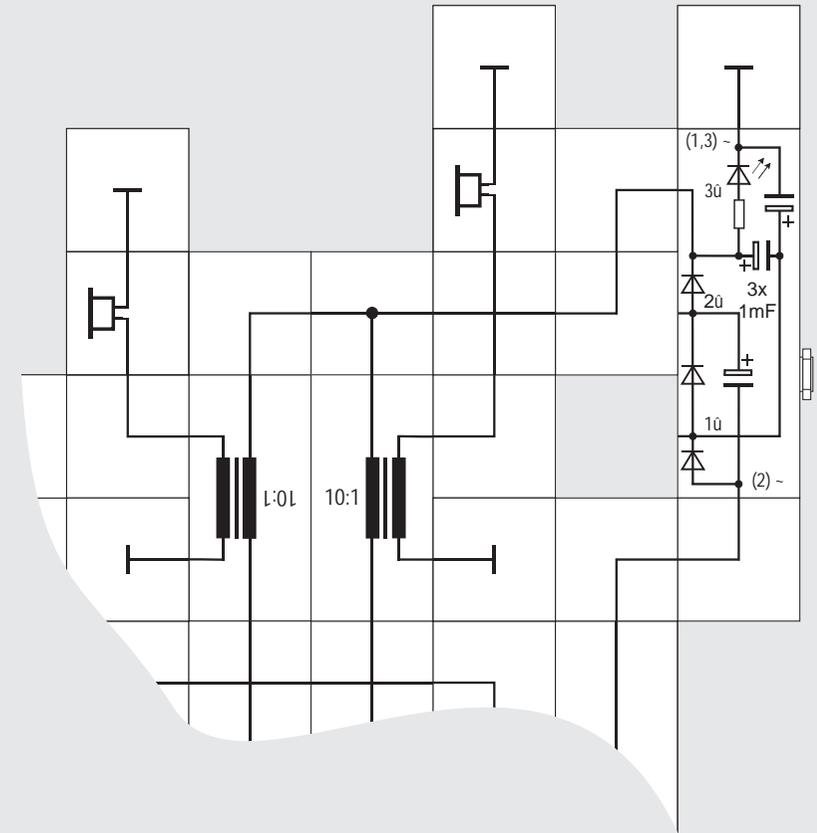
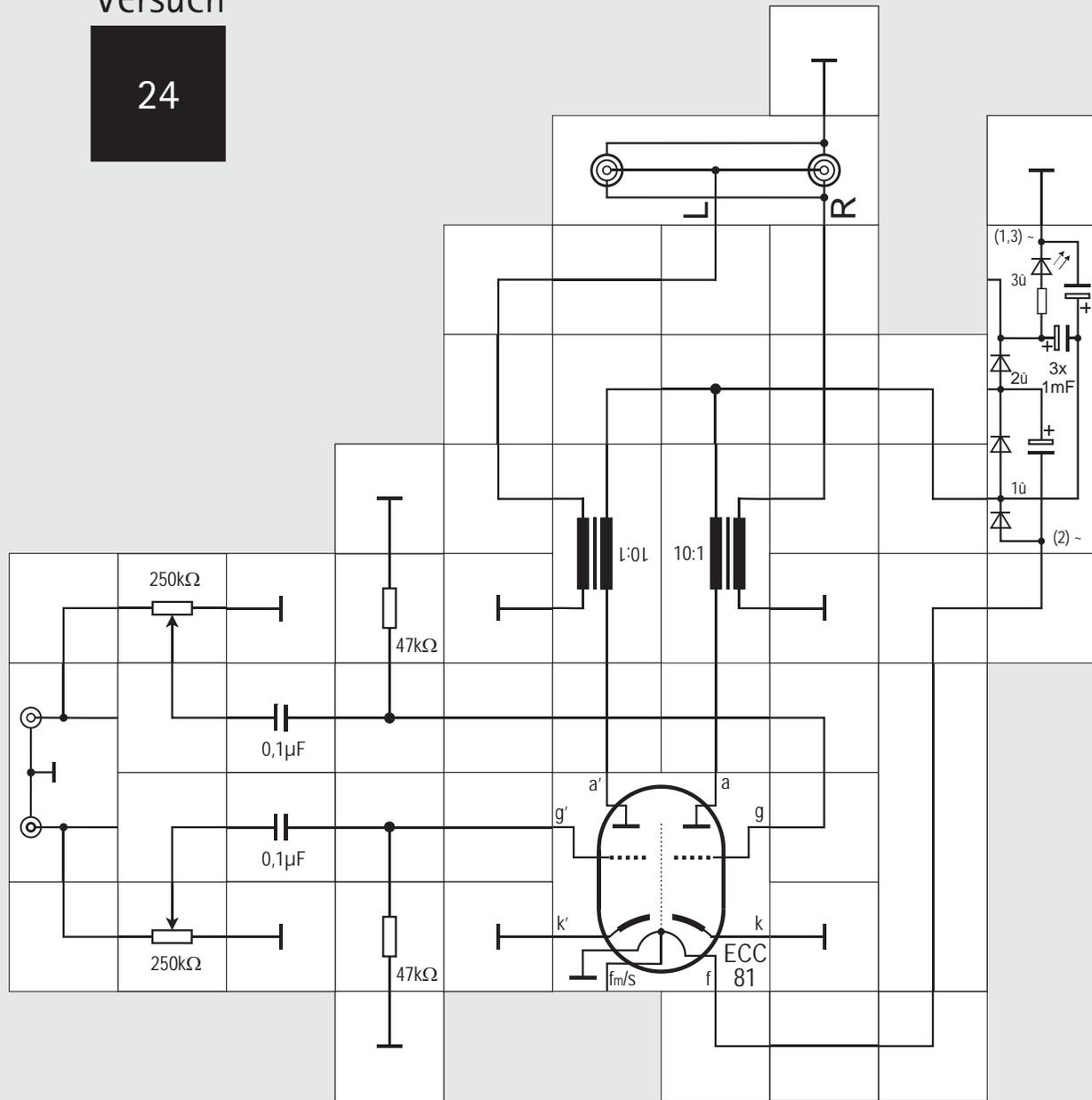
Wer in seinem Röhrenfundus eine ECC86 hat, kann auch diese Röhre in die Schaltung einsetzen; sie benötigt 330 mA Heizstrom bei 6,3 V Heizspannung (15 Ω Vorwiderstand verwenden). Da sie eine echte Niederspannungsröhre ist und früher im UKW - Teil von Autoradios eingesetzt wurde, arbeitet sie sogar mit 6 V Anodenspannung. Sie hat dabei eine Steilheit von 2,6 mA/V und 4,6 mA/V bei 12 V Anodenspannung, Werte also, die andere Röhren erst bei 250 V erreichen.

Versuch 23

Stereo - Nf - Verstärker mit ECC85

Statt der ECC81 können wir auch die im Experimentierkasten vorhandene ECC85 einsetzen. Diese in UKW - Röhrenempfängern früher weit verbreitete Hf - Doppeltriode passt auch auf den ECC8x - Baustein, darf jedoch nicht ohne weiteres in den Schaltungsaufbau des letzten Experiments eingesetzt werden. Sie verträgt zwischen den beiden f -







Versuch 24

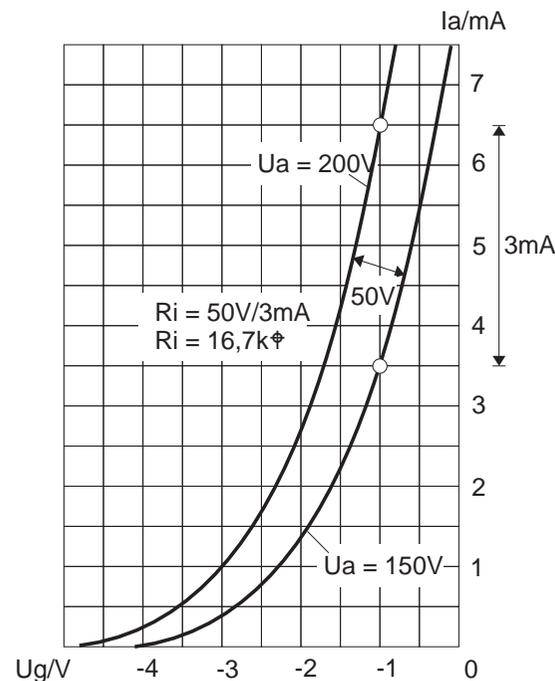
Nf - Verstärker mit Ausgangsübertrager

Eigentlich ist es keine gute Idee, Gleichstrom durch das System eines Kopfhörers zu schicken, da er ohnehin nur Wechselstrom in Schall zu wandeln vermag. Dass wir trotzdem befriedigende Ergebnisse erhalten, liegt daran, dass die Anodenströme relativ klein sind und das System nicht überlastet wird.

Mit seinen 600Ω oder noch weniger Widerstand ist der Kopfhörer auch äußerst schlecht an den Innenwiderstand der Röhre, der circa $50 \text{ k}\Omega$ beträgt, angepasst. Um die maximale Leistung aus der Röhre als Generator auf den Kopfhörer als Verbraucher zu übertragen, müssen - wie bei der Antennenankopplung auch - Generatorinnenwiderstand und Lastwiderstand gleich groß sein. Abhilfe schafft hier ein Ausgangsübertrager, der den Lastwiderstand transformiert. Hochwertige Nf - Übertrager sind groß, schwer und teuer, da durch spezielle Wicklungstechniken ein über der Frequenz lineares Übertragungsverhalten erreicht werden soll. Wir behelfen uns deswegen mit einem Miniaturübertrager 10:1 und sind uns bewusst, dass wir keine überragende Hifi-Qualität erwarten können. Der Übertrager transformiert mit seinem Übersetzungsverhältnis \ddot{u}

die 600 W Hörerwiderstand auf $\ddot{u}^2 \cdot 600 \text{ W} = 60 \text{ kW}$; wir erreichen damit eine sehr gute Leistungsanpassung.

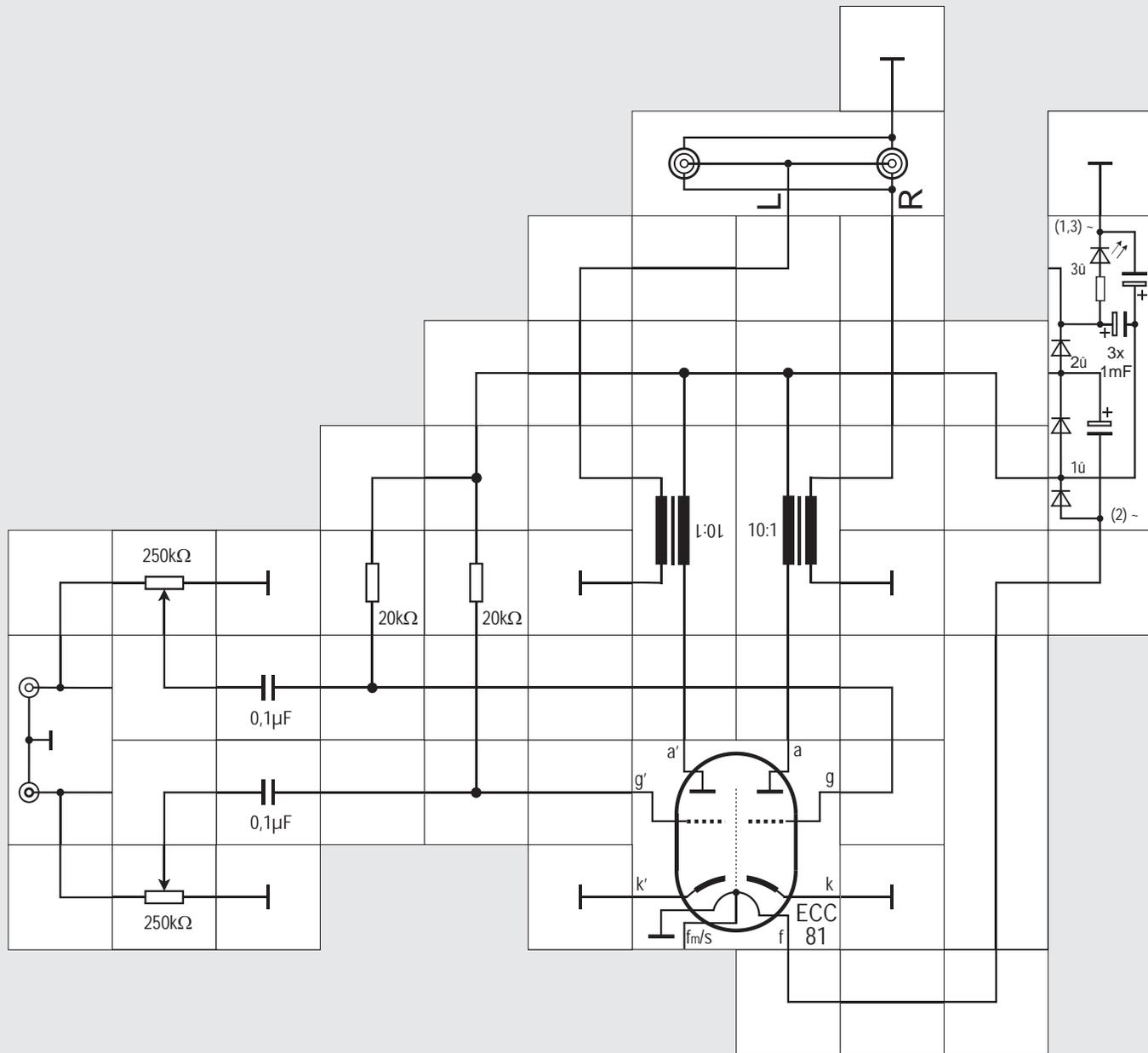
Innenwiderstand



Die zweite wichtige Kenngröße einer Röhre, ihr INNENWIDERSTAND R_i , hat mit dem Gleichstromwiderstand der Röhre, den sie für die Anodenspannung darstellt, nichts zu tun; R_i kann deswegen auch nicht einfach durch Messen des Anodengleichstroms ermittelt werden. Man stellt sich vielmehr eine Wechselspannungsquelle u_a in den Anodenkreis der Röhre, also in Reihe zur Anodengleichspannung, geschaltet vor, die dann einen Wechselstrom i_a durch die Röhre verursacht, der dem Anodengleichstrom überlagert ist. Eine höhere Anodenspannung, z. B. 200 V , ergibt eine Kennlinie mit höheren Stromwerten als eine Anodenspannung mit 150 V (Abbildung). Aus den beiden Kennlinien lässt sich der Innenwiderstand $R_i = \Delta U_a / \Delta I_a$ bei konstanter U_g berechnen:

$$R_i = (200 \text{ V} - 150 \text{ V}) / (6,5 \text{ mA} - 3,5 \text{ mA})$$
$$R_i = 50 \text{ V} / 3 \text{ mA}$$
$$R_i = 16,7 \text{ kW}$$

25



Versuch 25

Nf - Verstärker mit Gitterstrom

Durch eine kleine Schaltungsänderung können wir die Lautstärke unseres Stereo-Verstärkers erhöhen; und zwar ersetzen wir die 47 kΩ Widerstände nach Masse gegen 20 kΩ Widerstände nach Versorgungsspannung. Das sollte man eigentlich mit einer Röhre nicht machen, weil jetzt die Triodensysteme nicht mehr leistungslos gesteuert werden, aber der ansteuernden Quelle, beispielsweise dem CD-Spieler, ist es gleich, ob sie ein paar Milliampere an ihrem Ausgang liefern muss oder nicht. Es reicht, diesen Verstärker an der Versorgungsspannung 1ü zu betreiben, der Gitterstrom liegt in der Höhe des Anodenstroms und die Ausgangsleistung steigt um eine Größenordnung.

Die Schaltung kann ihre Ähnlichkeit mit denen aus Versuch 2 und Versuch 3 nicht leugnen, auch wenn die Wirkungsweise, nach denen Transistoren arbeiten, ganz anders ist.

Durchgriff

Es gibt noch ein dritte wichtige Größe zur Kennzeichnung der Röhreneigenschaft, den DURCHGRIFF D bzw. seinen reziproken Wert, die LEERLAUFVERSTÄRKUNG $\mu = 1/D$. Er ist definiert als

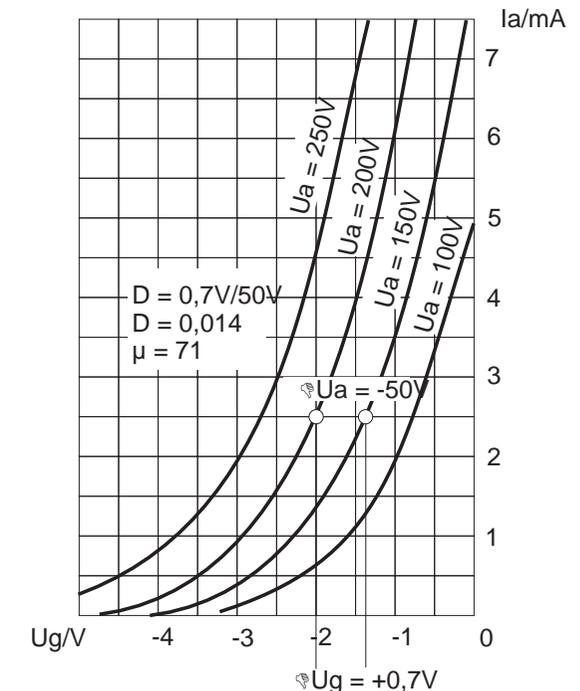
$$D = - \Delta U_g / \Delta U_a \text{ mit } I_a = \text{konst.}$$

und gibt an, um wieviel sich die Anodenspannung ändert, wenn sich die Gitterspannung um 1 V ändert, wobei der Anodenstrom konstant bleibt. Da hierfür beide Änderungen entgegengesetzt sein müssen, D und μ aber positiv sein sollen, ist das Minuszeichen eingeführt. μ ist die maximal mögliche Verstärkung der Röhre. Die wirksame Steuerspannung bei einer Röhre setzt sich aus der vollen Gitterspannung und einem gewissen Anteil der Anodenspannung zusammen.

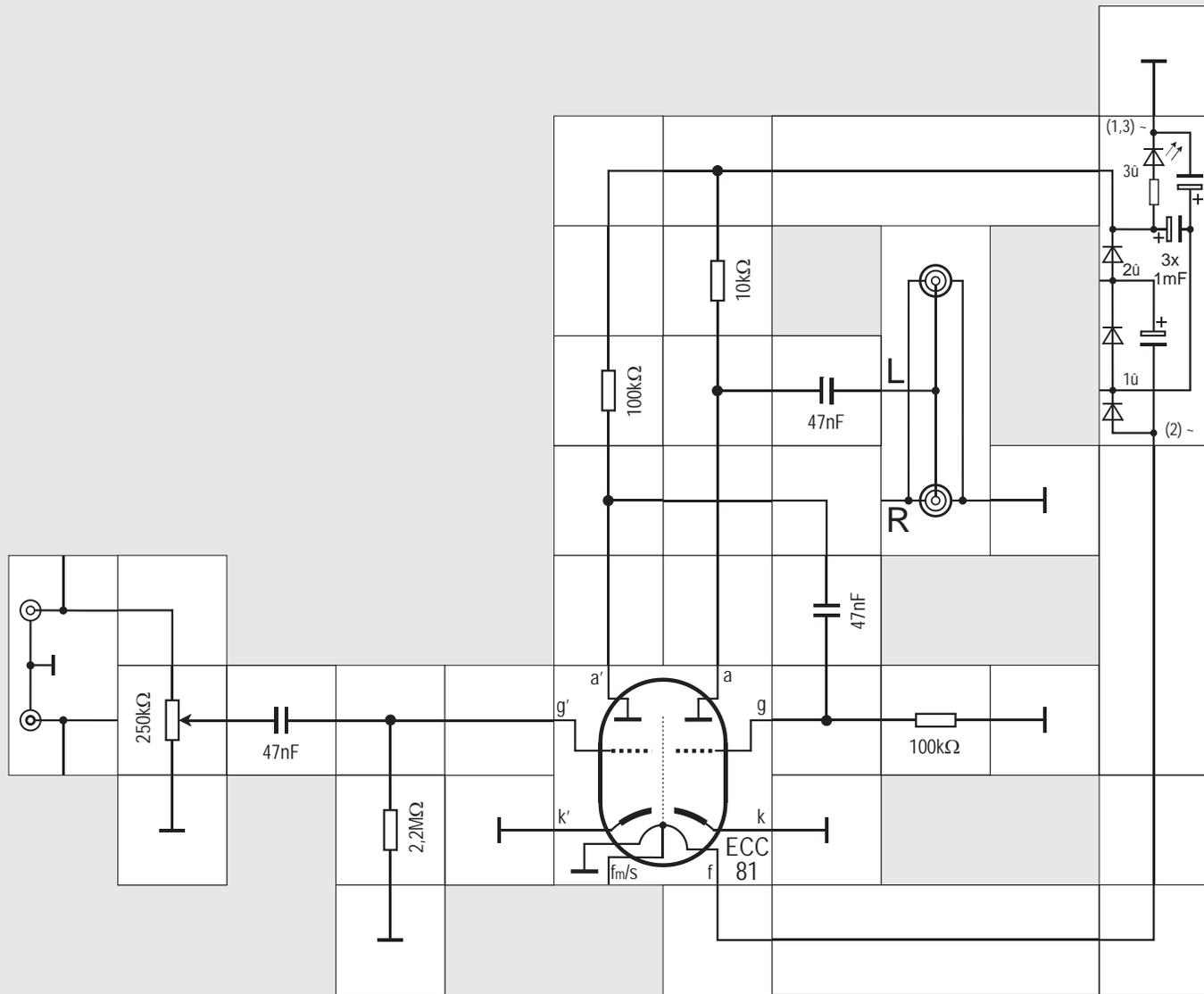
$$U_{st} = U_g + D \cdot U_a$$

Dieser Anteil D heißt Durchgriff, ausgehend von der Vorstellung, dass die elektrischen Feldlinien von der Anode durch die Gittermaschen »durchgreifen«. D kann aus der geometrischen Anordnung von Gitter und Anode berechnet werden, da hieraus die Teilkapazitäten C_{gk} und C_{ak} zwischen den Elektroden resultieren. Wir leiten D aus dem Kennlinienfeld her (s. Abb.).

Die Verstärkung einer Röhre ist umso höher, je größer die Steilheit und je kleiner der Durchgriff ist. Beide Werte hängen von ihrer Konstruktion ab. Große Steilheit erreicht man mit großer Kathodenfläche, geringem Gitter - Kathodenabstand und enghemmaschiqem Gitter. Mit



letzterem und großem Anodenabstand wird der Durchgriff klein. Aus Fabrikationsgründen kann das Gitter nicht beliebig nah an die Kathode gebracht werden; eine große Kathodenoberfläche bedingt eine unerwünscht große Heizleistung und ein kleiner Durchgriff erfordert hohe Anodenspannungen, so dass man je nach Verwendungszweck der Röhre immer einen Kompromiss schließen muss.





Versuch 26

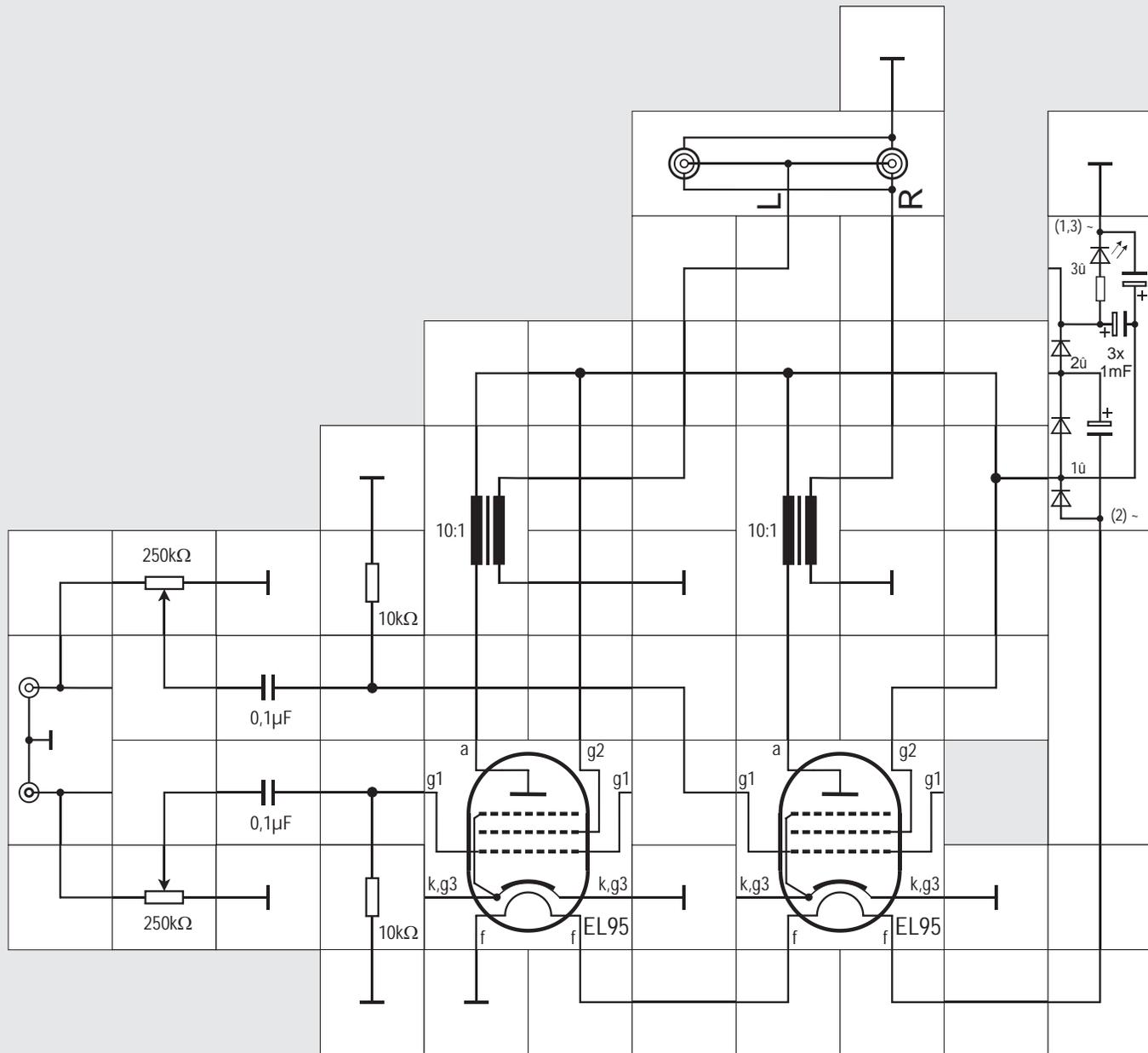
Zweistufiger Nf - Verstärker

Wenn die Verstärkung einer Stufe nicht ausreicht, kann man zwei Stufen hintereinander schalten. Bei Nf-Verstärkungen nimmt man dann gerne Röhren, die eine hohe Leerlaufverstärkung μ haben, wie z. B. die ECC83. Da wir diese Röhre nicht im Experimentierkasten haben, bleiben wir bei der ECC81 und schalten ihre beide Triodensysteme hintereinander. Auf eine Stereowiedergabe müssen wir allerdings aus Aufwandsgründen verzichten. Zunächst folgende Vorüberlegung: Bei kleinen Ver-

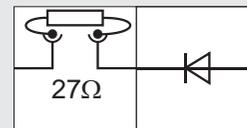
sorgungsspannungen arbeitet eine Röhre meistens mit geringerer Steilheit S , kleinerem Innenwiderstand R_i und damit nach der BARKHAUSENFORMEL

$$|\mu| = S \cdot R_i$$

auch mit kleinerer Spannungsverstärkung μ . Bei unseren relativ kleinen Anodenspannungen können wir auch nur mit kleinen Gittervorspannungen arbeiten, damit überhaupt noch Anodenstrom fließt. Kleine Gittervorspannungen führen aber dazu, dass meistens noch etwas Gitterstrom fließt, wodurch der Eingangswiderstand der Röhre unerwünscht klein wird. Für eine hohe Spannungsverstärkung brauchen wir eigentlich einen großen Anodenwiderstand; der an ihm auftretende größere Spannungsabfall führt dummerweise zu einer weiteren Verminderung der Anodenspannung, so dass wir unseren zweistufigen Verstärker schon mit $2\hat{u} = 34\text{V}$ oder $3\hat{u} = 50\text{V}$ betreiben sollten. Günstig ist es, die erste Stufe hochohmig und die zweite niederohmiger auszulegen, und zwar um eine Größenordnung. So erreichen wir bei akzeptablem Eingangswiderstand eine relativ niedrige Ausgangsimpedanz. Bei $2\hat{u}$ Versorgungsspannung ist die Gesamtverstärkung ungefähr 100, bei $3\hat{u}$ über 200; mit höherer Anodenspannung steigt also auch die Gesamtverstärkung.



