

EQUALIZER PRAXIS