Vorsicht!
Widerstand wird heiß
Langbeinig einstecken





Versuch 27

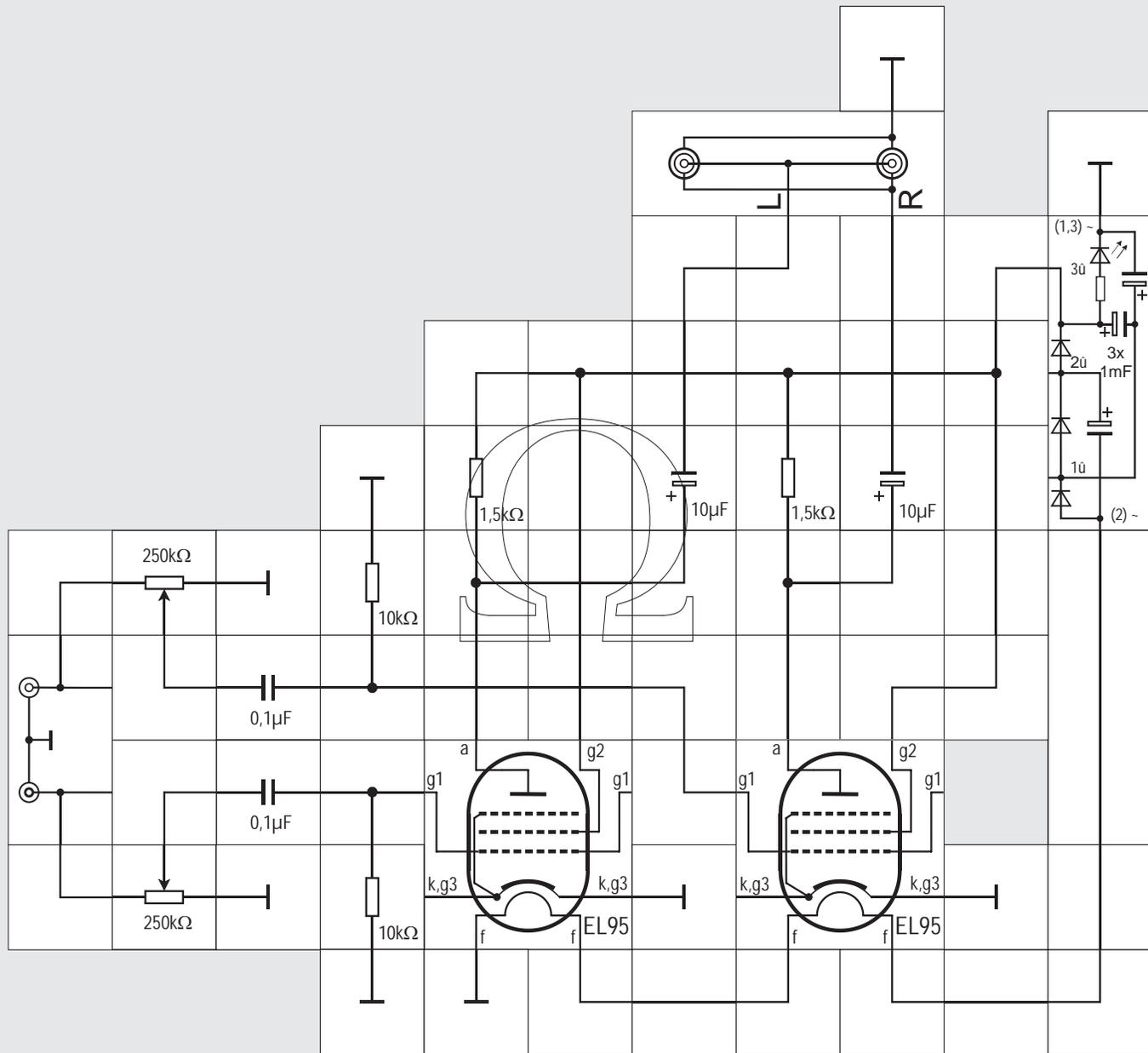
Nf - Verstärker mit Leistungspentode

Die Eigenschaften einer Triode lassen sich verbessern, indem man zusätzliche Gitter zwischen Kathode und Anode in die Röhre einbaut. So dient das fest mit einer positiven Spannung verbundene SCHIRMGITTER (g_2) dazu, die Elektronen auf dem Weg zur Anode zu beschleunigen und den Einfluss der schwankenden Anodenspannung auf den Anodenstrom zu reduzieren; der Durchgriff D der Anode wird dadurch kleiner. Ein weiteres Gitter, nämlich das BREMSGITTER (g_3), ist auf Kathodenpotential ge-

legt und sorgt dafür, dass von der Anode durch die jetzt höhere Geschwindigkeit abgeprallte Elektronen wieder zur Anode geleitet werden und nicht auf dem Schirmgitter landen. Durch diese zusätzlichen Gitter ist der Eingang der Röhre wesentlich besser vom Ausgang entkoppelt. Dieser Röhrentyp heißt wegen seiner fünf Elektroden PENTODE. Da die Anodenspannung kaum noch Einfluss auf den Anodenstrom hat, werden R_i und μ sehr groß. Im Experimentierkasten gibt es eine Leistungspentode EL95, die wegen ihres großen Anodenstroms in Endstufen eingesetzt wurde. Sie benötigt bei 6,3 V Heizspannung nur einen Strom von 200 mA (27 Ω Vorwiderstand verwenden) und wir wollen mit dieser besser für Nf - Verstärker geeigneten Röhre als die ECC-Typen einen Kopfhörerverstärker mit Ausgangsübertrager aufbauen.

Durch Zukauf eines weiteren Röhrenbausteins mit Röhre lässt sich der Verstärker auch als Stereo-Verstärker aufbauen und man hat den Vorteil, die Heizungen beider Röhren in Reihe an 12,6 V betreiben zu können. Einkanalig müssen wir mit der Diode und Vorwiderstand arbeiten.

Auch hier lohnt es sich mit der Größe der Gitterableitwiderstände und der Anodenspannung zu experimentieren, um ein Optimum an Verzerrungsarmut heraus zu finden.





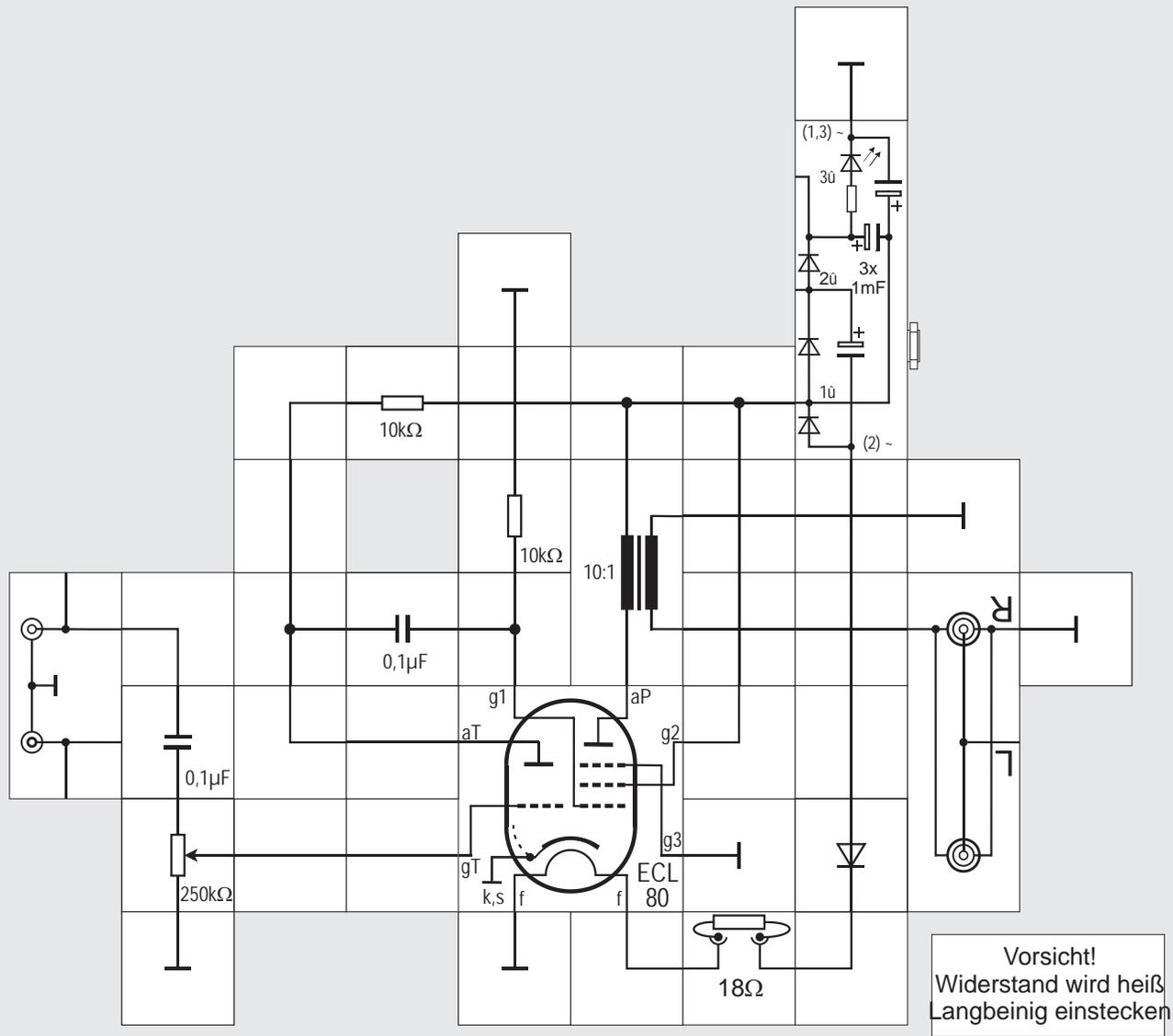
Versuch 28

Trafolose Endstufe mit EL95

Wir hatten bereits darauf hingewiesen, dass gute Ausgangsübertrager aufwendig gewickelt werden müssen und ihren Preis haben. Unser kleiner 10:1 Übertrager erhebt keinen Anspruch auf Hifi - Qualität, wir wollen lediglich mit ihm das Schaltungsprinzip vorstellen.

Wenn man Klangeinbußen durch einen qualitativ nicht so hochwertigen Übertrager vermeiden, trotzdem aber keinen Gleichstrom durch die Kopfhörer fließen lassen will, dann gibt es noch die Ankopplung mit einem Kondensator, der ja nur Wechselstrom durchlässt und Gleichstrom abtrennt. Wir müssen dann allerdings Kopfhörer mit 600Ω verwenden, niederohmige bringen keine guten Ergebnisse. Wir können die Endstufe wieder an $2 \hat{u}$ oder $3 \hat{u}$ betreiben, auch $1 \hat{u}$ wird funktionieren.

Der Versuchsaufbau ist zweikanalig wiedergegeben, wir benötigen dazu einen weiteren EL95 - Röhrenbaustein, der nicht im Experimentierbaukasten enthalten ist. Beim einkanaligen Aufbau, der entsprechend Versuch 27 leicht aufzubauen ist, müssen wir wieder in die Heizleitung eine Diode und einen Vorwiderstand (Vorsicht! Er wird heiß) legen.



Vorsicht!
Widerstand wird heiß
Langbeinig einstecken



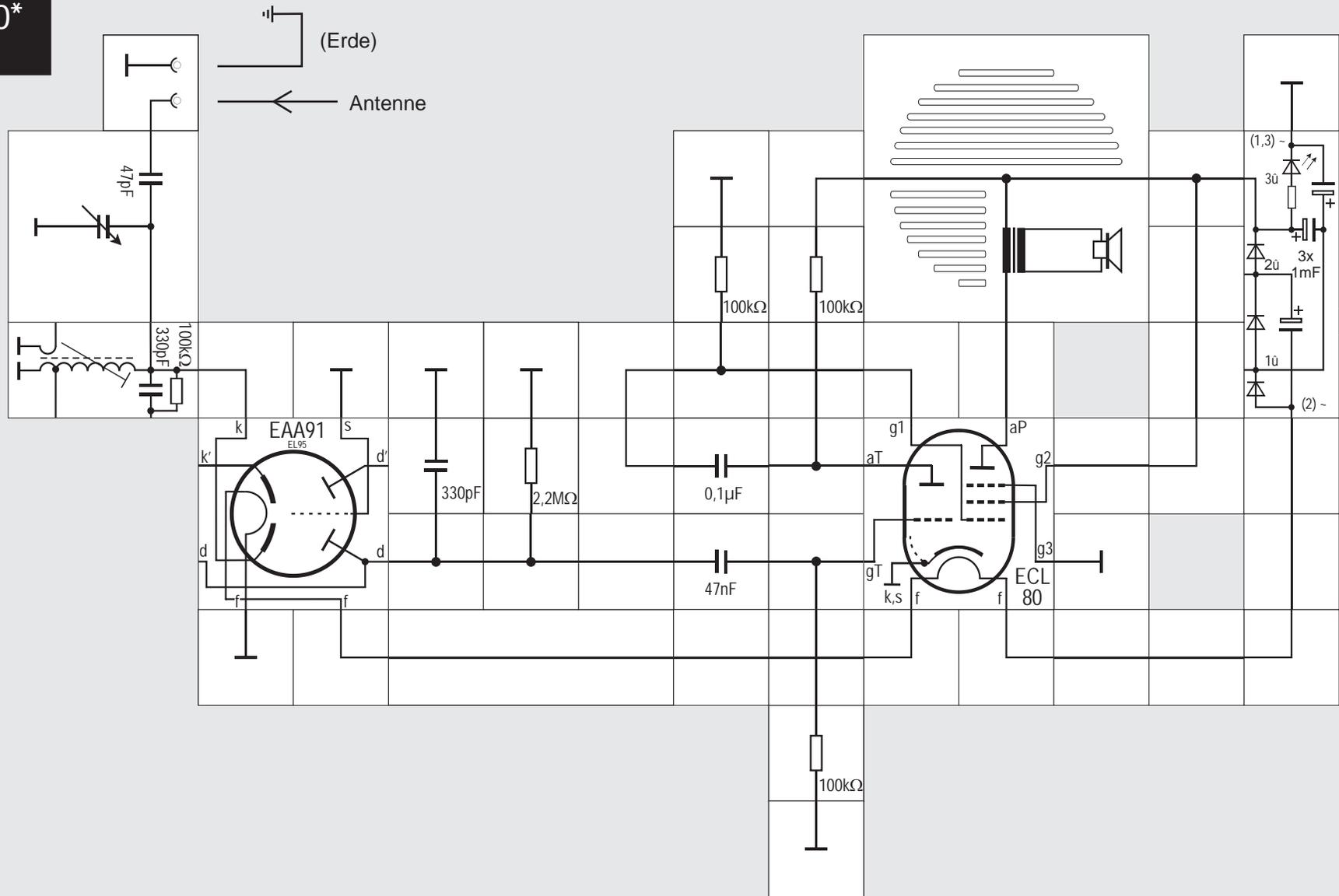
Versuch 29

Zweistufiger Nf - Verstärker mit ECL80

Die ECL80 war früher weit verbreitet; auch sie eignet sich für einen Betrieb an niedrigen Anodenspannungen, obwohl sie nicht als Niederspannungsröhre konzipiert war. Wir werden einige Experimente mit ihr aufbauen. Die Röhre ist - wie die bereits verwendeten Doppeltrioden - eine Zweisystemröhre. In ihrem Glaskolben befinden sich ein Trioden - und ein Pentodensystem, wobei ersteres als Vor- und letzteres als Endverstärker eingesetzt wird.

Wenn wir - bei kleinen Anodenspannungen - genügend Strom in der Pentode haben möchten, müssen wir sie mit geringer Gittervorspannung betreiben, wobei leider ein nicht zu vernachlässigender Gitterstrom fließt. Die Vorstufe kann deswegen auch nicht sehr hochohmig aufgebaut werden; allerdings führt ein niederohmiger Anodenwiderstand zu kleinen Spannungsverstärkungen. Nun hat das Triodensystem der ECL80 auch bei kleinen Anodenströmen eine für uns ausreichende Steilheit. Wenn wir beim Betrieb an $1\hat{u}$ einen Anodenwiderstand von $10\text{ k}\Omega$ wählen, reicht die Spannungsverstärkung aus. Das Pentodensystem bekommt einen Gitterableitwiderstand derselben Größe. Trotz der dann relativ kleinen Spannungsverstärkung von circa 2,5 hat die Triode die wichtige Funktion, für einen hochohmigen Verstärkereingang zu sorgen. Größere Leistung bekommen wir aus unserem Verstärker dadurch geliefert, dass wir die Versorgungsspannung auf $3\hat{u}$ erhöhen. Dann ist es auch eine hochohmiger Dimensionierung möglich und wir können Anodenwiderstand der Triode und Gitterableitwiderstand der Pentode auf $100\text{ k}\Omega$ erhöhen. Zur Optimierung an die verschiedenen zur Auswahl stehenden Versorgungsspannungen sollte man ruhig einmal die Werte dieser beiden Widerstände verändern.

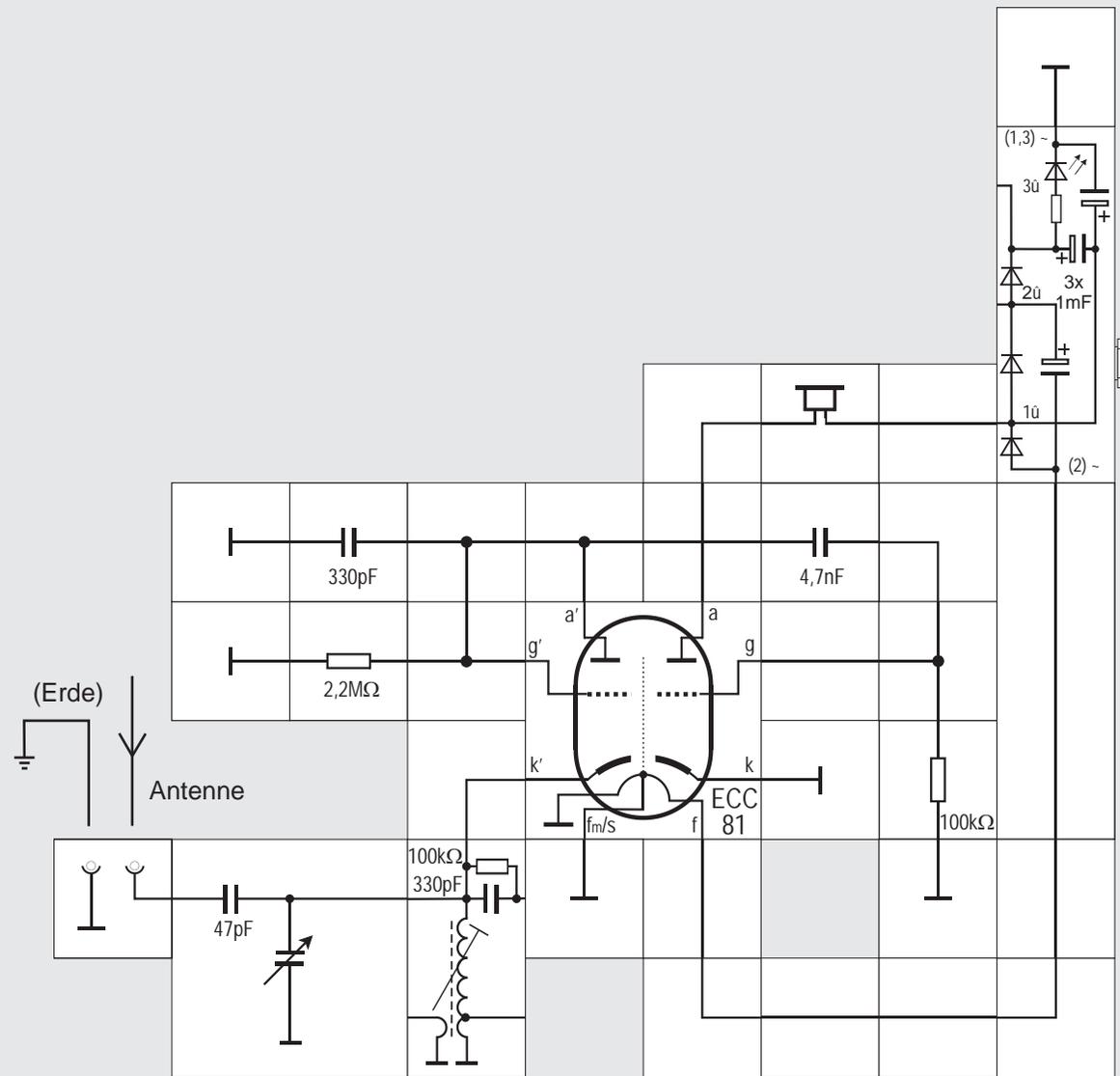
30*





Detektor mit Röhre

Das Arbeitsprinzip der Röhre, einen Elektronenstrom von der Kathode zur positiv geladenen Anode - aber nicht umgekehrt - fließen zu lassen, legt es nahe, die Röhre als Gleichrichter zu verwenden. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass man in Rundfunkempfängern aus der Netzwechselspannung mit einer Gleichrichterröhre die hohe Anodengleichspannung gewonnen hat. Aber nicht nur zu dieser Gleichrichtung kann man die Röhre verwenden, sie kann auch den Detektorkristall, später die Germaniumdiode, zur Demodulation des empfangenen Sendersignals ersetzen. Hierfür gab es spezielle Röhrendioden oder -doppeldioden, die heute jedoch nicht mehr häufig anzutreffen und dementsprechend teuer sind, beispielsweise die Doppeldioden EAA91 oder EB91. Wer so eine Röhre besitzt, kann sie auf den Röhrenbaustein der EL95 setzen und eins der beiden Diodensysteme zum Demodulieren verwenden. Die Schaltung ist allerdings sehr hochohmig und kann nicht ohne weiteres einen Kopfhörer ansteuern, so dass wir den Nf-Verstärker mit seinem hochohmigen Eingang nachschalten.



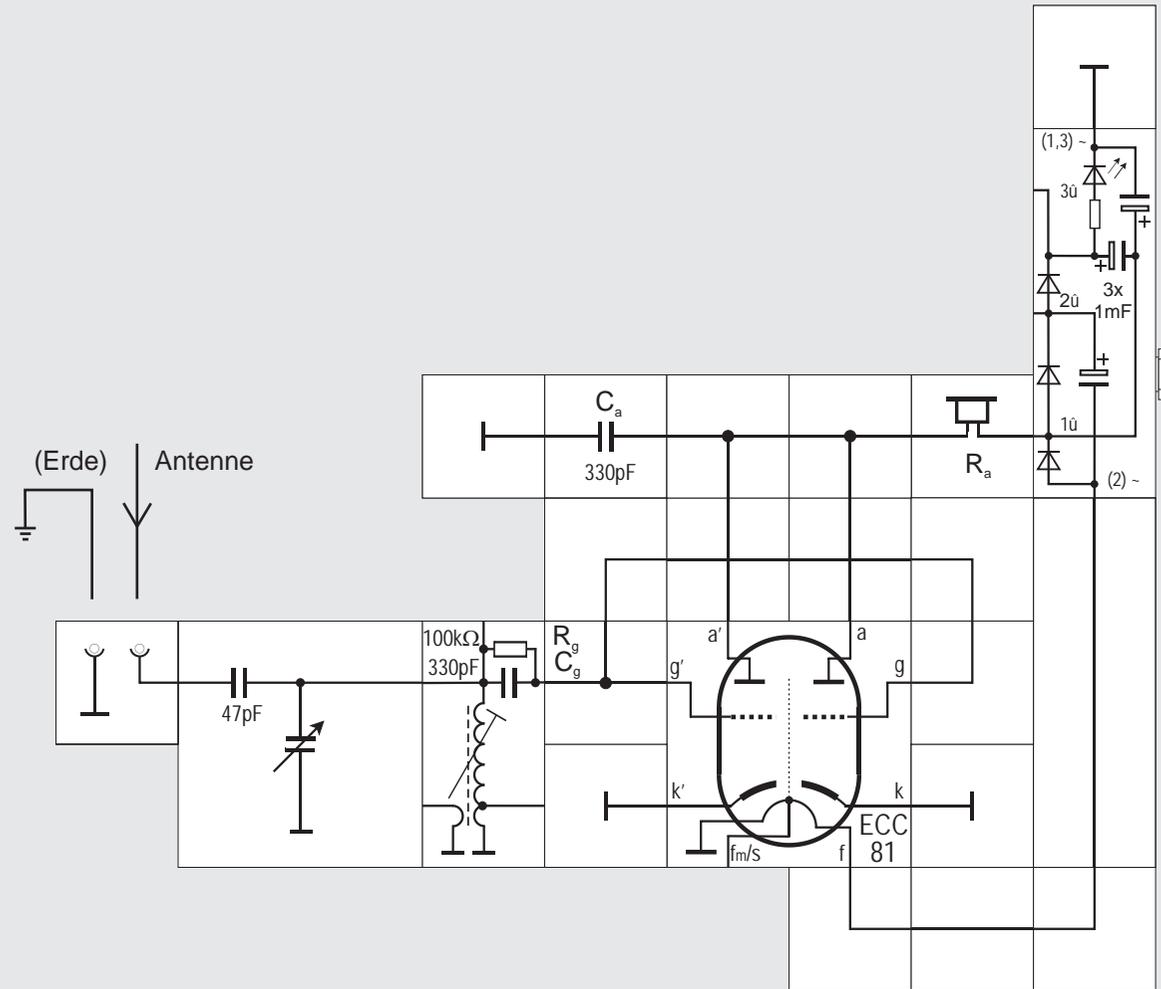


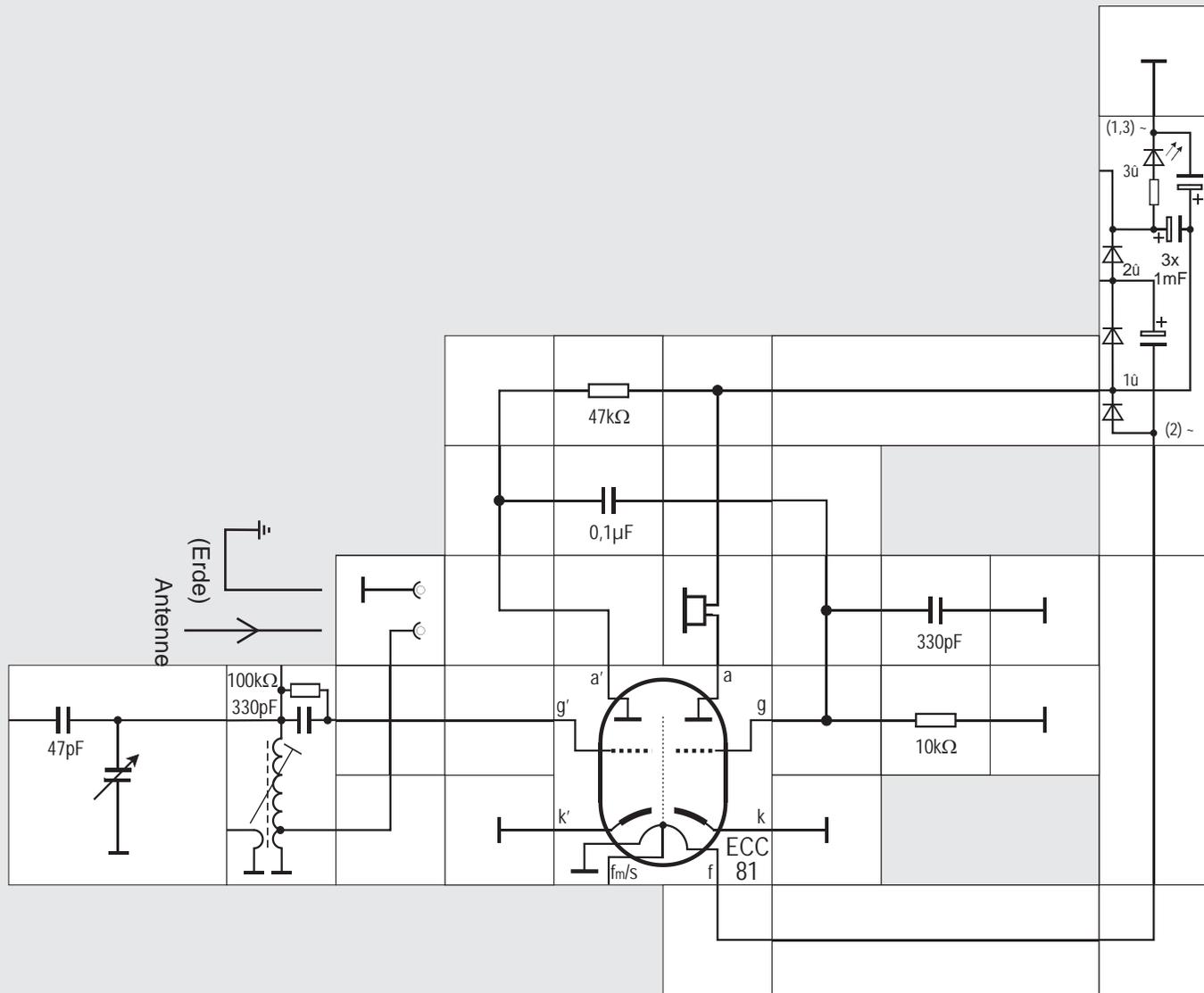
Versuch 31

Detektor mit Triode

Wenn wir keine Doppeldiode besitzen, können wir uns dadurch behelfen, dass wir statt der Röhrendiode eine Triode, z. B. unsere ECC81, einsetzen und das Gitter mit der Anode verbinden. Das zweite System nutzen wir als Verstärker aus.

Tagsüber werden wir bei Verwendung der Kurzwellenspulen und einer kleinen Außenantenne sicher viele Stationen empfangen, wobei wir an die Trennschärfe unseres KW - Empfängers keine hohen Ansprüche stellen sollten. Abends werden wir mit der MW - Spule ebenso viele Stationen aus ganz Europa und sogar Asien empfangen können. Eine Schaltung, die eine wesentlich bessere Trennschärfe hat, werden wir in den nächsten Experimenten kennen lernen.







Lectron

Versuch 33

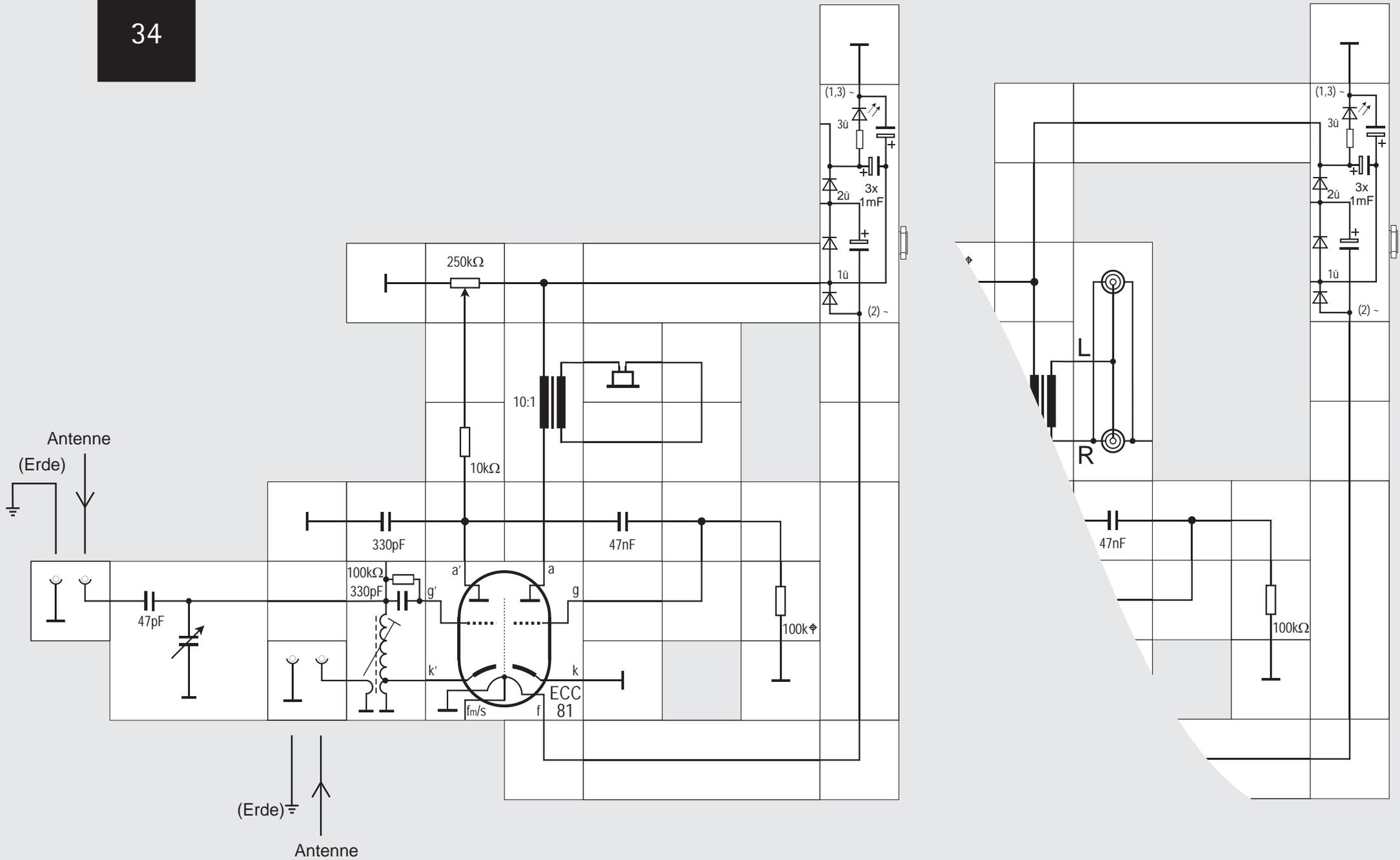
Zweistufiges Audion

Wir müssen natürlich die beiden Triodensysteme

nicht parallel schalten, sondern können das zweite zur Verstärkung des Nf - Signals verwenden. Die Kopplung von der Anode des Audions zur weiteren Stufe geschieht über einen $0,1 \mu\text{F}$ Kondensator, die Hochfrequenz findet ihren Weg über den 330 pF Kondensator zur Masse und wird nicht mitverstärkt. In diesem Versuchsaufbau zeigen wir eine weitere Ankopplung der Antenne an den Abstimmkreis. Im Einzelfall sollte aber immer ausprobiert werden, welche Kopplung die besten Empfangsergebnisse bringt.

Die Schaltung funktioniert auch mit der anderen Doppeltriode ECC85; dann muss aber unbedingt mit Diode und 12Ω Heizvorwiderstand gearbeitet werden, da diese Röhre zwischen ihren f - Stiften bei 435 mA Heizstrom nur $6,3 \text{ V}$ Heizspannung verträgt. (siehe Versuch 23).

Wer die Niederspannungsröhre ECC86, die nicht zur Ausstattung des Experimentierkastens gehört, besitzt, kann auch sie einsetzen. In ihre Heizleitung muss in Reihe zur Diode ein 15Ω Vorwiderstand geschaltet werden ($I_{\text{Heiz}} = 330 \text{ mA}$). Als echte Niederspannungsröhre arbeitet sie bereits mit 6 V Anodenspannung und wir können bei Vorhandensein einer 6 V Gleichspannungsquelle ausreichender Leistung (Steckernetzgerät oder 6 V Autobatterie) Heiz- und Anodenspannung zusammen schalten.





Versuch 34

Audion mit Rückkopplung

Da das Audion nicht nur das Nf-, sondern auch das Hf-Signal verstärkt, haben wir die Möglichkeit, eine Rückkopplung einzubauen, von der wir aus den Experimenten mit dem Transistor bereits wissen, dass sie die Empfindlichkeit und die Trennschärfe des Empfängers gewaltig verbessert, weil alle Verluste der Stufe ausgeglichen werden können. Das verstärkte Hf-Signal muss dazu phasenrichtig wieder auf den Schwingkreis gekoppelt werden. Der Grad der Einkopplung ist zweckmäßigerweise veränderlich, was man durch mehrere Möglichkeiten erreichen kann: Entweder man gestaltet die Hf-Verstärkung veränderlich oder man führt nur einen einstellbaren Teil der Hf- durch induktive oder kapazi-

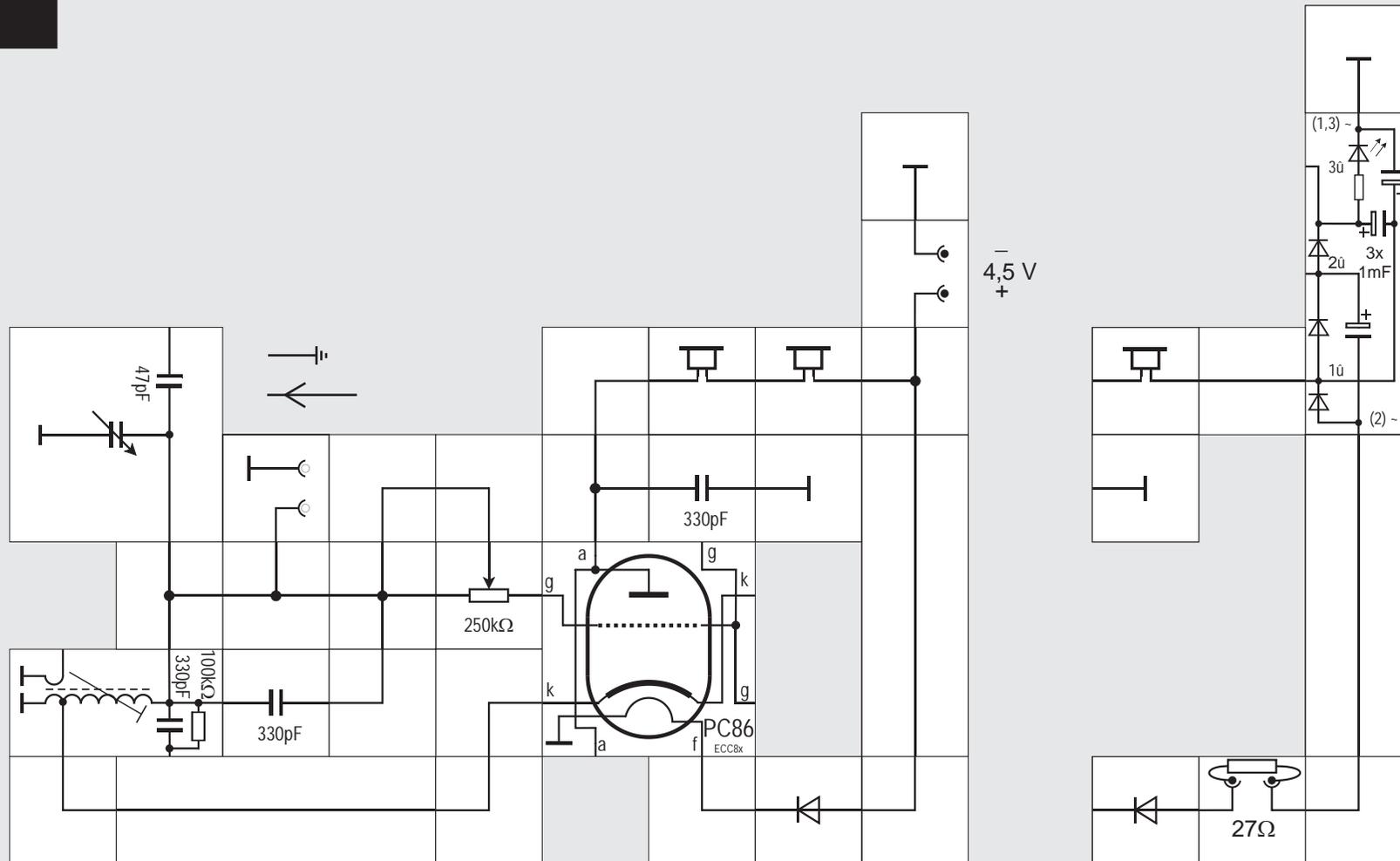
tive Kopplung zurück. Kurz vor dem Einsatz der Stufe zur Selbsterregung, die sich durch das charakteristische Pfeifen bemerkbar macht, sind Empfindlichkeit und Trennschärfe maximal. In unserem Versuchsaufbau mit der Doppeltriode ECC81 haben wir die DREIPUNKTSCHALTUNG gewählt. Man kann sie sich daraus entstanden denken, dass von der Anode des Audions das Hf-Signal über eine Spule transformatorisch auf die Schwingkreis-spule phasenrichtig gekoppelt wird. Durch Vertauschen der Reihenfolge von Rückkopplungsspule und Anodenspannungsquelle haben beide Spulen einen gemeinsamen Punkt, der auf Kathodenpotential liegt. Dieselbe Konfiguration mit der richtigen Phasenlage des rückgekoppelten Hf-Signals erreicht man nun schließlich, indem man eine Spule mit einer Anzapfung versieht, an die die Kathode angeschlossen wird. Bei der resultierenden Abstimmereinheit mit den drei Anschlüssen (daher der Name Dreipunkt) kann der Stator des Drehkondensators einseitig an Masse gelegt werden, was mechanisch gerade bei großen Luftdrehkondensatoren von Vorteil ist. Da das Audion mit völlig entdämpftem Schwingkreis arbeitet, sollte die Antenne nur schwach angekoppelt werden. Die Kopplung können wir induktiv über die kleine Zusatzspule oder kapazitiv über den 47 pF Kondensator vornehmen. Die kapazitive Kopp-

lung lässt sich noch dadurch verkleinern, dass wir die Kontaktflächen von Drehkondensator- und Anschluss-Baustein nicht gegeneinander klicken lassen, sondern auf Abstand voneinander mit Papier oder Folie isolieren. Wir können so das Optimum herausfinden.

Den Rückkopplungsgrad stellen wir über die Höhe der Anodenspannung ein; von ihr sind auch die Steilheit und die Verstärkung der Röhre abhängig. Je nach Wahl des Spulensatzes können wir Kurzwellensender und lokale Mittelwellensender ganz-tätig und fernere Mittelwellensender in den Abendstunden gut empfangen. Der Vergleich mit dem Audion ohne Rückkopplung zeigt speziell im Kurzwellenbereich deutlich die jetzt doch erheblich bessere Trennschärfe. Die Rückkopplung setzt sehr weich ein und ein feinfühliges Einstellen ist möglich; sollte sie gar nicht einsetzen, muss die Antenne schwächer angekoppelt werden.

Wir können unsere Schaltung mit kleinem Ohrhörer bestücken oder über den Klinckenstecker-Adapter einen qualitativ besseren 600 Ω Stereokopfhörer anschließen. Durch die Serienschaltung von linkem und rechtem System hören wir das Mono-Signal auf beiden Ohren. Auch sollten wir ausprobieren, wie sich höhere Anodenspannungen 2 \hat{u} und 3 \hat{u} auswirken.

35*



Vorsicht!
Widerstand wird heiß
Langbeinig einstecken



Versuch 35*

Audion mit PC86 / PC88

Die steilen Hf - Trioden PC86 und PC88 wurden millionenfach in Fernsehapparaten als Mischstufe eingesetzt und mussten Frequenzen bis 0,8 GHz verarbeiten. Das ging nur bei kleinen Elektrodenabständen, woraus eine relativ große Steilheit und ein gutes Arbeiten bei kleinen Anodenspannungen resultiert. Wer eine solche weit verbreitete Röhre in seiner Sammlung hat, kann ein Audion aufbauen, das mit 4,5 V Anodenspannung aus einer Flachbatterie arbeitet. Aus derselben Spannungsquelle kann auch die eingesetzte Röhre geheizt werden; sie benötigt 300 mA Strom bei einer Heizspannung von nur 3,8 V. Bei einer frischen Flachbatterie sollte unsere Universaldiode in Reihe gelegt werden, um die Spannung um 0,7 V abzusenken. Es schadet aller-

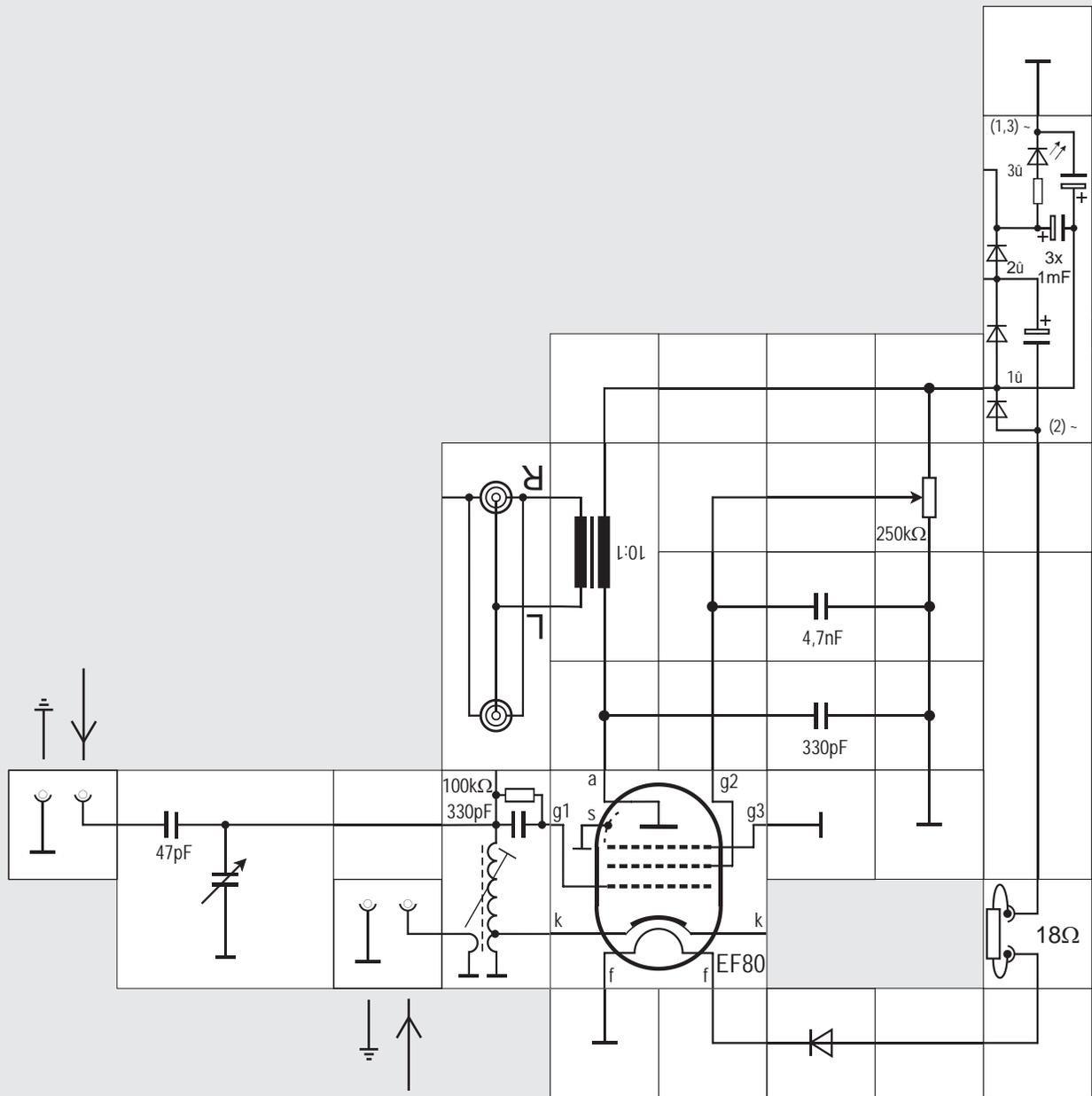
dings auch nichts, wenn die Röhre 10% Überspannung erhält.

Im Experimentierkasten gibt es für diese Röhren keinen eigenen Baustein. Wir können jedoch den ECC8x Baustein verwenden und als Schaltbild für die PC86 Röhre das entsprechende aus dem Ausschneidebogen am Ende der Anleitung auflegen. *)

Für die PC88 eignet sich der EF80 Baustein, wobei aber unbedingt der Bodenkontakt abgeklebt werden muss, sonst ist das Gitter fest an Masse gelegt. Durch die unterschiedliche Anschlussbelegung ergeben sich Änderungen im Aufbau. Es ist nur das Bild für die PC86 angegeben, es dürfte keine Schwierigkeiten bereiten, die Schaltung für die PC88 abzuändern. *)

Die Antenne wird fest an den Schwingkreis gekoppelt, das RC- Glied des Spulenbausteins können wir nicht nutzen, weil wir den Grad der Rückkopplung über eine veränderliche Gitterspannung einstellen wollen und die Anodenspannung konstant halten. Als Kopfhörer kommen unsere 600 Ω Ohrhörer zum Einsatz. Für denjenigen, der mit höherer Anodenspannung arbeiten möchte, ist die Speisung der Röhre aus dem Vervielfacher - Baustein zusätzlich angegeben.

*) Bei LECTRON sind auf Anfrage passende Röhrenbausteine (jeweils ohne die Röhren) erhältlich.



Vorsicht!
Widerstand wird heiß
Langbeinig einstecken

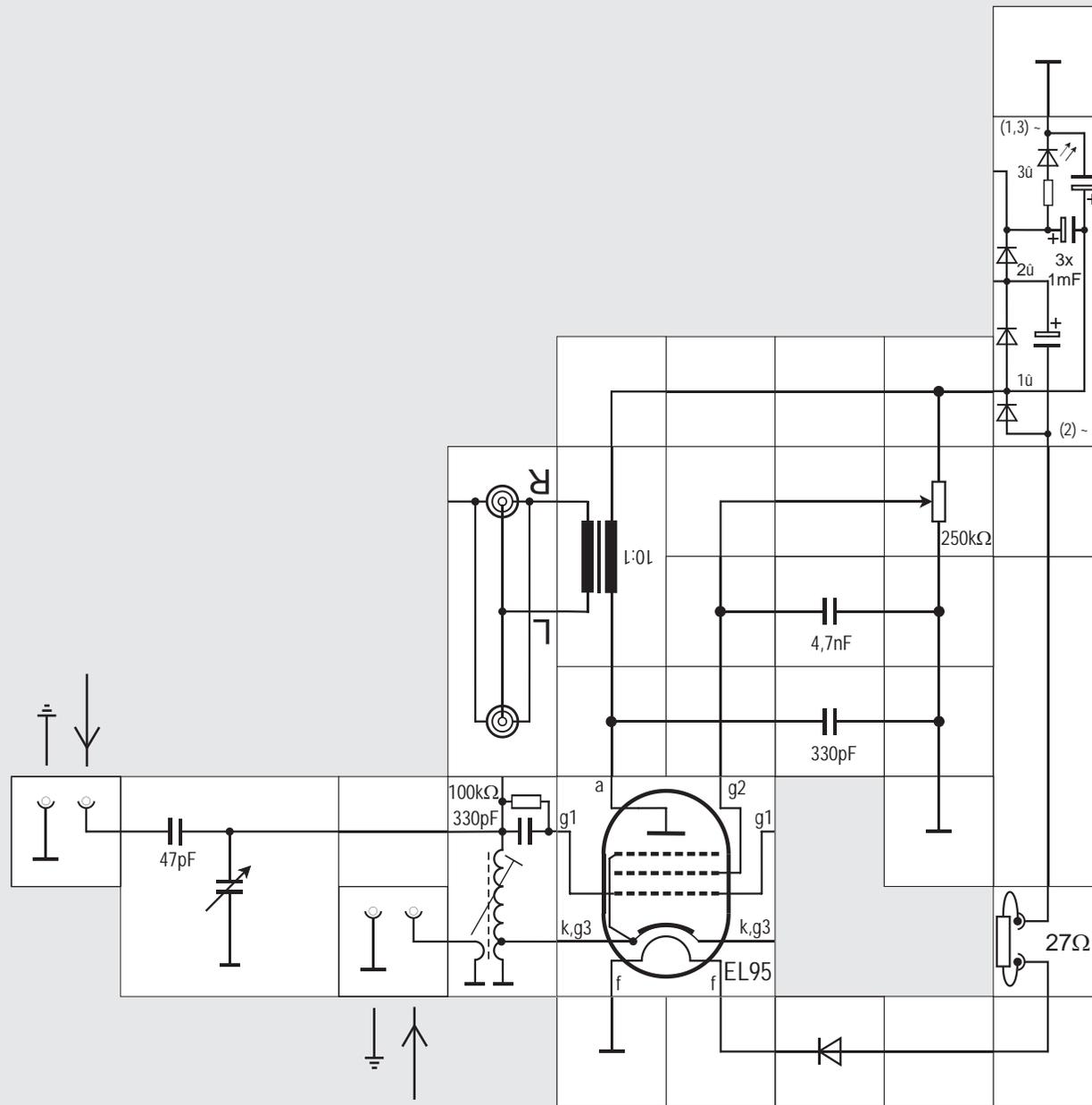


Versuch 36

Audion mit Pentode EF80

Gegenüber einer Triodenschaltung bringt ein Pentoden - Audion Vorteile. Die Steilheit der Röhre - und damit ihre Verstärkung - lässt sich durch Verändern der Schirmgitterspannung einstellen. Das System Kathode - Steuergitter - Schirmgitter arbeitet wie ein Triodensystem, demoduliert das Hf - Signal und entdämpft den Empfangskreis. Das demodulierte Signal wird an der Anode abgegriffen. Wir starten zunächst mit der Anodenspannung 1 μ und sehen dann, welche Verbesserungen mit 3 μ zu erzielen sind. Das Nf - Signal koppeln wir über unseren 10:1 Übertrager aus. In Abhängigkeit vom Spulensatz werden wir MW - oder KW - Stationen bereits mit dieser einen Stufe lautstark empfangen. Auf jeden Fall sollten wir trotzdem die uns bereits bekannten Antennenankopplungen zur Optimierung des Empfangs ausprobieren.

Der Klinkenstecker - Adapter ist wieder so geschaltet, dass beide Kopfhörer - Systeme in Reihe liegen.



Vorsicht!
Widerstand wird heiß
Langbeinig einstecken



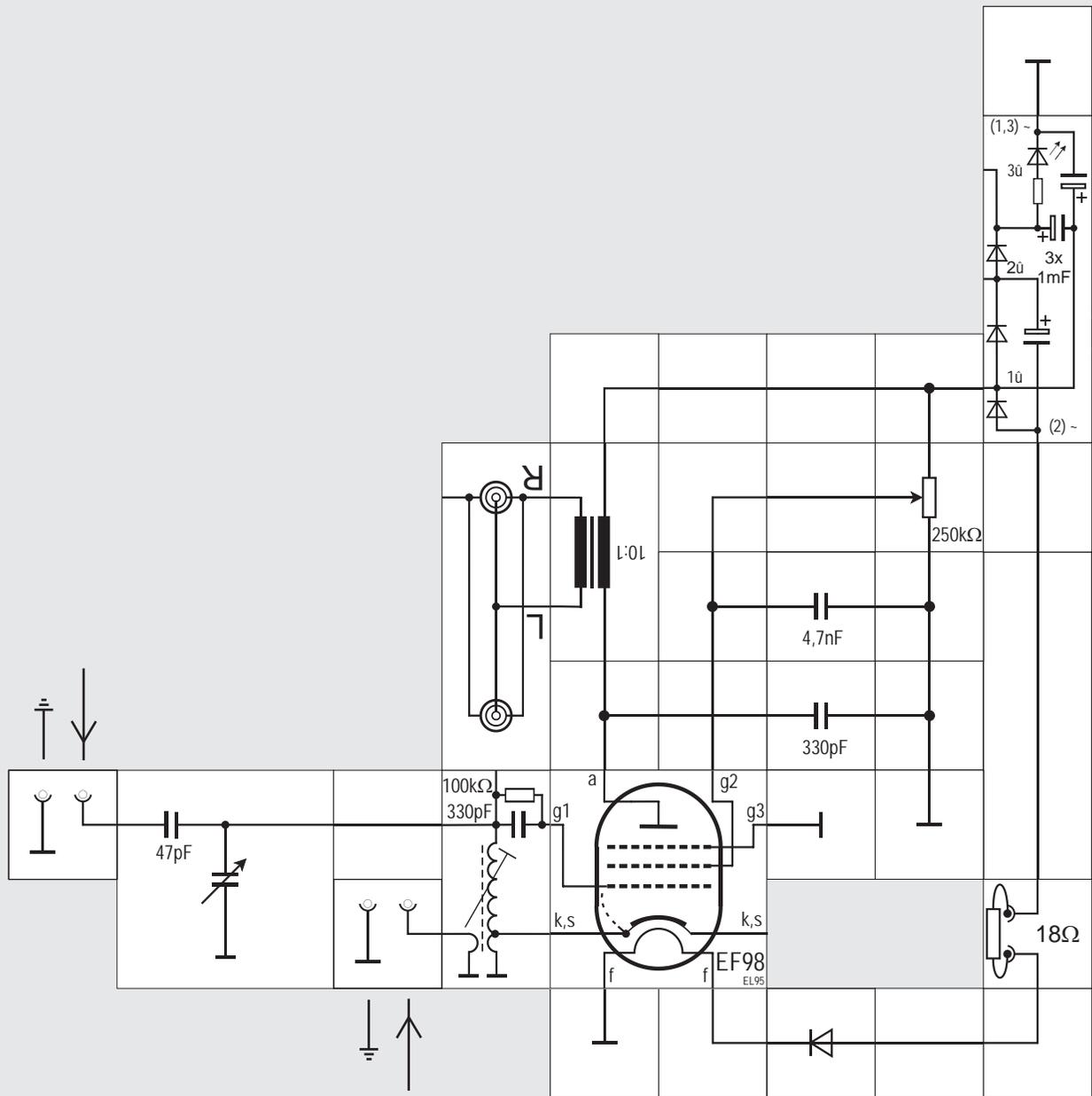
Versuch 37

Audion mit Leistungspentode EL95

Obwohl unsere Leistungspentode EL95 eigentlich für den Einsatz in Endstufen, also zur Verstärkung des Nf - Signals - konstruiert wurde, eignet sie sich auch als Audion. Der Versuchsaufbau zeigt, welcher Heizvorwiderstand verwendet werden muss und an welchen Stiften die einzelnen Elektroden herausgeführt sind. Wir können mit diesem Aufbau die gleichen Optimierungsexperimente durchführen wie im vorherigen Versuch.

Der gleiche Aufbau eignet sich auch für die früher weit verbreitete Hf-Pentode EF95. Sie unterscheidet sich allerdings in der Sockelbeschaltung: Am rechten oberen Kontaktplättchen (im Versuchsaufbau nicht benutzt) liegt nicht g_1 , sondern ein drittes Mal k, g_3 . Wer ein solches Exemplar in seiner Röhrensammlung hat, kann damit die gleichen Experimente anstellen. Die Röhre arbeitet bereits mit 12 V Anodenspannung. Für einen Dauerbetrieb muss allerdings der Heizvorwiderstand auf 30 bis 33 Ω erhöht werden; die Röhre benötigt nur einen Heizstrom von 175 mA statt 200 mA wie die EL95.

38*



Vorsicht!
Widerstand wird heiß
Langbeinig einstecken



Versuch 38*

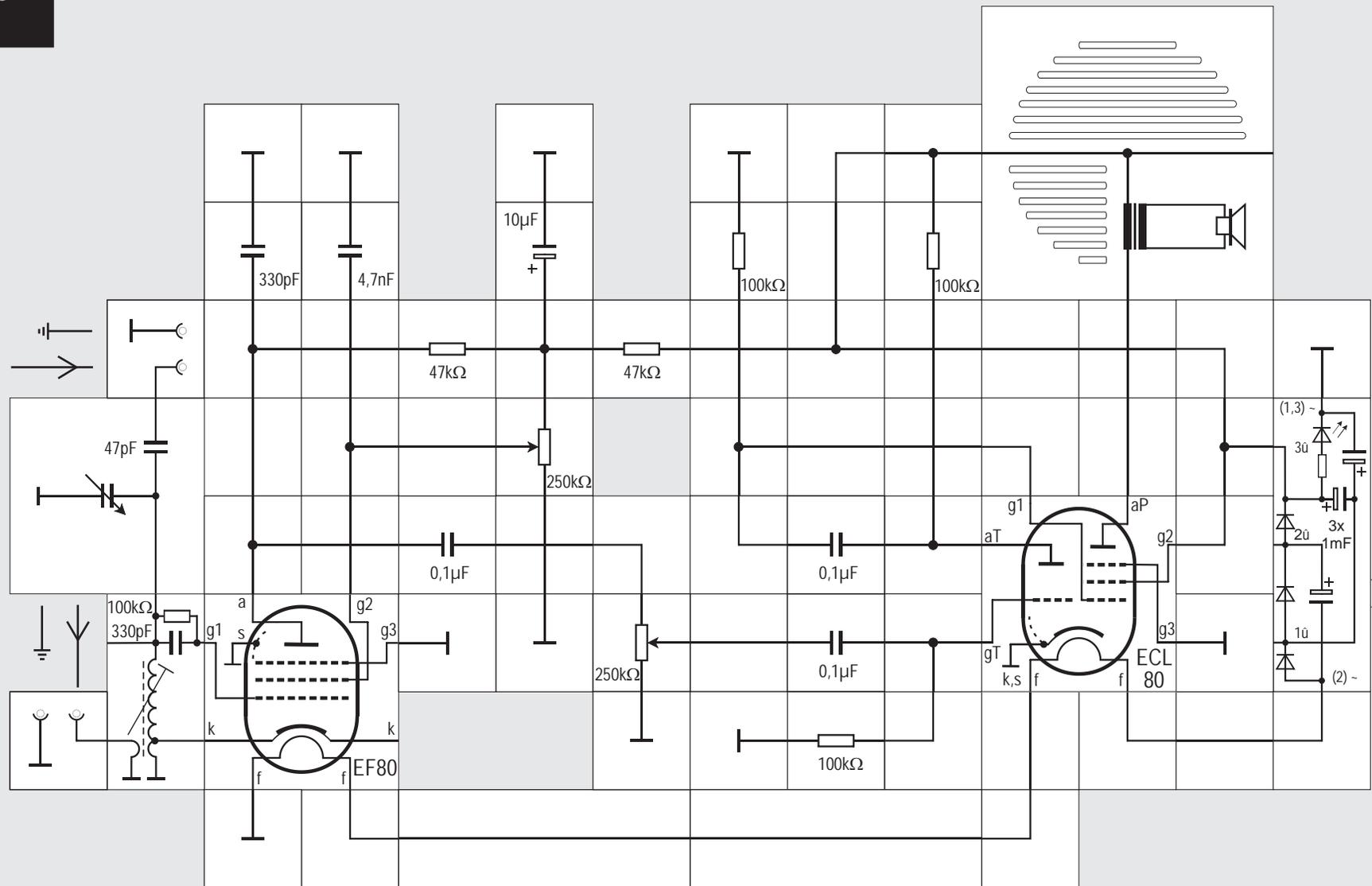
Audion mit Pentode EF98

In den sechziger Jahren hatte man für den UKW – Teil von Autoradios noch keine passenden Transistoren für die hohen zu verarbeitenden Frequenzen, musste also auf Röhren zurückgreifen, die ohne Zerkhacker mit 6 V oder 12 V der Autobatterie arbeite-

ten. Neben der uns schon bekannten Doppeltriode ECC86 wurden die Pentoden EF97 / EF98 entwickelt. Diese Röhren wurden nicht mehr in so großen Stückzahlen hergestellt, da der Siegeszug des Transistors nicht mehr aufzuhalten war.

Die EF98 kann man schon fast legendär nennen, da sie ab 1960 im KOSMOS Radiomann eingesetzt wurde. Leider sind deswegen gebrauchte oder auch original verpackte Röhren dieses Typs nur zu entsprechenden Preisen zu bekommen. Wer also solch einen Schatz in seiner Röhrensammlung hat, kann ihn an Stelle der EL95 in den EL95 Röhrenbaustein einsetzen und aus dem Ausschneidebogen am Ende des Anleitungsbuchs das entsprechende Schaltbild auflegen. *) Die beiden Typen unterscheiden sich im Heizstrom, weswegen der Heizvorwiderstand angepasst werden muss. Außerdem weisen sie einen kleinen Unterschied in der Stiftbelegung aus: g3 der EF98 ist nicht intern mit der Kathode verbunden wie bei der EL95, sondern separat an der Stelle des rechten g1 – Anschlusses heraus geführt. Die EF98 darf auch nur mit maximal 30 V Anodenspannung betrieben werden, also nicht mit 2û oder 3û verbinden! Wir werden bereits brauchbare Ergebnisse mit 6 V Anodenspannung erhalten.

*) Bei LECTRON ist auf Anfrage ein passender Röhrenbaustein (ohne die EF98) erhältlich.





Versuch 39

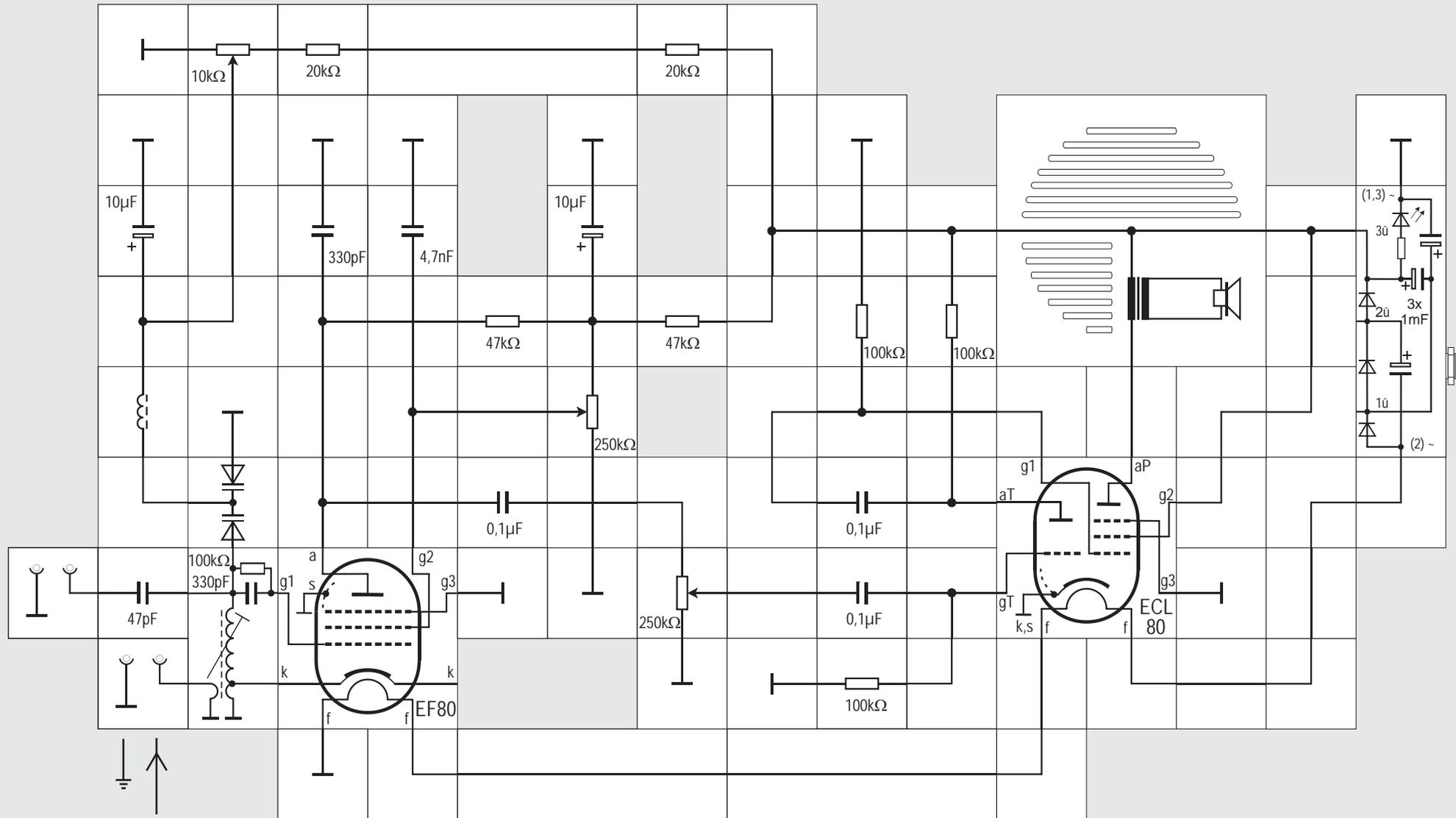
Dreistufiger Röhrenempfänger

Nachdem wir bereits mehrere Audionstufen mit unseren unterschiedlichen Röhren aufgebaut und auch verschiedene Nf - Verstärker ausprobiert haben, liegt es nahe, beide Stufen zu kombinieren.

Für die Audionstufe verwenden wir unsere EF80 und für die Nf - Stufe die ECL80, mit deren zwei Systemen wir die Vor- und die Endverstärkung bewerkstelligen wollen. Die beiden Röhren haben 6,3 V Heizspannung und 300 mA Heizstrom, lassen sich

also gut in Serie schalten und von unserem Versorgungsbaustein speisen. Wir arbeiten wieder mit Rückkopplung (durch Ändern der Schirmgitterspannung), können die verschiedenen Spulen im Abstimmkreis einsetzen und die unterschiedlichen Antennenankopplungen ausprobieren. Die Sendereinstellung erfolgt zweckmäßigerweise beidhändig; mit der linken Hand stellen wir am Drehkondensator die gewünschten Sender ein, die sich bei angezogener Rückkopplung (Poti am Anschlag im Gegenurzeigersinn) durch Pfeifen bemerkbar machen, mit der rechten Hand vermindern wir die Rückkopplung durch Drehen am Potentiometer im Uhrzeigersinn, bis das Pfeifen aufhört. Wir können am Einstellknopf dann feinfühlig in Gegenrichtung drehen bis kurz vor den erneuten Einsatz der Rückkopplung, denn an dieser Stelle ist die Trennschärfe ja am besten. Eventuell muss die Abstimmung noch leicht nachgestellt werden.

Obwohl wir den LECTRON Lautsprecherbaustein mit einem 5:1 Übertrager für Transistorbetrieb verwenden, erzielen wir mit dieser krassen Fehlanpassung gute Ergebnisse. Die Schaltung funktioniert bereits bei Betrieb mit 1 μ Anodenspannung, wird aber bei 3 μ deutlich besser, so dass auch die Lautstärkeeinstellung mit dem weiteren Potentiometer ihren Sinn hat.





Versuch 40

MW – Empfänger mit Abstimm-diode

In unseren bisherigen Empfängerschaltungen haben wir die Abstimmung dadurch vorgenommen, dass wir die Kapazität im Abstimmkreis veränderlich ausführten. Bei fester Induktivität der Spule veränderten wir mit Hilfe eines Drehkondensators die Kapazität und konnten so die verschiedenen Sender selektieren.

Drehkondensatoren sind, besonders wenn bei ihnen als Isolation nur Luft verwendet wird, voluminöse Gebilde und stehen der allgemeinen Miniaturisierung entgegen. Um auch hier weiterzukommen, hat man sich daran erinnert, dass jede Diode auch als

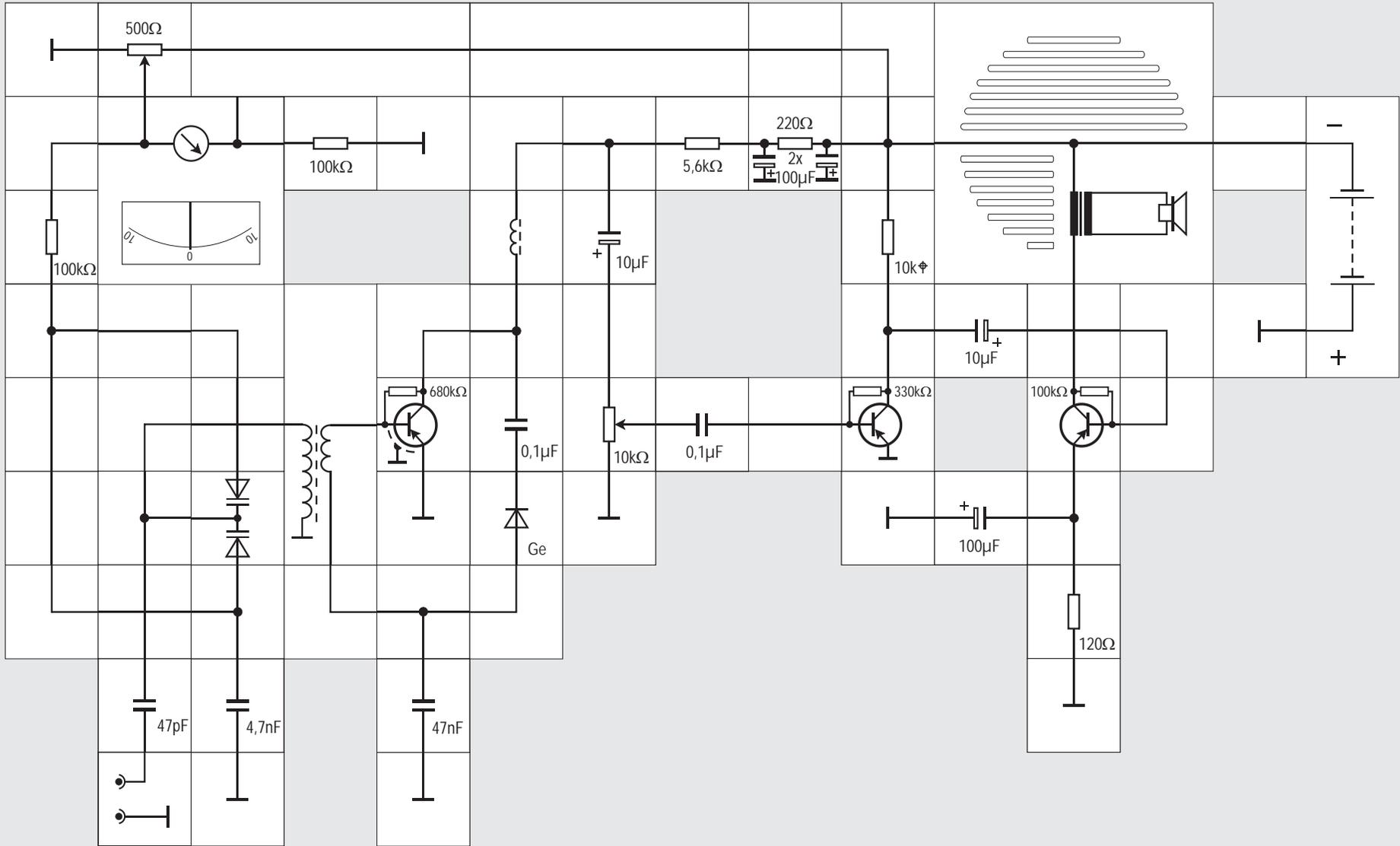
Kondensator angesehen werden kann, wenn sie in Sperrrichtung vorgespannt ist. Es bildet sich dann nämlich an der Grenzschicht ihrer beiden Elektroden, dem pn – Übergang, eine ladungsträgerfreie Zone aus, die als Dielektrikum des Kondensators fungiert. Die Dicke des Dielektrikums und damit die Kapazität des Kondensators ist von der Höhe der angelegten (Sperr-) Spannung abhängig und kann dadurch sehr fein mit einem Potentiometer eingestellt werden. Bei kleiner Sperrspannung ist die Sperrschicht dünn und damit die Kapazität hoch, beim Erhöhen der Sperrspannung wird sie breiter, wodurch die Kapazität sinkt. Bei »normalen« Dioden hält man diese Sperrschichtkapazität klein, da die Umschaltzeit vom Leiten zum Sperren und umgekehrt, die so genannte Sperrverzögerungszeit, auch möglichst klein sein soll. Von einem Abstimmkondensator im Mittelwellenbereich wird typisch eine Kapazitätsänderung von $DC = 250 \text{ pF}$ verlangt, damit der ganze MW – Bereich überstrichen werden kann. Normale Dioden ändern ihre Sperrschichtkapazität allenfalls um einige Picofarad, wenn man sie mit bis zu 25 V vorspannt. Es war also nötig, hier spezielle Dioden, KAPAZITÄSDIODEN oder VARAKTOR – Dioden genannt, zu entwickeln. Auf dem Markt gibt es hauptsächlich zwei verschiedene Bauformen: Eine, bei der zwei Dioden mit ihren Katoden gegen-

einander geschaltet sind und die wie ein Kondensator in einen Schwingkreis eingebaut werden kann. Über den gemeinsamen Katoden – Anschluss wird die veränderliche Sperrspannung zugeführt. Die beiden Kapazitäten liegen wechsellspannungsmäßig in Reihe und jede einzelne muss sich um $DC = 500 \text{ pF}$ verändern können, damit die resultierende Kapazitätsänderung 250 pF beträgt.

Die andere Bauform ist eine einzelne Diode, bei der die zweite durch eine Festkapazität ersetzt werden muss, damit man die Abstimmspannung überhaupt zuführen kann. Die veränderliche Kapazität liegt dann mit der Festkapazität wieder in Reihe.

Schaltungstechnisch muss in beiden Fällen dafür gesorgt werden, dass die hochfrequente Signalspannung nicht über die Sperrspannungsquelle kurzgeschlossen wird, was wir leicht mit einer Drossel verhindern können. Eine zusätzliche Stützung der Abstimm – Spannung mit einem Blockkondensator ist empfehlenswert. Wir erhalten dann den dargestellten Schaltungsaufbau, bei dem statt des Drehkondensators ein Potentiometer zur Senderauswahl verwendet wird. Soll die Antenne lose angekoppelt werden, können wir den 47 pF Kondensator verwenden oder durch ein Stück Plastikfolie zwischen den Kontaktplättchen von Anschluss- und Spulenbaustein eine kleinere Kapazität nachbilden.

41





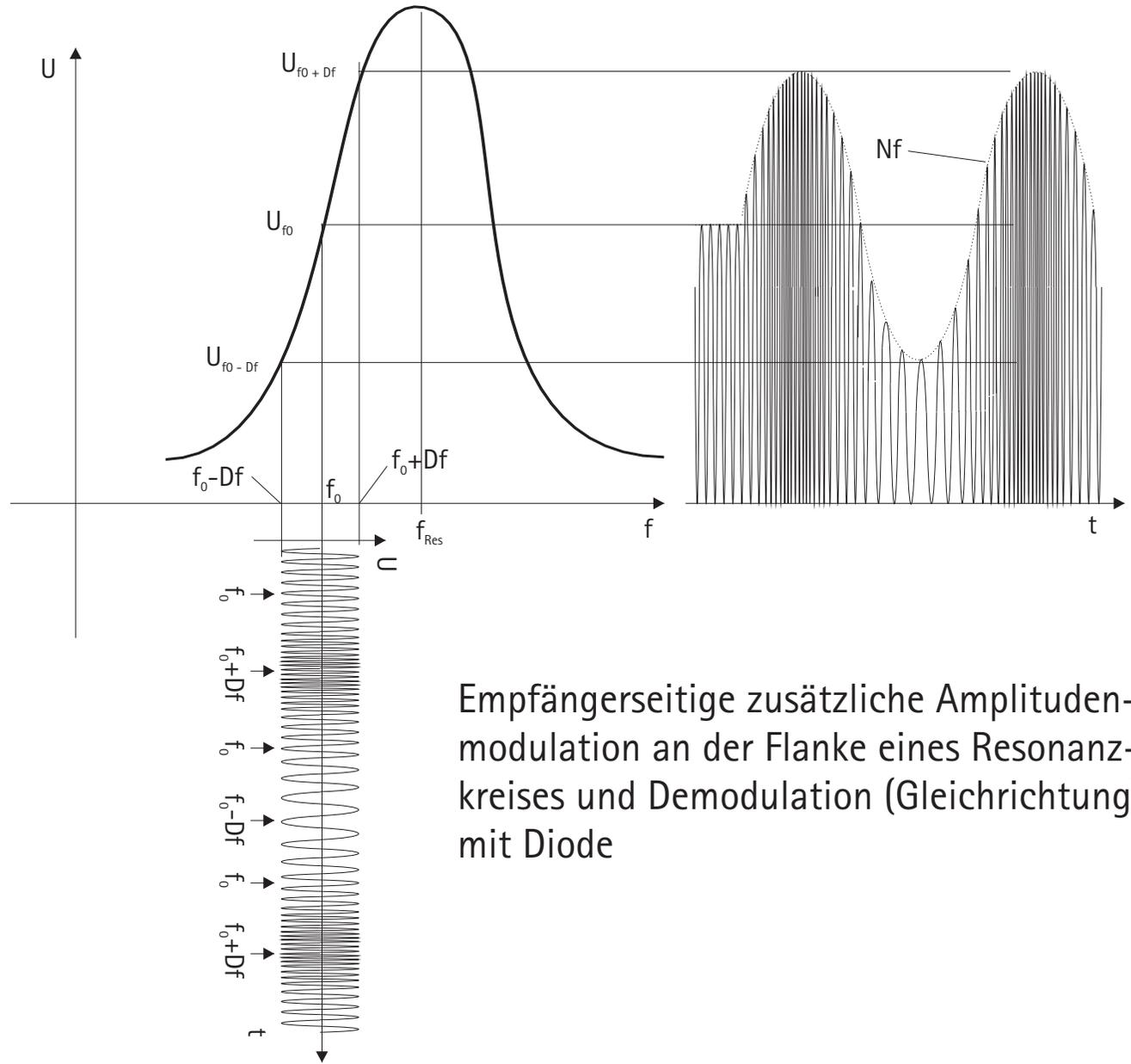
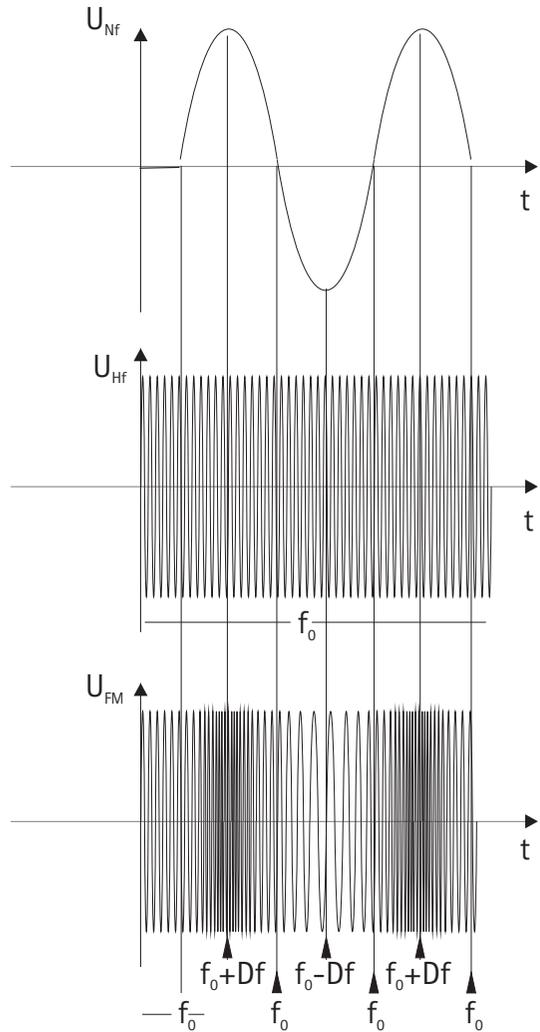
Versuch 41

Abstimm-diode bei invertierter Polarität

Natürlich kann die eben vorgestellte Konfiguration bei allen bisher aufgebauten Empfängern den Drehkondensator ersetzen. Vorsicht ist allerdings bei den Transistor - Empfängern geboten, bei denen der Pluspol an Masse liegt. Hier muss die Abstimm(sperr)-Spannung an der Anode zugeführt werden; wir nutzen jetzt nur eine Diode des Bausteins, nämlich die untere (können die obere sogar noch zu ihr parallel schalten) und ersetzen die ursprünglich andere durch eine 4,7 nF Festkapazität. Auf diese Weise müssen wir auch immer verfahren, wenn wir nur eine Abstimm-diode haben. Lassen wir uns die Abstimmspannung mit dem Messinstrument anzeigen, so haben wir eine kleine Senderskala.



Senderseitige Modulation



Empfängerseitige zusätzliche Amplitudenmodulation an der Flanke eines Resonanzkreises und Demodulation (Gleichrichtung) mit Diode



Frequenzmodulation

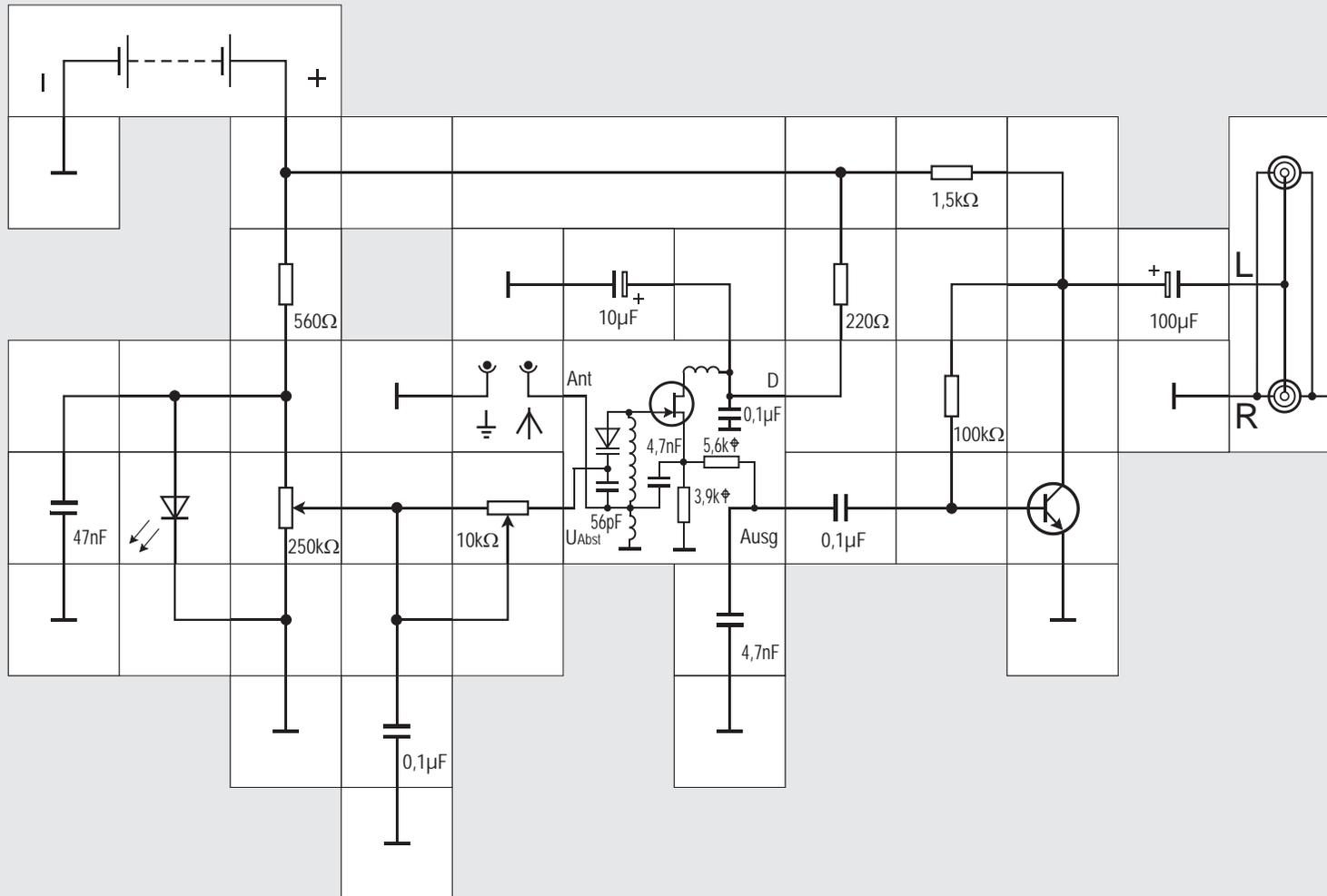
Nach der Amplitudenmodulation (AM), die wir bisher kennen gelernt haben, wollen wir uns zum Abschluss noch mit einer anderen Modulationsart beschäftigen, der Frequenzmodulation (FM), mit der bei uns in Deutschland alle UKW - Sender arbeiten. Grundsätzlich könnten auch die Sender im UKW - Bereich (30 MHz bis 300 MHz) amplitudenmoduliert werden, man wählte bei der UKW - Einführung jedoch diese neue Modulation, da sie viele Vorteile gegenüber der AM aufweist. Bei der FM bleiben die

Senderamplituden konstant, aber die Sendefrequenz schwankt um einen Mittelwert f_0 im Takt der zu übertragenden Niederfrequenz (Nf). Es verändert sich also nur die Frequenz um den Betrag $\pm Df$, nicht die Amplitude. Dies hat einen besonderen Vorteil in der Signalübertragung: Störungen von anderen elektrischen Geräten oder atmosphärische Störungen wirken sich nur auf die Amplitude eines Signals aus. Auf der Empfängerseite kann man die Spitzen eines Signals abschneiden (begrenzen), ohne einen Einfluss auf die in der Frequenz vorhandenen Information zu nehmen; daher ist FM wesentlich störungsfreier zu empfangen als AM. Zusätzlich führt man folgenden Kniff durch: Auf der Senderseite hebt man bei der Modulation die hohen Frequenzen in der Lautstärke etwas an (EMPHASIS). Damit der Klang auf der Empfangsseite erhalten bleibt, senkt man die hohen Frequenzen entsprechend wieder ab (DEEMPHASIS). Störgeräusche bei der AM bestehen nun hauptsächlich aus hohen Frequenzen (Zischen und Prasseln). Treten sie doch in irgendeiner Form auf, werden sie in gleichem Maße herabgesetzt und weit weniger wirksam.

Ohne dass wir in Einzelheiten gehen wollen, können wir uns senderseitig die Modulation so vorstellen: Zum Schwingkreis eines Oszillators wird eine Kapazitätsdiode parallel geschaltet. Diese Diode erhält

eine Gleichspannung (Vorspannung) in Sperrrichtung und als Überlagerung die vom Mikrofon kommende Modulationswechselspannung (Nf). Steigt die Amplitude der vom Mikrofon gelieferten Spannung in positiver Richtung an, wird die Sperrspannung an der Kapazitätsdiode größer, damit ihre Sperrschicht breiter und ihre Kapazität kleiner und als Folge die Frequenz höher; umgekehrt ist es bei Nf - Spannungen in negativer Richtung, hier wird die Frequenz kleiner. Dabei ändert sich die Amplitude der Schwingung nicht. Die Empfindlichkeit eines solchen Modulators kann man in kHz / V angeben. Empfängerseitig geschieht die Demodulation dadurch, dass man die FM auf einen etwas verstimmten Schwingkreis gibt. Die in Resonanznähe liegenden Frequenzen erzeugen dann eine höhere Spannung als die weiter ab liegenden, und das entstehende Signal ist zusätzlich amplitudenmoduliert. Seine Hüllkurve entspricht der ursprünglichen Nf und kann durch Gleichrichten mit einer Diode wieder gewonnen werden. Dieser FM FLANKENGLEICHRICHTER unterscheidet sich nicht von einem AM - Gleichrichter. Er ist allerdings heute wegen vieler Nachteile nicht mehr gebräuchlich und spielte nur in der Anfangszeit des UKW-Rundfunks eine Rolle; trotzdem man kann an ihm die prinzipielle Arbeitsweise eines FM - Demodulators gut erkennen.

42





Versuch 42

UKW - Pendelaudion

Mit dem folgenden Experiment wollen wir sehen, wie man mit wenigen Bauteilen eine Empfängerschaltung, die sich der Flankendemodulation bedient, aufbauen kann. Es ist ein PENDELAUDION, das in der Anfangszeit des UKW - Rundfunks verwendet wurde. Die Schaltung ist an Einfachheit kaum zu unterbieten; sie ist eine Sonderform der Audionschaltung, bei der durch überkritische Einstellung der Rückkopplung Hf - Schwingungen periodisch einsetzen und wieder abreißen. Die Schwingungsamplitude pendelt deswegen; liegt die Pendelfrequenz oberhalb des menschlichen Hörbereichs, also bei 50 bis 100 kHz, wird sie uns nicht weiter stören.

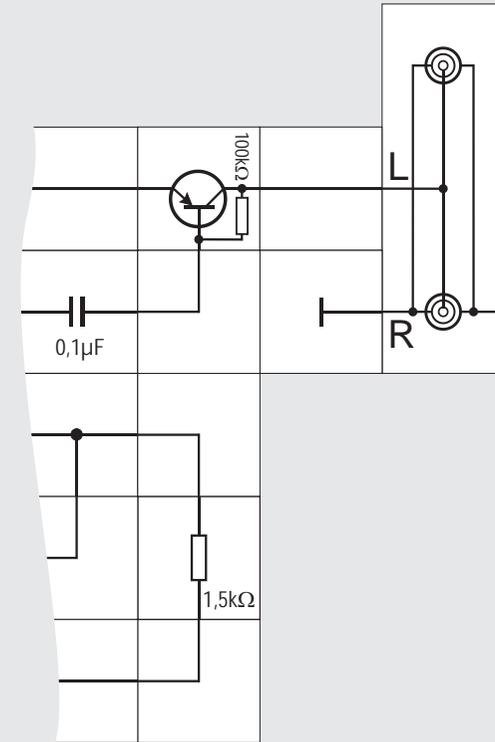
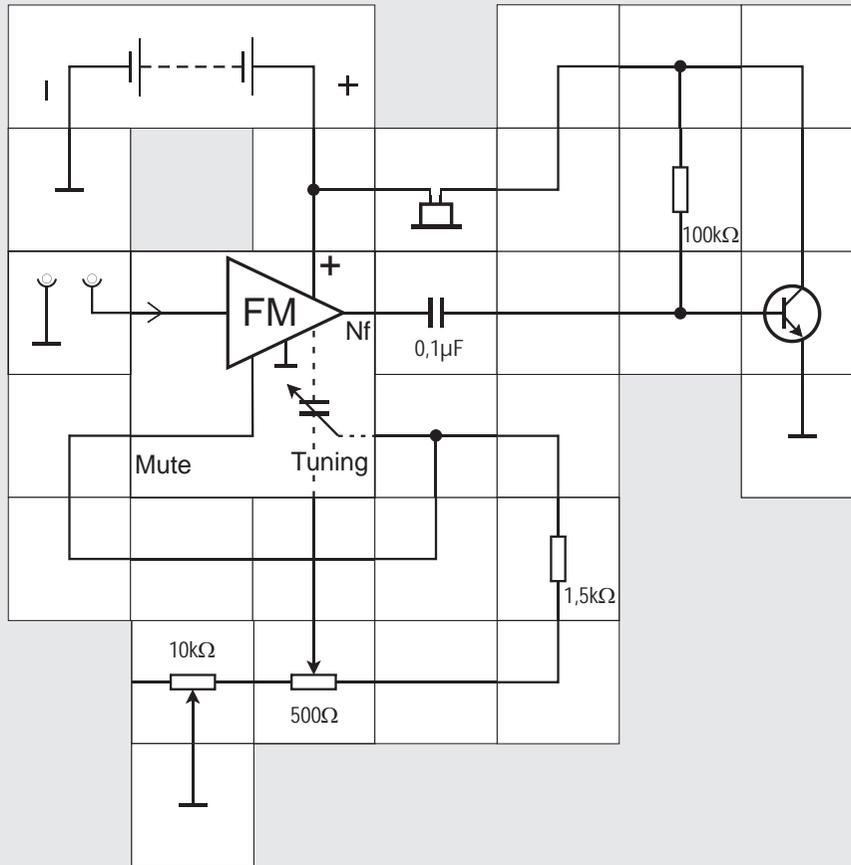
Da der Aufbau von UKW Empfängern eine extrem gedrängte Aufbauweise der Bauelemente erfordert, können wir das Herz der Schaltung, die Pendelaudionstufe mit dem Feldeffekttransistor, nicht mit einzelnen LECTRON - Bausteinen zusammen legen, sondern verwenden den eigens dafür geschaffenen Baustein. Die stets vorhandenen Kapazitäten der Verbindungsleitungen hätten gerade bei den hohen Frequenzen einen störenden Einfluss, so dass die Schaltung nicht funktionieren würde. Der Baustein

enthält den FET, Kondensatoren, Spulen, die bei Frequenzen im Bereich 85 - 110 MHz nur noch wenige Windungen haben, und zum Abstimmen eine Kapazitätsdiode.

Wir wissen bereits vom normalen Audion, dass Verluste im Abstimmkreis durch Entdämpfung ausgeglichen und sehr hohe Gütewerte (woraus eine hohe Trennschärfe folgt) erreicht werden können. Diese Eigenschaften wollen wir ausnutzen. Die Rückkopplung ist so fest eingestellt, dass kräftige Eigenschwingungen entstehen, die periodisch das Gate so weit negativ aufladen, dass der Transistor sperrt und die Schwingungen von selbst abreißen, bevor eine neue Schwingung mit der erwähnten Pendelfrequenz aufgebaut wird. Der Schwingkreis ist also periodisch äußerst gut entdämpft und bietet für einfallende Radiowellen nahezu ideale Empfangsbedingungen. Fällt kein Sender ein, hört man im Kopfhörer durch die stets vorhandene Rauschspannung des Schwingkreises und des Transistors, die hoch verstärkt wird, ein starkes Rauschen. Bei guter Einstellung ist das Pendelaudion so empfindlich, dass selbst ohne Antenne (70 cm langer Kupferdraht, senkrecht in Trennungsbaukasten gesteckt) mehrere Sender allein über den offenen Schwingkreis empfangen werden können.

Die Kunst besteht jetzt darin, durch Verändern der

Kapazität der Abstimm-diode einen Sender zu finden und so einzustellen, dass gleichzeitig eine Flankendemodulation stattfinden kann. Die verwendete Abstimm-diode verändert ihre Kapazität im Bereich von 0 - 9 V um circa 15 pF, womit wir bereits den gesamten UKW überstreichen. Es ist also viel Fingerspitzengefühl erforderlich. Zur besseren Einstellung eines Senders begrenzen wir den Spannungs-bereich mit einer LED, der gegebenenfalls noch eine normale Si - Diode in Reihe geschaltet wird. Auch können wir Diode / Potentiometer mit dem 560 W Festwiderstand vertauschen, so dass die Abstimm-diode höhere Spannungen bekommt, dann eine kleinere Kapazität besitzt und wir höhere Frequenzen empfangen können. Der Spannungsteiler kann versuchsweise auch mit Festwiderständen und dem 500 Ω Potentiometer aufgebaut werden. Selbst die Größe des Verbindungswiderstandes geht in die Empfangsqualität ein, weswegen er als 10 k Ω Einstellwiderstand ausgelegt ist. Beginnen sollten wir hier mit einer mittleren Einstellung, die nach Auffinden eines Senders noch verändert werden kann. Probeweise kann auch die Aufbauplatte geerdet werden. Die günstigsten Empfangsbedingungen hängen von vielen Faktoren ab, so dass wir ein wenig experimentieren müssen, um sie heraus zu finden.

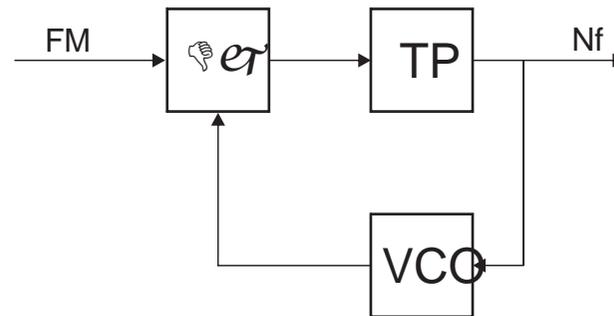




Versuch 43

Der LECTRON UKW - Baustein

Moderne UKW - Empfänger bewerkstelligen die Demodulation nach einem anderen Verfahren, mit dem auch der integrierte Schaltkreis TDA7000 in unserem UKW - Baustein arbeitet. Ziel der Entwicklung war, schlecht integrierbare Bauelemente wie Kondensatoren und Induktivitäten für den Schwingkreis zu eliminieren. Kern dieser Schaltung ist ein so genannter PHASENREGELKREIS PLL (engl.: phase locked loop). Er besteht aus einem SPANNUNGSGESTEUERTEN OSZILLATOR VCO (engl.: voltage controlled oscillator), einem KOMPARATOR Dj und einem Tiefpass - Filter TP. Die Frequenz des Oszillators wird durch eine anliegende Spannung bestimmt. Der Komparator vergleicht nun ständig die Frequenz und die Phase des Oszillatorsignals mit der des (vorher verstärkten) FM - Empfangssignals. Solange beide nicht übereinstimmen, gibt er an seinem Ausgang ein Fehlersignal ab, das gefiltert dafür sorgt, die Frequenz des spannungsgesteuer-



ten Oszillators so nachzuziehen, dass beide übereinstimmen.

Ohne Modulation des FM - Signals hat die Regelspannung einen mittleren Wert und der VCO gibt ein Signal ab, das die gleiche Frequenz, wie das ankommende FM-Signal hat. Ändert sich die Frequenz des FM-Signals durch Frequenzmodulation, entsteht eine Spannung, die den VCO eigentlich nachregeln will und das auch tut; gleichzeitig entspricht diese Spannung aber auch der Frequenzänderung und ist damit direkt das demodulierte NF-Signal, das wir - weiter verstärkt - hörbar machen können. Neben dem PLL enthält der TDA7000 natürlich noch andere Schaltungselemente, wie Begrenzer, Filter

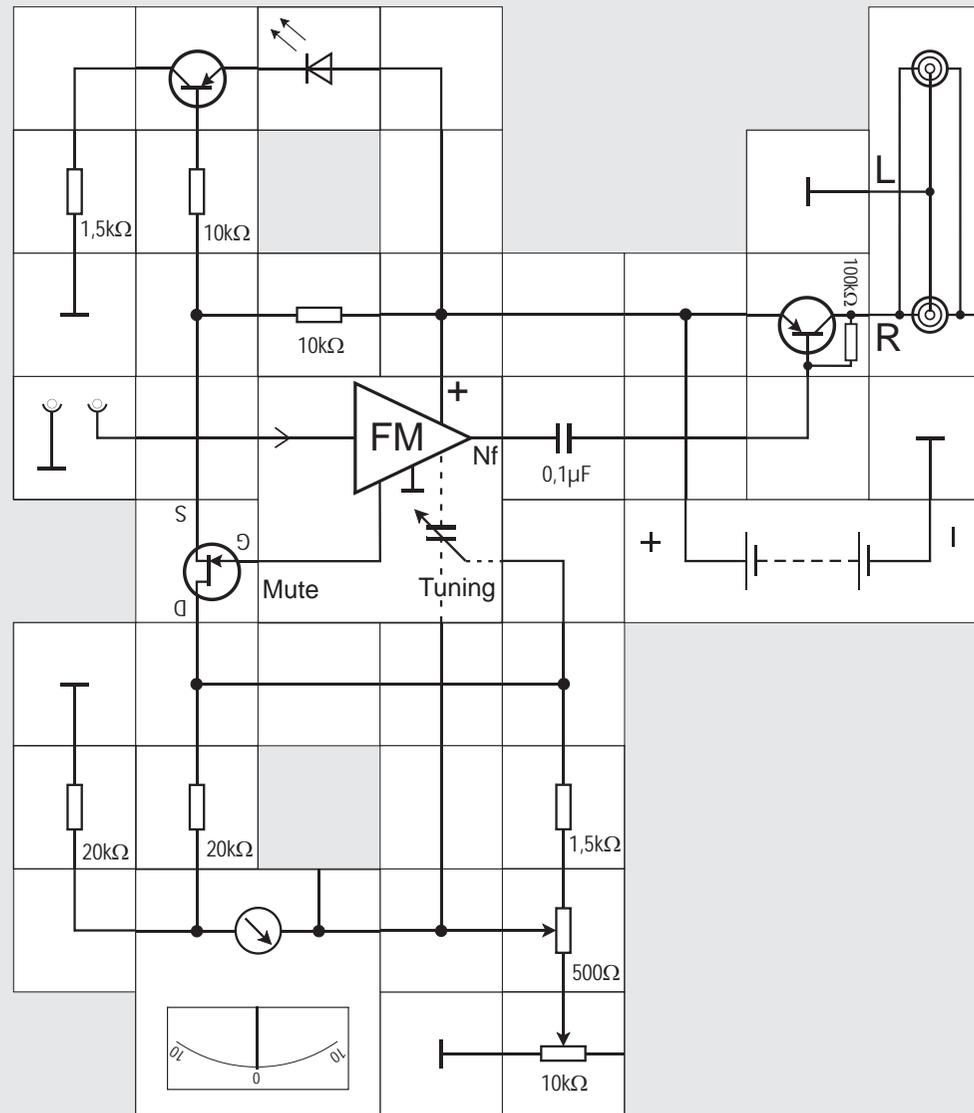
und Verstärker, auf die wir nicht näher eingehen wollen.

Intern arbeitet der UKW - LECTRON Baustein mit einer Versorgungsspannung von 5,6 V, die auch dazu genutzt werden kann, die Stummschaltung oder RAUSCHUNTERDRÜCKUNG zu deaktivieren, wenn kein Sender einfällt. Wer die Sendersuche also gern geräuschvoll haben möchte, kann die interne Spannung auf den »Mute« - Anschluss geben. Weiter wird sie zur Senderauswahl benötigt, die intern über eine Kapazitätsdiode geschieht und mit zwei Potentiometern für die Grob- und die Feineinstellung über den »Tuning« - Eingang durchgeführt wird.

Das Ausgangssignal des Bausteins muss kapazitiv abgenommen werden; es ist in der Lage, nur einen hochohmigen Kopfhörer anzusteuern und wird deswegen in einer einfachen Transistorstufe weiterverstärkt. Wir können dazu wahlweise einen npn - oder einen pnp - Transistor verwenden. Es lohnt sich dann auch, einen hochwertigen Kopfhörer über den Klinkenbuchsen - Adapter anzuschließen. Beide Schaltungen sind angegeben.

Als UKW - Antenne verwenden wir einen senkrechten massiven Kupferdraht von ca 70 cm Länge, der direkt in den Anschlussbaustein gesteckt werden kann.

44





Versuch 44

UKW - Baustein mit Empfangsanzeige

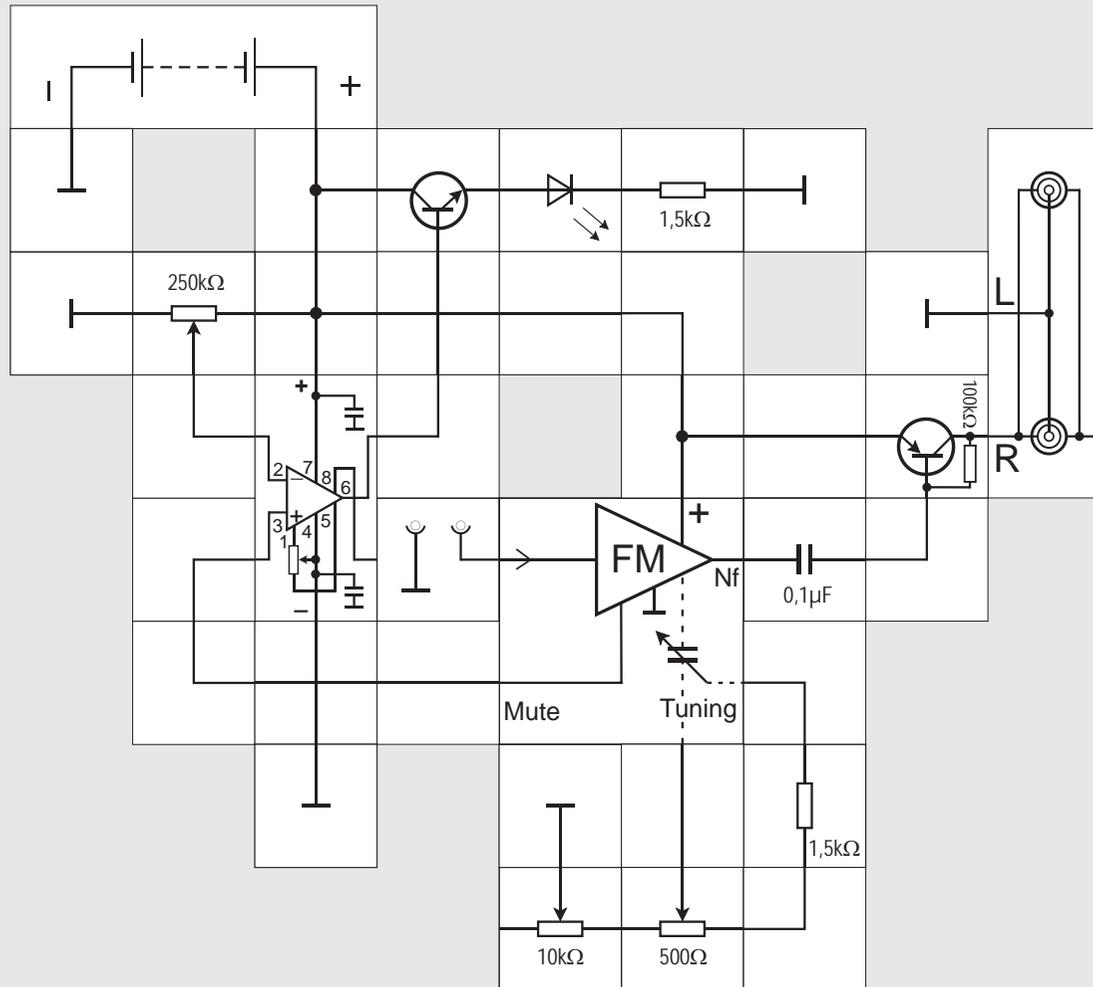
Solange kein Sender einfällt, gibt der Mute - Anschluss eine Spannung ab, die ca 0,7 V unter der intern erzeugten Versorgungsspannung liegt. Diese Spannung ist mit einem hochohmigen Messinstrument auch messbar. Das LECTRON - Instrument ist nicht so gut dafür geeignet.

Empfangen wir einen Sender, so steigt die Spannung auf nahezu die Höhe der internen Versorgungsspannung an. Diese Veränderung können wir zur Empfangsanzeige ausnutzen. Da der Mute - Anschluss nicht belastet werden darf, empfiehlt sich ein hochohmiger Verbraucher, nämlich unser FET. Er macht zufällig auch genau das Richtige, wenn wir sein Gate an den Mute - Anschluss legen, der potentialmäßig immer unter der internen Versor-

gungsspannung liegt, die mit dem Source - Anschluss verbunden wird. Sein pn - Übergang ist dann stets in Sperrrichtung vorgespannt und es fließt kein Strom über den Gate - Anschluss. Den Drain - Anschluss legen wir über einen Arbeitswiderstand von 10 k Ω an die 9 V Versorgungsspannung. Beim Empfang eines Senders leitet der FET besser als wenn wir keinen Sender empfangen, die Spannung am Drain - Anschluss sinkt dann durch den höheren Spannungsabfall, den der Drainstrom verursacht, ab. Schaltungsmäßig brauchen wir die Gatespannung nicht »im Bogen« um den FET herum zu führen; da unser FET intern symmetrisch aufgebaut ist, können wir ihn verkehrt herum einsetzen. Die Elektrode mit dem tiefsten Potential wird automatisch Source, die mit dem höchsten Drain. Die am 10 k Ω anfallende Spannungsänderung verstärken wir mit einem pnp - Transistor. Sein Kollektorstrom reicht dann aus, eine LED hell leuchten zu lassen.

Als UKW-Sender-Skala verwenden wir das Messinstrument. Damit wir die gesamte Skala zur Anzeige ausnutzen können, misst das Instrument die Abstimmspannung nicht gegen Masse, sondern gegen $U_{\text{intern}}/2$. Der Spannungsteiler aus den beiden 20 k Ω Widerständen begrenzt den Strom gerade so, dass nahezu die ganze Skala überstrichen wird.

45*





Versuch 45*

Empfangsanzeige mit Operationsverstärker

Wer den LECTRON Experimentierkasten »Operationsverstärker« besitzt, kann die Anzeige mit einem als Komparator geschalteten Operationsverstärker ausführen. Das Vergleichssignal gewinnen wir aus der Versorgungsspannung, es wird hochohmig über das 250 k Ω Potentiometer an den invertierenden Eingang gelegt. Das Potentiometer muss so eingestellt werden, dass beim Empfang eines Senders die Leuchtdiode leuchtet. Der nichtinvertierende Eingang wird mit dem Mute - Anschluss verbunden. Übersteigt die Spannung hier beim Empfang eines Senders die Vergleichsspannung vom Potentiometer, so gibt der Operationsverstärker hohes Potential ab, das über einen Emitterfolger verstärkt die Leuchtdiode zum Leuchten bringt. Ohne Empfang gibt der Operationsverstärker nahezu Massepotential ab und die Leuchtdiode leuchtet nicht. Durch die äußerst hohe Verstärkung des Operationsverstärkers erfolgt die Umschaltung schlagartig.

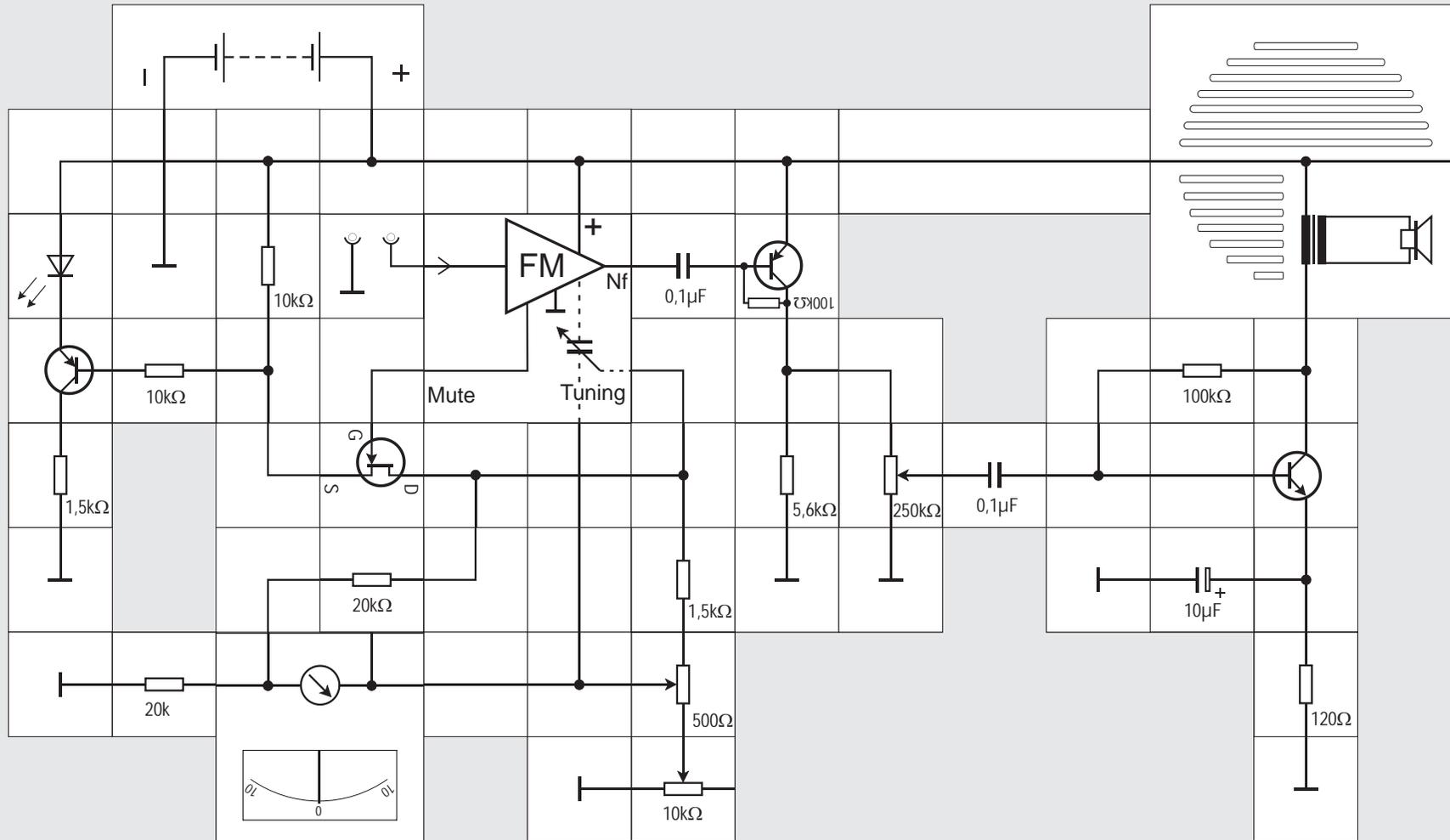


Versuch 46

UKW - Empfänger mit Nf - Übertrager

Bisher haben wir unseren Kopfhörer direkt in die Kollektorleitung der dem UKW - Baustein folgenden Transistorstufe gelegt; es fließt also auch ein nicht gewünschter Gleichstrom über den Kopfhörer. Wir können das wieder durch Zwischenschaltung des Ausgangsübertragers vermeiden und erhalten den angegebenen Versuchsaufbau. In Reihe zu dem Übertrager liegt ein $4,7\text{ k}\Omega$ Widerstand; durch Variieren des Widerstandswerts ändert sich der Arbeitspunkt des Transistors etwas und damit auch die »Klangfarbe« des Nf-Signals. Es lohnt sich also, hier etwas zu experimentieren und das Optimum heraus zu finden. Rechtes und linkes Kopfhörersystem sind parallel geschaltet. Auch eine Serienschaltung ist möglich, indem wir jeweils den L - und den R - Eingang mit einer Leitung des Übertragers verbinden und den Masseanschluss - Baustein weglassen.

47



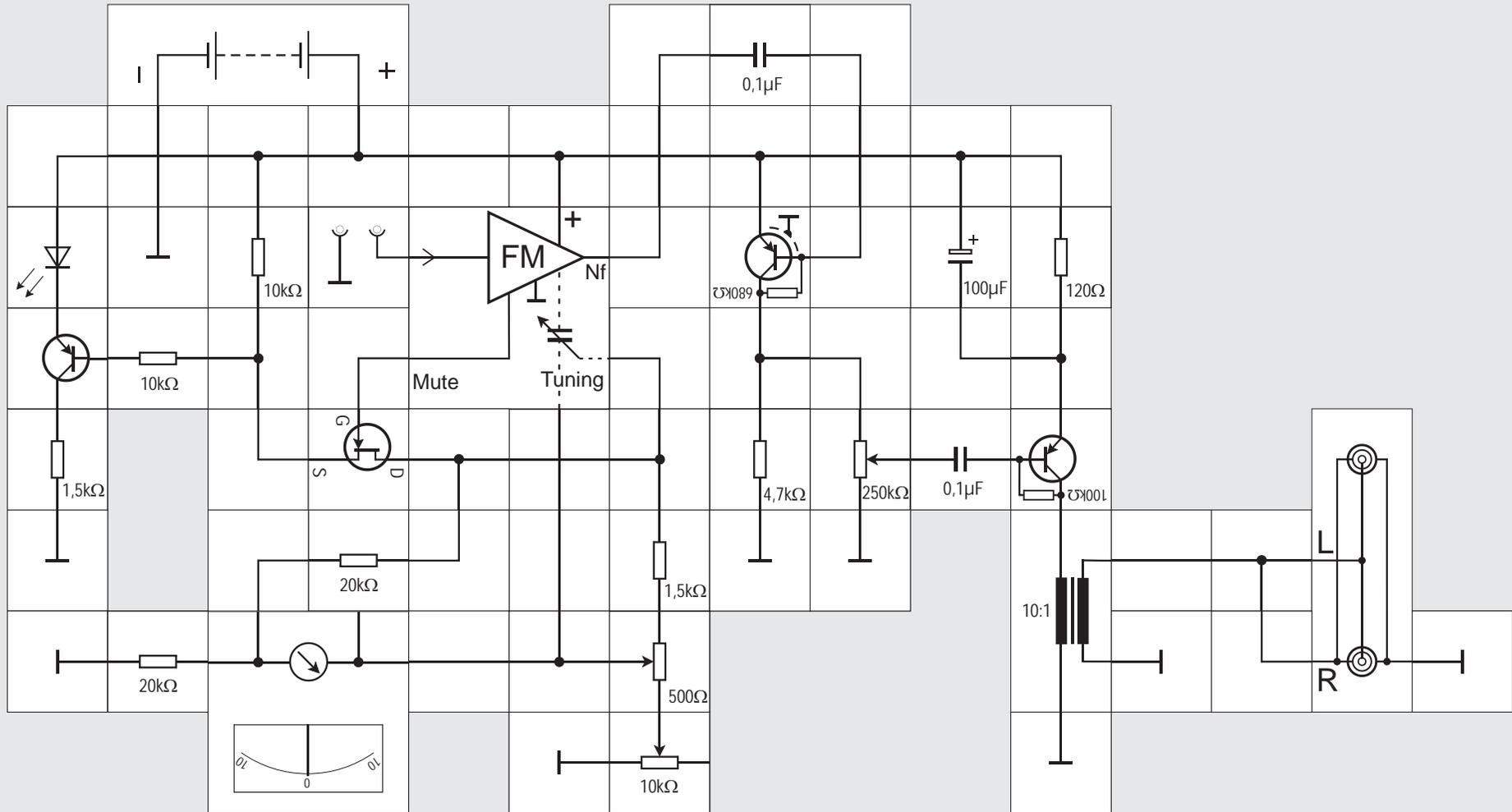


Versuch 47

UKW - Empfänger mit Lautsprecher

Die einstufige Verstärkung mit dem Transistor ist nicht ausreichend für die Ansteuerung eines Lautsprechers. Möchten wir UKW - Sender über Lautsprecher hören, müssen wir also eine weitere Verstärkerstufe anfügen. Wir bauen sie diesmal mit einem npn - Transistor auf, obwohl natürlich auch ein komplementärer pnp - Transistor verwendet werden könnte. Die Gesamtverstärkung ist jetzt so hoch, dass es zu Übersteuerungen und damit zu Verzerrungen kommen kann. Eine Lautstärkeeinstellung ist deswegen sinnvoll. Leider haben wir kein weiteres 10 k Ω Potentiometer mehr und müssen auf das für den Transistor zu hochohmige 250 k Ω Potentiometer zurück greifen. Einfach in die Kollektorleitung geschaltet würde sich der Arbeitspunkt der ersten Transistorstufe unzulässig verschieben; als Arbeitswiderstand sind 250 k Ω ungeeignet hoch. Wir schalten deswegen als Behelf einen Arbeitswiderstand von 5,6 k Ω gegen Masse und greifen über ihm mit dem Potentiometer eine Teilspannung, die weiter verstärkt wird, ab. Zusätzlich erhält die letzte Stufe noch die bereits bekannte Gegenkopplung in die Emitterleitung.

48



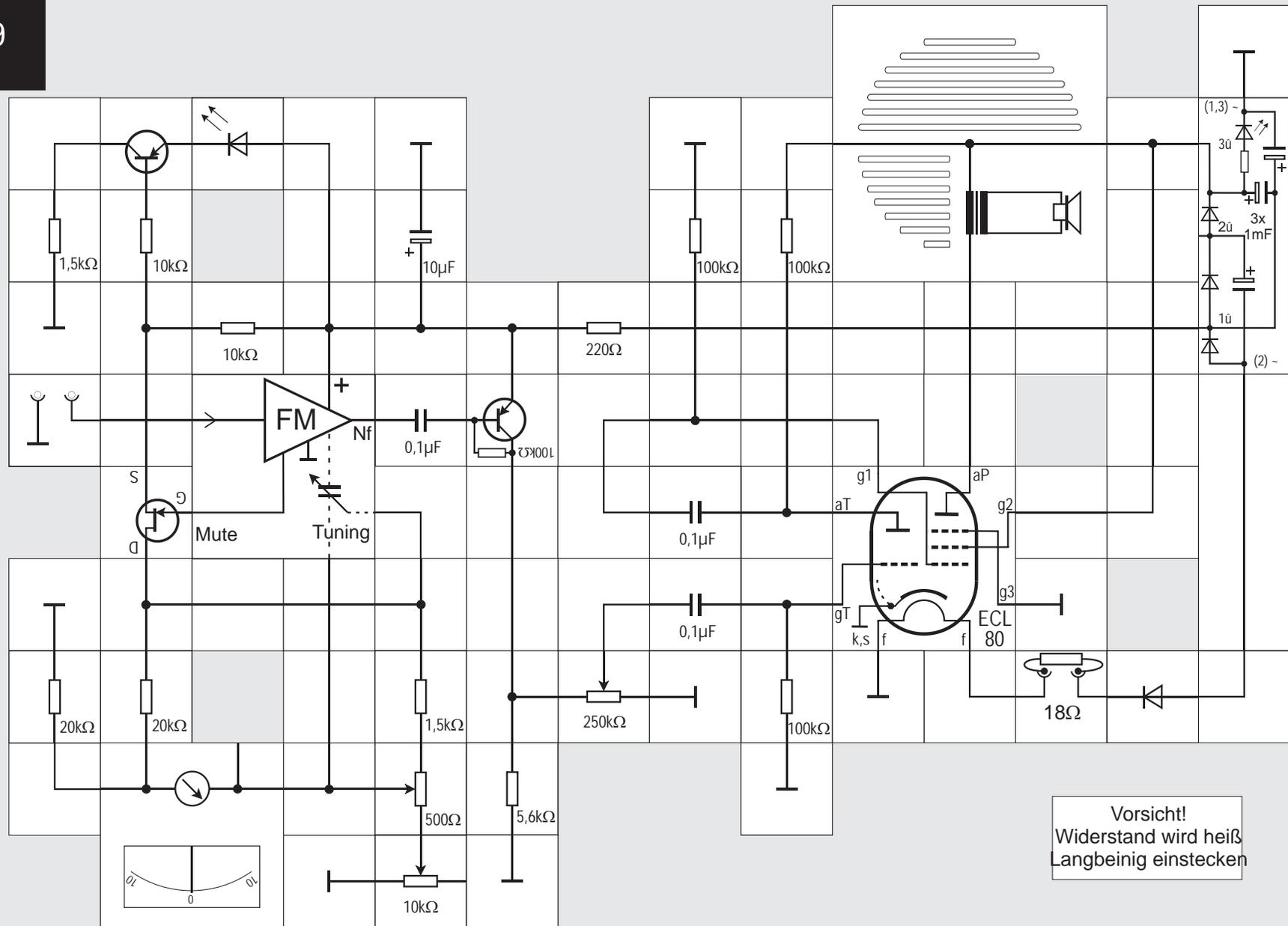


Versuch 48

UKW - Empfänger mit zweistufigem Nf - Verstärker

Auch an den zweistufigen Nf - Verstärker können wir statt des Lautsprechers unseren eigenen Kopfhörer anschließen. Der Versuchsaufbau ist eine Variante des vorherigen Versuchs und bringt nichts grundsätzlich Neues; beide Transistorstufen sind diesmal mit pnp - Transistoren aufgebaut und die Kopfhörersysteme parallel geschaltet.

49





Versuch 49

UKW - Empfänger mit Röhren Nf - Verstärker

Statt mit einem Transistor Nf - Verstärker können wir den UKW - Empfänger auch mit einem Röhren NF - Verstärker kombinieren. Es ist dann zweckmäßig, die Versorgungsspannung für den UKW - Teil ebenfalls aus dem Vervielfacher - Baustein zu entnehmen und zwar bei 1 \hat{u} . Die interne Versorgungsspannung für das IC wird über eine einfache Stabilisierungsschaltung mit 5,6V Zenerdiode und Vorwiderstand erzeugt. Damit dieser Vorwiderstand, der für den Betrieb an 9V ausgelegt ist, jetzt nicht überlastet wird, führen wir die Spannung über einen weiteren Widerstand (220 Ω) zu, an dem die überschüssige Spannung abfällt, und blocken die Spannung mit einem 10 μ F Elko ab.

Ungünstig ist für den dem FM - Baustein folgenden Transistor das 250 k Ω Lautstärkepotentiometer als Arbeitswiderstand, wir behelfen uns mit dem Festwiderstand 5,6 k Ω parallel zum Potentiometer.

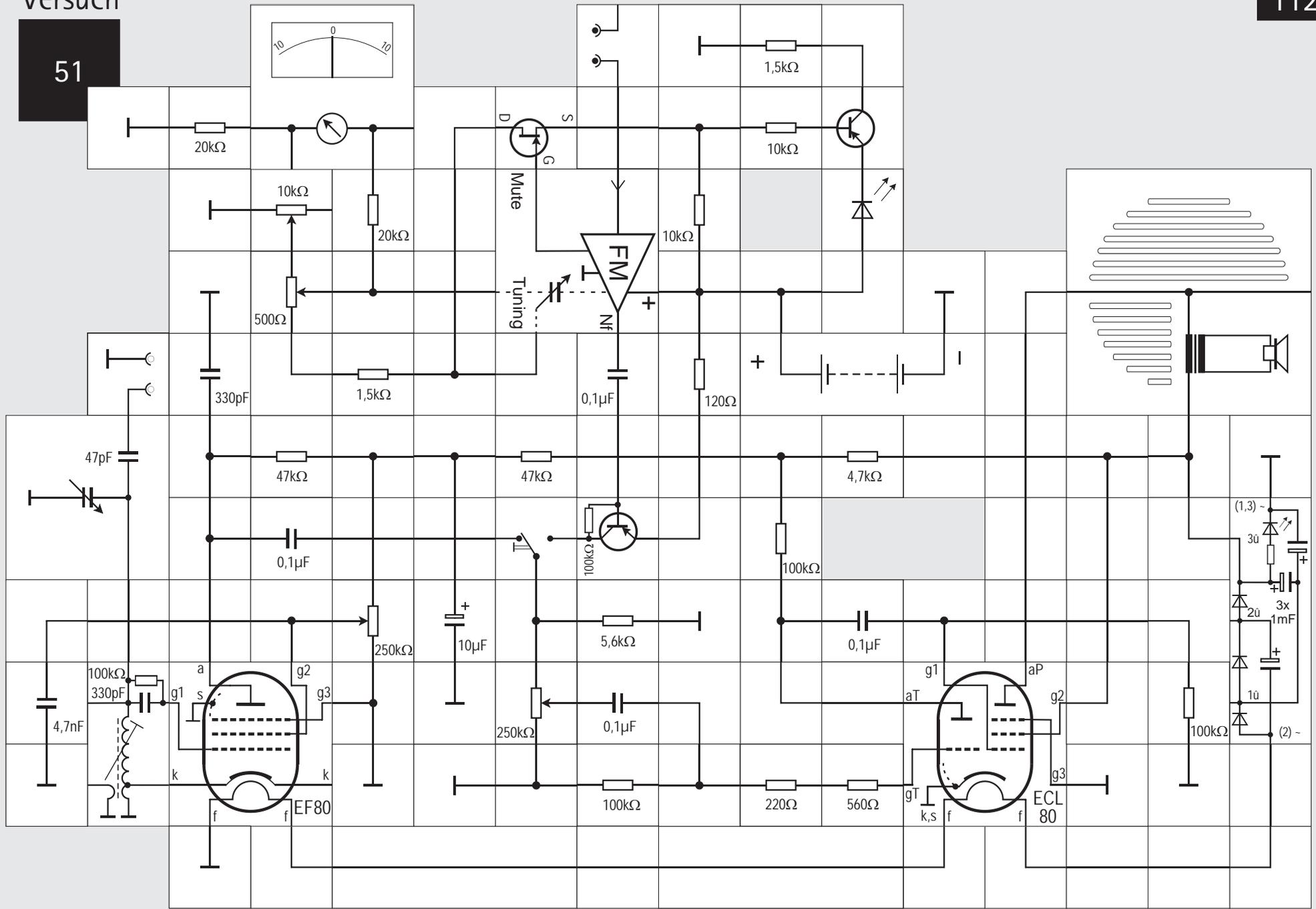


Versuch 50

UKW - Empfänger mit zwei Spannungsversorgungen

Sollte es beim vorherigen Versuch Probleme mit zu hoher Brummspannung geben, kann die Spannungsversorgung des FM - Teils abgetrennt und vom Batteriebaustein aus erfolgen. Ein möglicher Versuchsaufbau ist vorstehend angegeben.

51



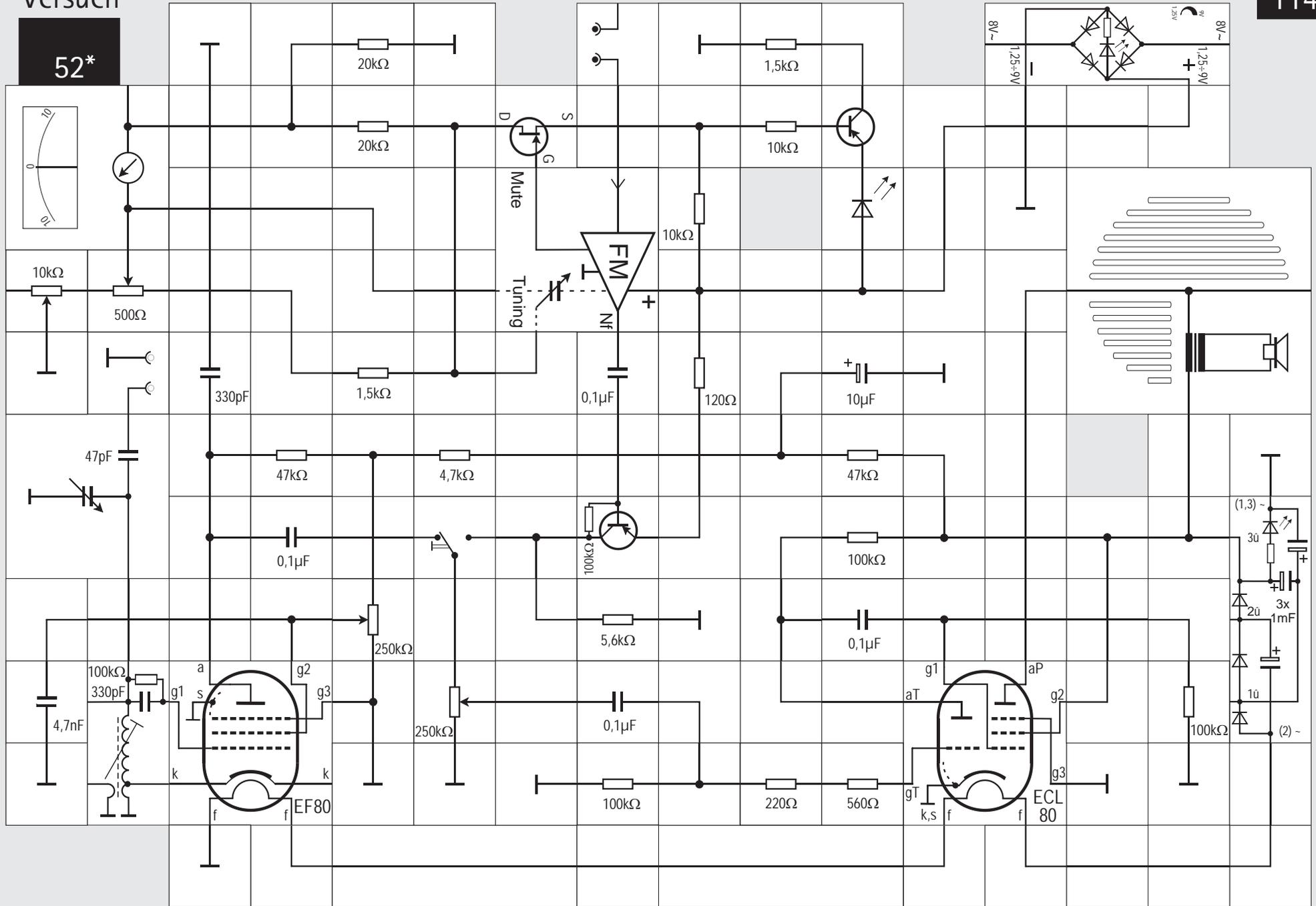


Versuch 51

Kombinierter UKW / MW Empfänger

Wenn wir nach Abschluss aller Experimente gern ein Radio aufgebaut haben möchten, mit dem wir sowohl UKW als auch MW / KW Sender empfangen können, bietet es sich an, beide entsprechenden Versuchsaufbauten miteinander zu kombinieren. Die Auswahl des Wellenbereichs treffen wir mit einem Umschalter, der die Nf der jeweiligen Empfangsstufe (FM - Baustein oder EF80 Audion) auf den mit der ECL80 aufgebauten Nf Verstärker bringt. Die Kombination der drei Schaltungsteile erfordert aus Platz- und Materialproblemen einige Kompromisse. So speisen wir den UKW - Baustein wieder aus dem Batteriebaustein und drei der erforderlichen geraden Verbindungen ersetzen wir durch nicht benötigte Widerstände (220 Ω , 560 Ω und 4,7 k Ω). Bei überwiegendem Empfang von MW / KW ist es günstig, den als Arbeitswiderstand der Transistorstufe wirkenden 5,6 k Ω Widerstand heraus zu nehmen oder seine Masseverbindung zu unterbrechen. Leider können wir auch nicht mehr die gesamte Breite der Skala vom Messinstrument als Senderanzeige nutzen.

52*

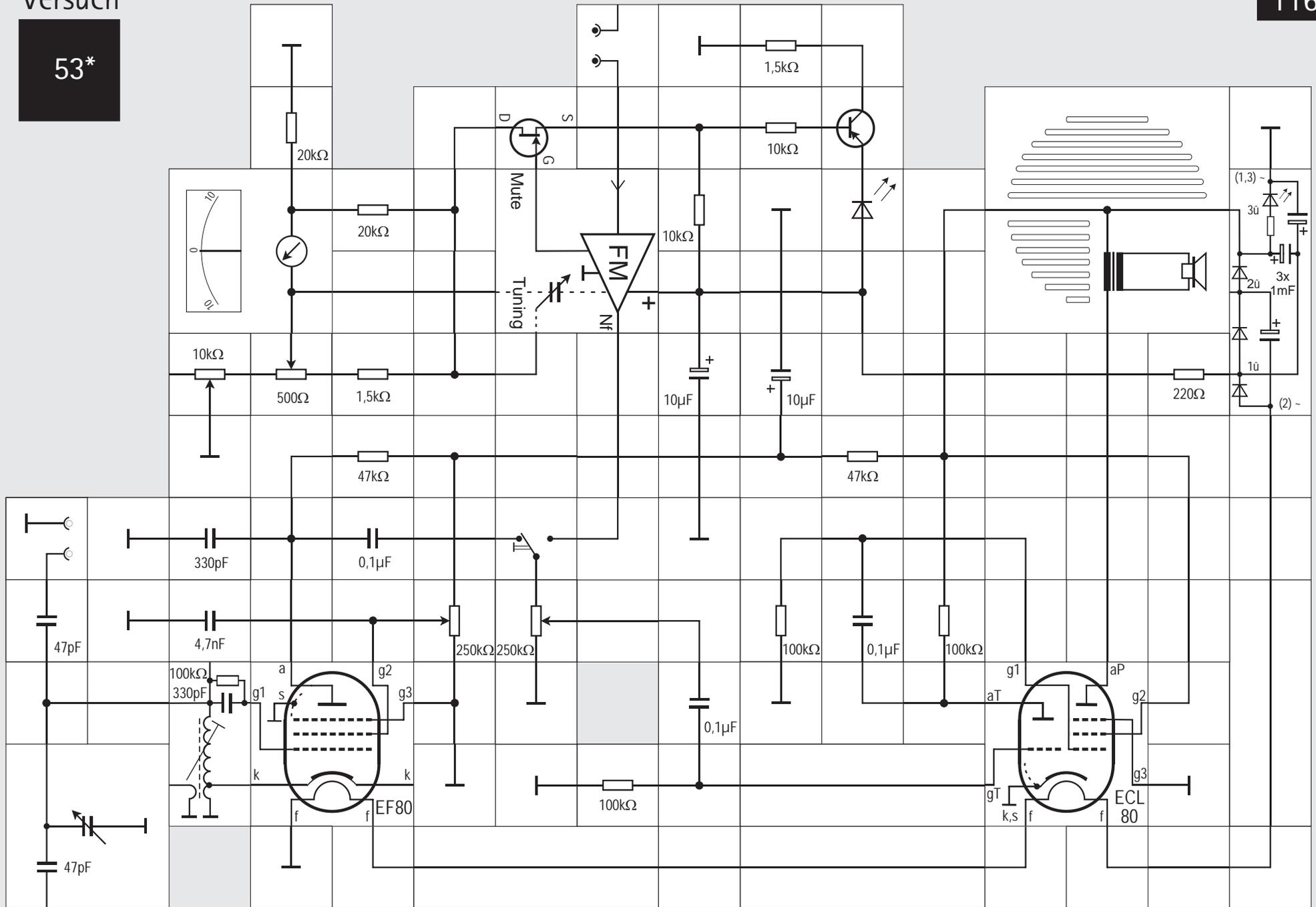




Versuch 52*

UKW / MW Empfänger für Netzbetrieb

Für den Dauerbetrieb ist es empfehlenswert, statt des Batteriebausteins das LECTRON Netzteil (Bestellnummer 2601) einzusetzen und so den Nachkauf von Batterien zu vermeiden. Wenn wir uns zu diesem Schritt entschließen, müssen wir daran denken, dass das Netzteil eine Zuleitung besitzt und nicht immer einfach an die Stelle des Batteriebausteins gesetzt werden kann, obwohl beides Dreierbausteine sind. Leider trifft das auch bei diesem Versuchsaufbau zu. Das Netzteil muss weiter am Rand der Aufbauplatte platziert werden und der Anschluss an die Schaltung erfordert zusätzlich anzuschaffende Verbindungsbausteine, falls sie nicht aus anderen LECTRON Kästen vorhanden sind. Mit noch weiteren Verbindungsbausteinen schaffen wir dann auch eine Schaltungsmodifikation, bei der der $5,6\text{ k}\Omega$ Widerstand ständig angeschlossen bleiben kann und wir auch wieder die gesamte Skalbreite des Instruments nutzen können.



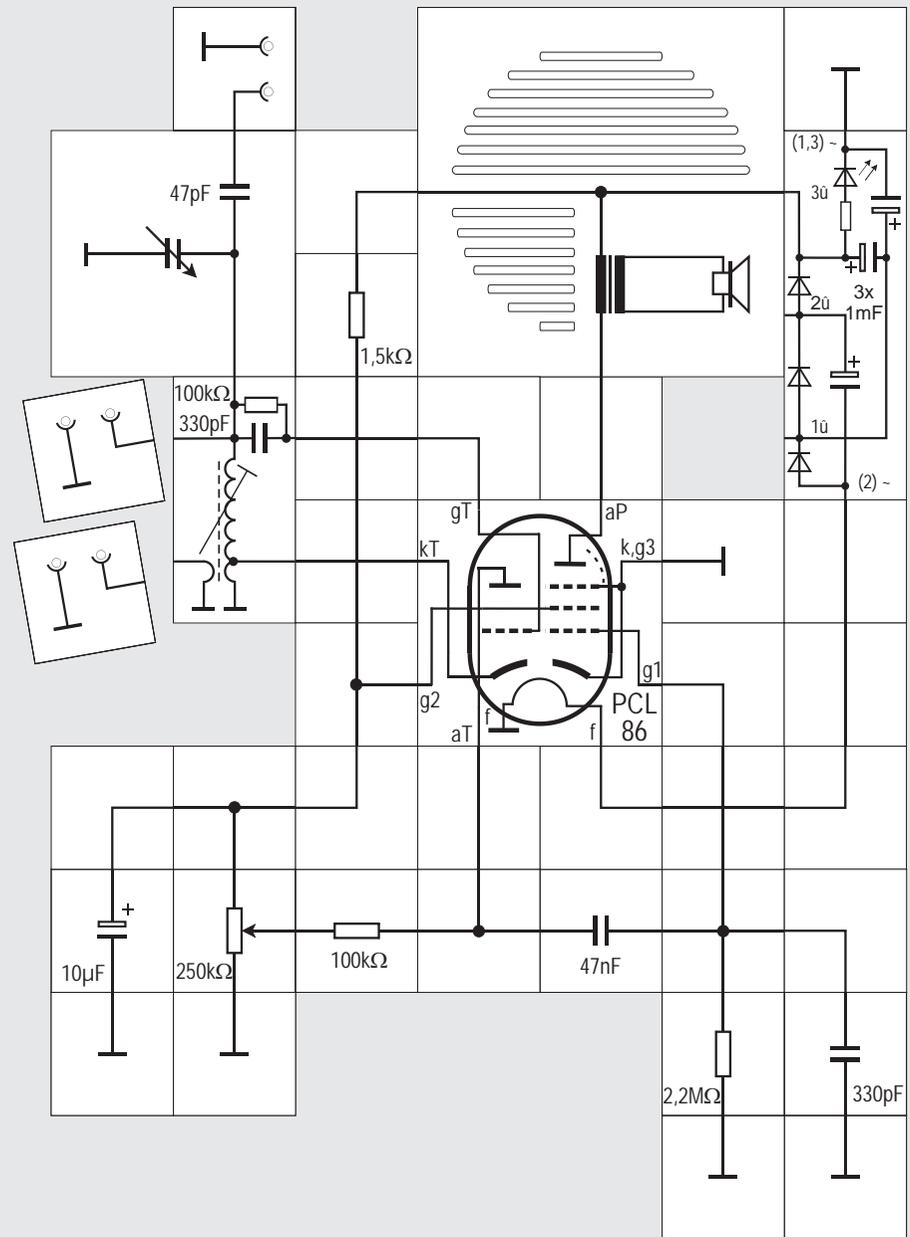


Versuch 53*

Variante des UKW / MW Empfängers

Wenn wir weitere Verbindungsbausteine einsetzen und auf die zusätzliche Transistorstufe nach dem FM-Baustein verzichten können, ist ein kompakter Versuchsaufbau möglich. Eine Variante, die mit einem Netzgerät auskommt, da der Spannungsverdreifacher den UKW-Teil mit versorgt, ist abgebildet.

54*





Versuch 54*

MW / KW Audion mit PCL86 für Lautsprecherbetrieb

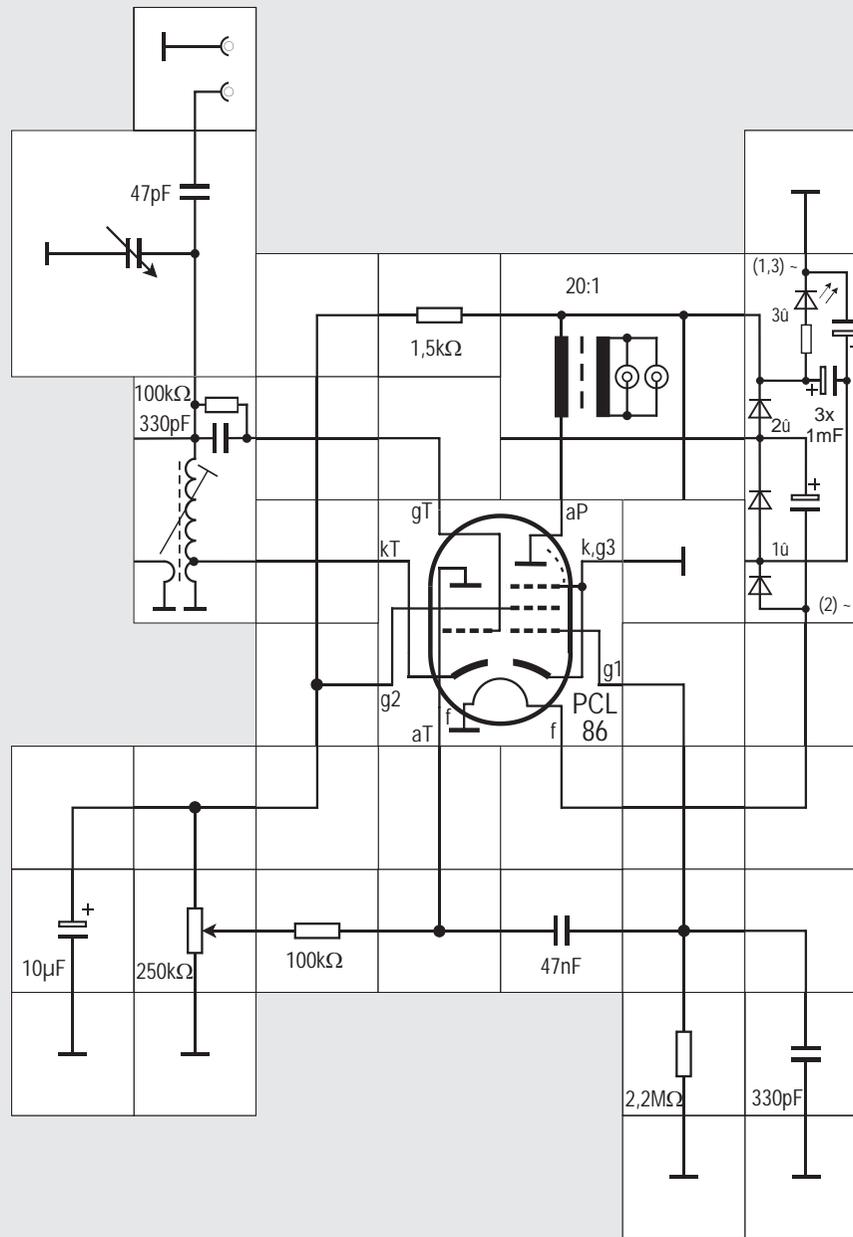
Die Anregung von B. Kainka (s. Kap. »Weiterführende Hinweise«), der das Kosmos Jubiläumsmodell des Radiomanns konzipierte und dafür auch einen Umbau auf Lautsprecherbetrieb angibt, lässt sich leicht mit dem Lectron Experimentierkasten umsetzen: Wer in seiner Röhrensammlung die PCL86 hat, kann sofort die Schaltung aufbauen, da alle sonst noch benötigten Bauteile bereits vorhanden sind. Die PCL86 war früher weit verbreitet und kam im Audioteil von Fernsehapparaten vor. Beim Betrachten der Röhre fällt auf, dass Trioden- und Pentodenteil getrennt aufgebaut sind. Anders als bei der ECL80

sind zwei Katoden vorhanden, so dass das Triodensystem als Audion und das Pentodensystem als Nf-Verstärker geschaltet werden kann. Günstig ist die Heizspannung der Röhre von 12,6 V bei 300 mA Heizstrom ; wir benötigen keinen Heizvorwiderstand. Die Rückkopplung wird über die Höhe der Trioden-Anodenspannung eingestellt. Eine Lautstärkeeinstellung ist bei der Gesamtverstärkung nicht erforderlich. Die Röhre muss unbedingt auf die ECC8x - Fassung gesetzt werden, eine neue Abdeckung findet man in der Ausschneidetafel, wenn man es nicht vorzieht, den passenden Röhrenbaustein bei Lectron zu beziehen (Bestell-Nr. 2469). Die Antennenankopplung kann auf verschiedene Weise bewerkstelligt werden; welches im speziellen Fall die günstigste ist, muss experimentell heraus gefunden werden. Drehen wir den Spulenkern weiter heraus, können wir Sender im oberen MW-Bereich empfangen.

Für Kurzwellenempfang braucht nur die Mittelwellenspule gegen eine KW - Spule ausgetauscht zu werden.

Dieser Versuchsaufbau ist auf kleiner Edelstahlplatte (ca. DIN A4) bei Lectron als Set (Bestell-Nr. 1111) erhältlich für diejenigen, die gern ein Radio ständig aufgebaut haben und trotzdem gleichzeitig experimentieren möchten.

55*



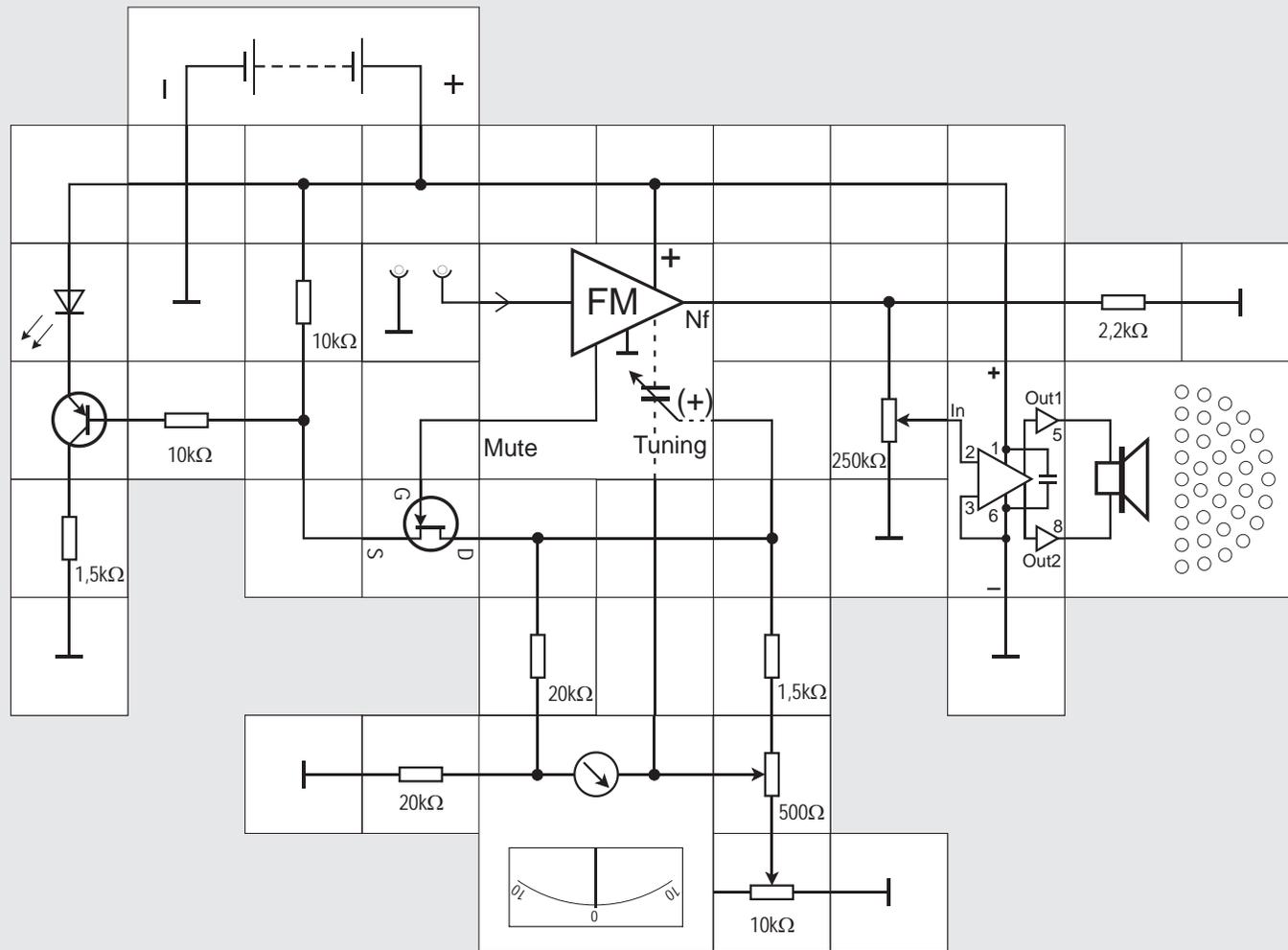


Versuch 55*

MW / KW Audion mit PCL86 (Variante)

Eine weitere Aufbauvariante zeigt , wie wir unter Verwendung des 20:1 Übertragers, der bei Lectron als Einzelbaustein erhältlich ist, die Schaltung des vorherigen Versuchs so umgestalten können, dass ein eigener, hochwertiger Lautsprecher oder Kopfhörer (4-8 Ω) über den eingebauten Klinkenstecker angeschlossen werden kann.

56*





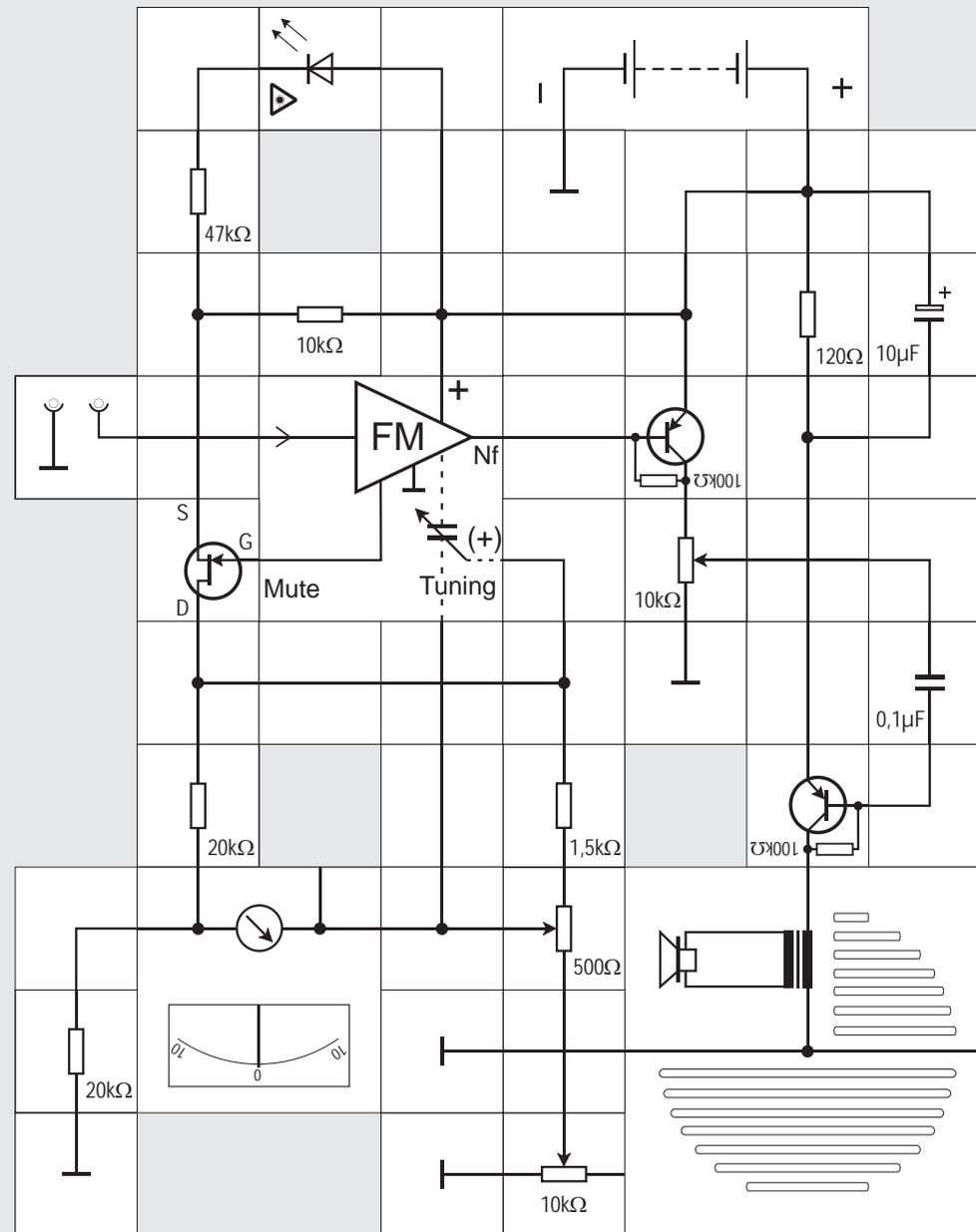
Versuch 56*

UKW - Empfänger mit Nf - Verstärker

Für den platzsparenden Aufbau des UKW - Empfängers wurde eigens ein NF - Verstärkerbaustein geschaffen, der als Einzelteil bei Lectron erhältlich (Bestell-Nr. 2464) ist. Dieser Baustein enthält einen integrierten Schaltkreis zum Betrieb an 9 V, der direkt einen kleinen 8 W Lautsprecher, welcher ebenfalls als Einzelteil (Bestell-Nr. 2711) erworben werden kann, ansteuert. Der Baustein selbst ist kurzschlussfest und muss über ein Koppelkondensator angesteuert werden. Dieser Kondensator ist bereits im FM - Baustein vorhanden.

Für Dauerbetrieb empfiehlt es sich, das Netzteil zu verwenden. Das Aufbaubild zeigt eine mögliche Anordnung. Natürlich kann statt des kleinen Lautsprechers ein eigener hochwertiger Kopfhörer über Klinken- oder Cinchbuchse angeschlossen werden, damit der volle Klang der empfangenen UKW - Sender zur Geltung kommt.

57*





Versuch 57*

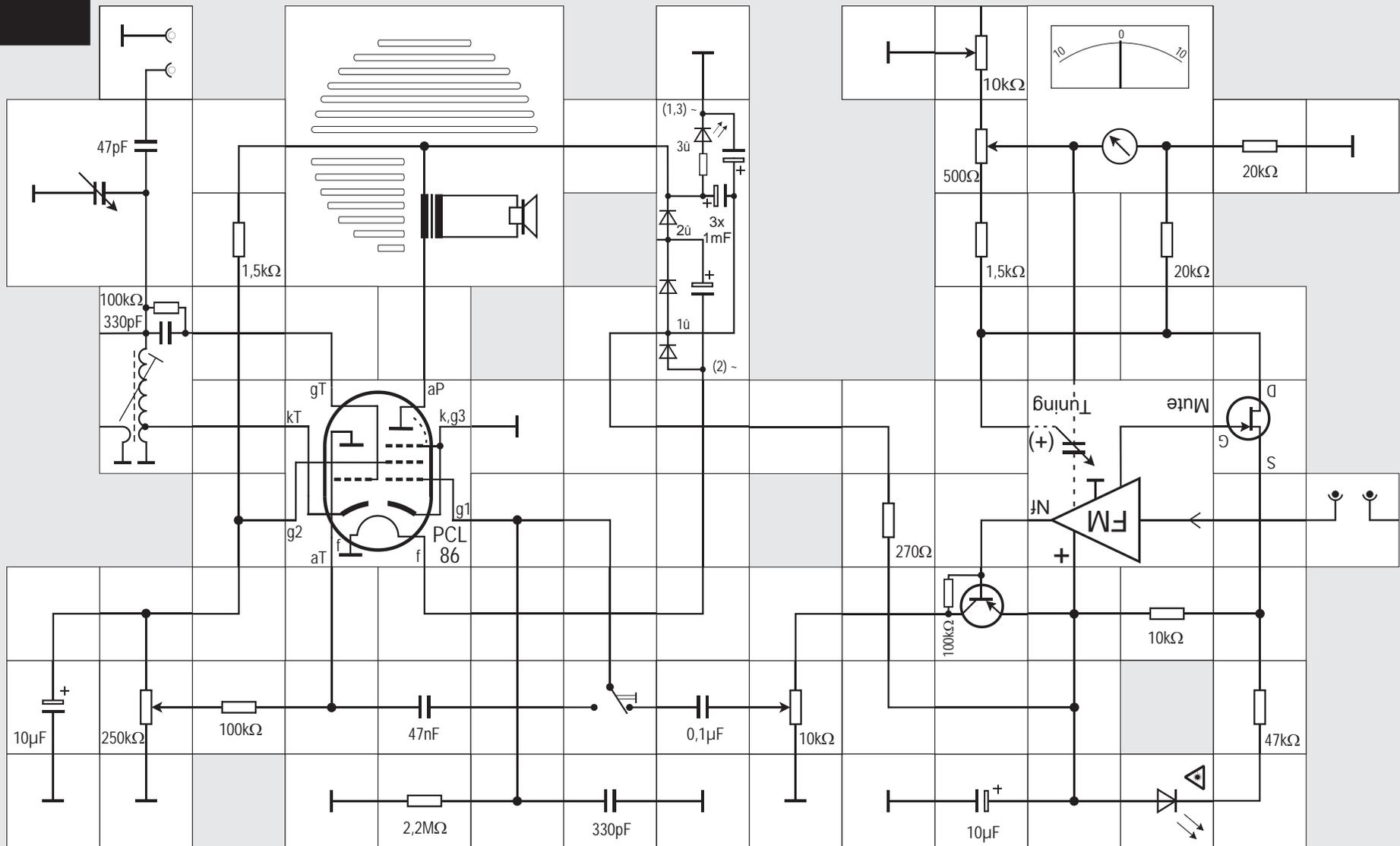
Lectron UKW - Empfänger Set

Neben dem MW-Audion mit der Röhre PCL86 gibt es bei Lectron auch ein Set mit einem UKW-Radio (Bestell-Nr. 1112). Dem FM-Baustein ist ein zwei-stufiger Verstärker mit Germanium-Transistoren nachgeschaltet, so dass Lautsprecherbetrieb möglich ist. Die Abbildung zeigt den platzsparenden Versuchsaufbau. Wer den Transistor mit rechtem Basisanschluss (Bestell-Nr. 2424) besitzt, kann sich die Schaltung leicht zusammen legen. Durch die Verwendung der neuen superhellen Leuchtdiode (Bestell-Nr. 2474) entfällt die bisherige Transistorstufe zur LED-Ansteuerung. Diese Schaltungsvariante ist natürlich auch für alle entsprechenden Versuchsaufbauten mit dem FM-Baustein in diesem Anleitungsbuch möglich.

Beim Betrieb der Leuchtdiode an 9 V muss ein Vorwiderstand von mindestens 20 k Ω verwendet werden; sie ist sonst so hell, dass die Gefahr von Netzhautverbrennungen besteht, wenn man direkt in den Strahl sieht.

Für Dauerbetrieb ist der Einsatz des Netzgerätes empfehlenswert.

58*



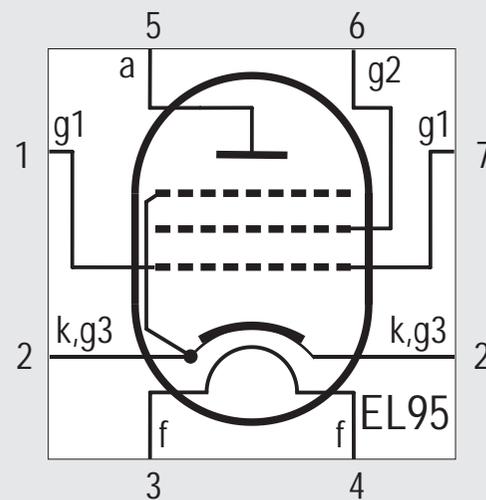
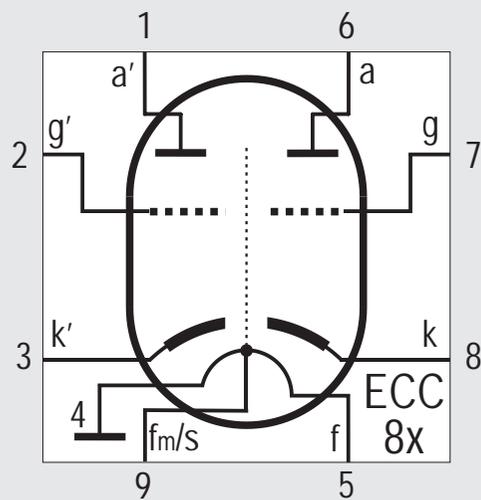
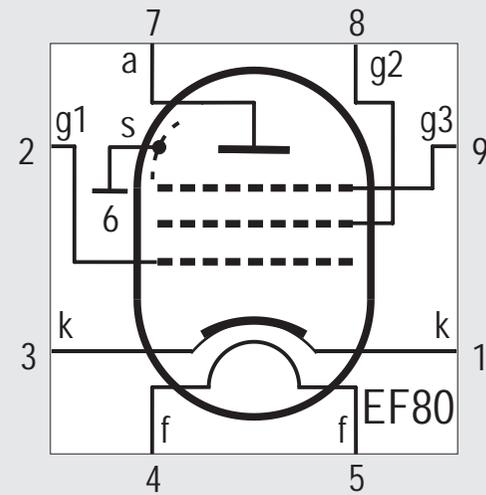
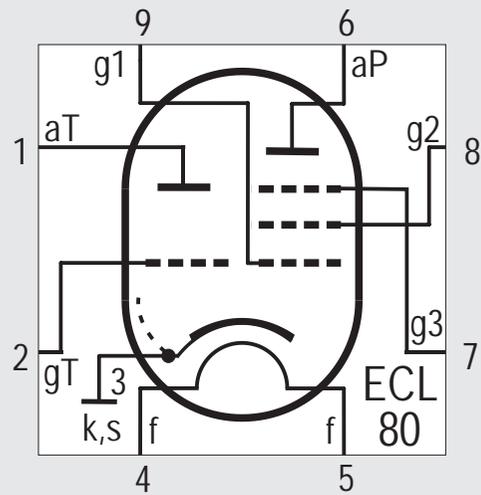


Versuch 58*

Kombinierter MW / UKW - Empfänger mit PCL86

Auch das PCL86 - Audion lässt sich mit dem UKW-Teil für den ständigen Gebrauch kombinieren. Das Aufbaubild zeigt eine platzsparende mögliche Anordnung der Gesamtschaltung. Der FM - Teil wird vom Spannungsverdreifacher versorgt, so dass die zusätzliche 9V Spannungsversorgung entfällt.

Die Bausteine dieses Versuchs sind bei Lectron als Set (Bestell-Nr. 1113) erhältlich.





Weiterführende Hinweise

Wer das mit diesem Experimentierkasten erworbene Wissen gern ausbauen und vertiefen möchte, findet im Internet*) auf den folgenden Seiten reichlich Material für weitere Experimente:

<http://www.olderadioworld.de>

Auf dieser Seite gibt es fundierte Tipps zum Bau von Hochleistungs - Kristall - Detektoren. Es wird detailliert gezeigt, wie man die verschiedensten Arten von Schwingkreisspulen baut, die auch noch das letzte Mikrovolt von der Antenne verwerten, welche Gleichrichterdiode am besten wozu taugen, was die Vor- und Nachteile der einzelnen Drehkondensatortypen sind und wie man Antennen am besten ankoppelt.

Angeschlossen ist ein Versandhandel mit den vorgestellten Teilen, so dass man alle Tipps in der Praxis nachprüfen kann. Bilder von aufgebauten Detektoren aus aller Welt runden die Seite ab.

<http://www.jogis-roehrenbude.de/>

Dieser äußerst umfangreiche Internet - Auftritt lässt keine Frage zum Thema Elektronenröhren unbeantwortet. Das auch optisch sehr ansprechend präsentierte Material reicht von den ersten Röhren überhaupt bis zu den Niederspannungsrohren aus

der Übergangszeit zum Transistor. Zahlreiche Links zu anderen Seiten sorgen für stundenlangen inhaltsreichen Lesestoff am Bildschirm.

<http://www.b-kainka.de/bastel0.htm>

Burkhard Kainka (alias Dietrich Drahtlos) ist jemand, der sich beim Anblick eines herum liegenden Elektronikbauteils offensichtlich sofort fragt: »Was kann ich damit noch anfangen?« und dann auch immer irgendeine interessante Bastellösung dafür findet. Auf der angegebenen Seite sind seine - zum Teil sehr originellen - Schaltungen in einer stetig wachsenden Liste zusammen gestellt. Die Beschreibungen sind so gut, dass man bei Vorhandensein der Bauteile gleich mit dem Zusammenlöten der Schaltungen beginnen kann.

Sehr empfehlenswert ist auch das von ihm verfasste Buch:

»Röhren - Projekte von 6 bis 60 V«
Elektor - Verlag GmbH
ISBN 3-89576-142-7

In ihm findet man über die in diesem Experimentierkasten vorgestellten mehr grundlegenden Röhrenschaltungen hinaus viele Anleitungen für den Aufbau von Verstärkern, Empfängern und Spezialschaltungen. Was das Buch zusätzlich sehr wertvoll macht, sind die tabellarischen Daten - Übersichten, die B. Kainka von zahlreichen Röhren, die sich zum

Betrieb mit niedrigen Anodenspannungen eignen, zusammen gestellt hat.

Möchte man mit anderen als in diesem LECTRON Baukasten vorhandenen Röhrentypen experimentieren, so stellt sich häufig die Frage nach einer Beschaffungsmöglichkeit. Hier lohnt es sich, bei Ebay nach dem gewünschten Typ, neu oder gebraucht, Ausschau zu halten. Wertvolle Tipps, damit man nicht zu viel bezahlt (und Grundsätzliches über Röhren), gibt es auf der Seite

www.elektronikinfo.de/strom/roehren

Hier findet man auch viele Links zu Firmen, die Röhren und Zubehör anbieten, z. B.:

<http://www.fragjanzuerst.de/dindex.htm>

<http://www.tube-audio.de/>

<http://www.reichelt.de/>

<http://www.btb-elektronik.de/>

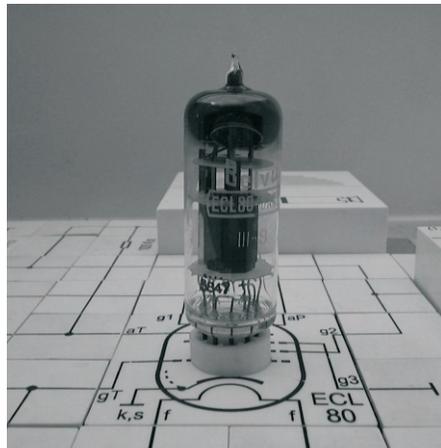
Die Fassungen der LECTRON Röhrenbausteine sind auch für andere Typen nutzbar. Dazu sind oben die Stiftnummerierungen (Sockel stets von unten gegen die Stifte gesehen und im Uhrzeigersinn gezählt) angegeben.

*) Mit Urteil vom 12. Mai 1998 hat das Landgericht Hamburg entschieden, dass man durch die Ausbringung eines Links die Inhalte der gelinkten Seite ggf. mit zu verantworten hat. Für alle diese Links gilt deswegen: LECTRON erklärt ausdrücklich, dass LECTRON keinerlei Einfluss auf die Gestaltung und die Inhalte dieser Seiten hat. Deshalb übernimmt LECTRON keine Garantie oder Verantwortung für die Inhalte externer Links und macht sich diese Inhalte auch nicht zu Eigen.



Autor
Gerd Kopperschmidt

Herausgeber
Reha Werkstatt Oberrad
Lectron
Buchrainstraße 18
60599 Frankfurt
Tel.: +49 (0)69 90 50 12 82
Fax: +49 (0)69 90 50 12 83
Email: lectron@frankfurter-verein.de
www.lectron.de



Weitere Versuche

Lectron hat in dem neuen Anleitungsbuch »Schwingungen & Resonanz« (Bestell-Nr. 3114) 15 Experimente zusammengestellt, die das Verständnis über die Arbeitsweise von Schwingkreisen vertiefen und eine ideale Ergänzung zu den Versuchen dieses Baukastens sind.

Mit den Experimenten lassen sich die wichtigsten Grundlagen und Phänomene zur drahtlosen Energie- und Informationsübertragung leicht erarbeiten. Die meisten der dafür benötigten LECTRON Bausteine sind bereits vorhanden, so dass nur wenige Bausteine erworben werden müssen.

Neu ist der Quarzbaustein mit der Frequenz 13,56 MHz (Bestell-Nr. 2475), die für wissenschaftliche und experimentelle Zwecke freigegeben ist. Diese Frequenz hat den großen Vorteil, dass die Schwingkreisspulen mit ihren 9 Windungen und die entsprechenden Stabantennen noch handliche Ausmaße haben und selbst leicht hergestellt werden können.

Ein weiterer neuer Baustein ist die superhelle rote LED (Bestell-Nr. 2474), die zur Anzeige der gesendeten und der empfangenen Energie verwendet wird.

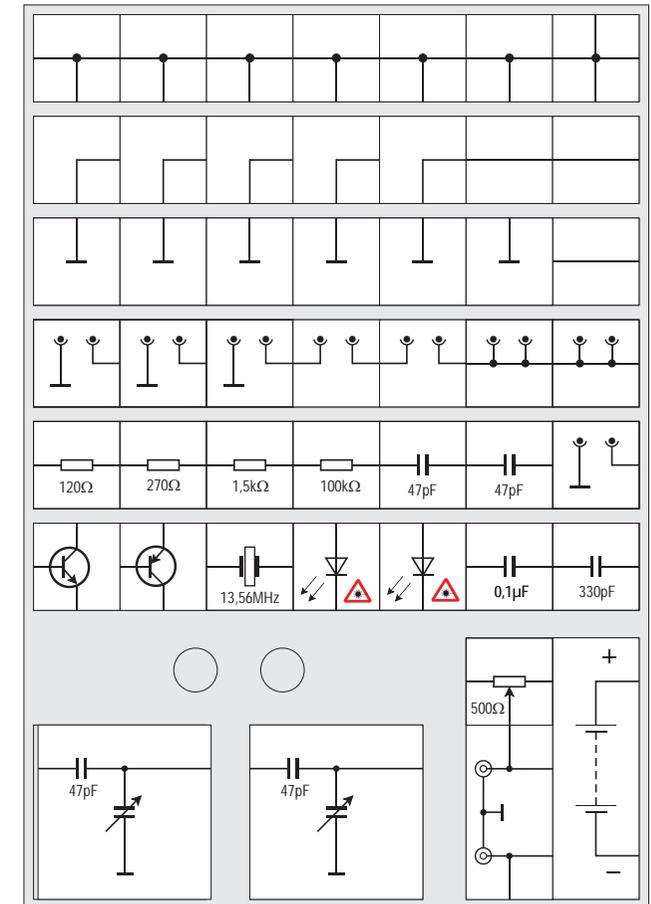
Alle benötigten Bausteine sind nebenstehend abgebildet, so dass man leicht feststellen kann, welche davon in der Sammlung fehlen; sie können bei LECTRON problemlos als Einzelteil bezogen werden. LECTRON bietet darüber hinaus die Zusatzteile (2 Spulen, 4 Antennensätze, 3 Drähte mit Steckern für Koppelspulen, kleine Auf-

bauplatte) als Zubehörsatz an (Bestell-Nr. 2912); die Spulen lassen sich aber auch nach den angegebenen Bauanleitungen leicht aus 2mm Aluminiumdraht selbst herstellen.

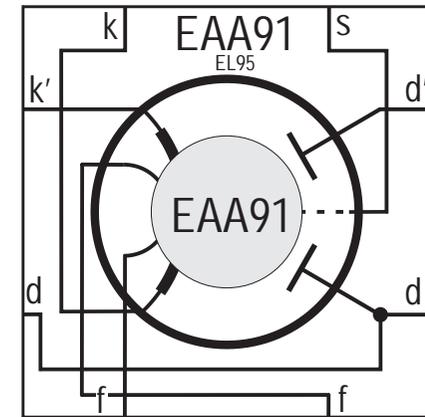
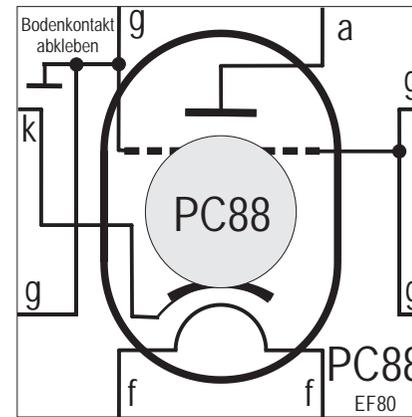
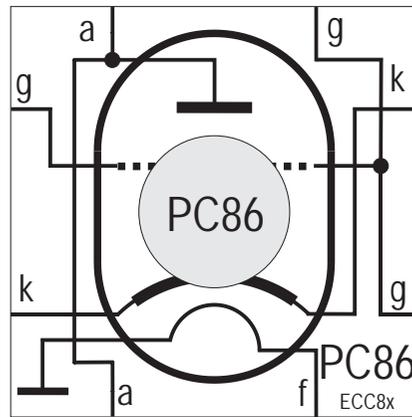
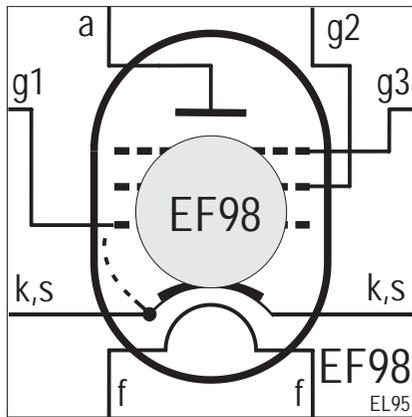
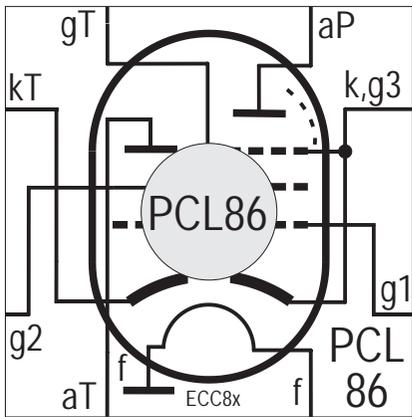
Obwohl alle Experimente mit dem Batteriebaustein dargestellt sind, empfiehlt sich der Einsatz des Netzteils (Bestell-Nr. 2601), das neuerdings zwischen 1,25 V und 12V einstellbar ist.

Nach Durchführung aller Experimente weiß man, wie Schwingkreise im Rundfunk-Empfänger zur Auswahl einer bestimmten Senderfrequenz dienen und es ermöglichen, eben diesen gewünschten Sender mit seiner Information aus dem allgemeinen »Wellensalat«, den die Antenne empfängt, zu selektieren.

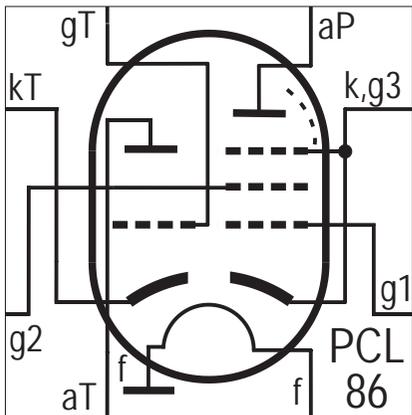
Man durchschaut aber auch, wie moderne Zauberkünstler es schaffen, einfach in der Hand gehaltene Leuchtstoffröhren zum Leuchten zu bringen, ohne dabei selbst Schaden zu nehmen. Wenn man es richtig anstellt, sind hochgespannte und hochfrequente Ströme für den menschlichen Körper ungefährlich. Die Energieübertragung beruht dabei durchweg auf der Energiekopplung zwischen abgestimmten Schwingkreisen. Nikola Tesla (1856 - 1943) hat in Amerika um 1900 damit in spektakulären Versuchen viel Aufsehen erregt und auch heute kann man mit Tesla Transformatoren, die nach den hier vorgestellten Prinzipien arbeiten, ein staunendes Publikum verblüffen. Solche Versuche sprengen allerdings die Möglichkeiten des LECTRON Systems und sind teilweise auch nicht ungefähr-



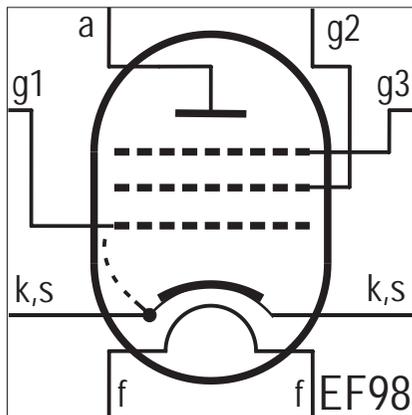
Benötigte Bauteile



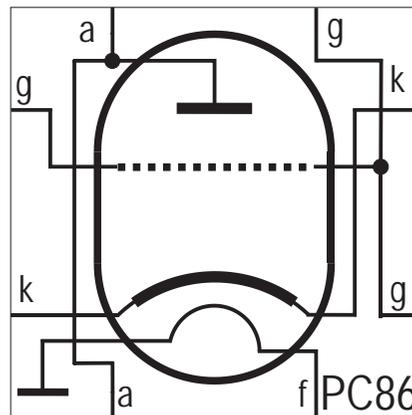
Ausschneidebogen



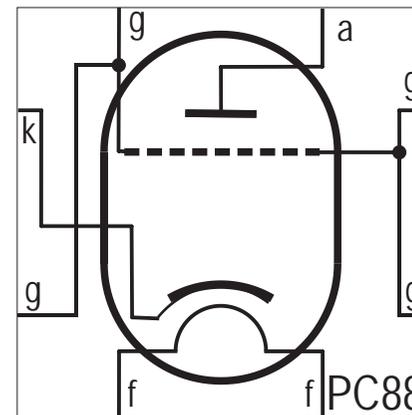
Bestell-Nr. 2469



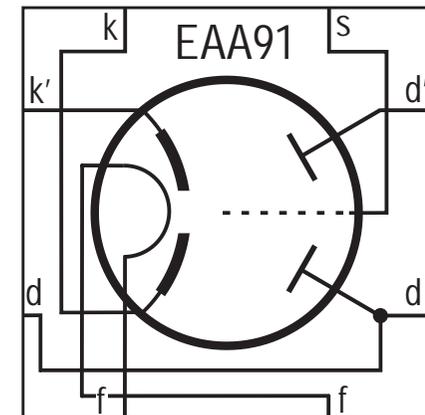
Bestell-Nr. 2470



Bestell-Nr. 2471



Bestell-Nr. 2472



Bestell-Nr. 2473

Auf Anfrage sind bei LECTRON auch diese passenden Röhrenbausteine (Lieferung jeweils ohne Röhre) erhältlich.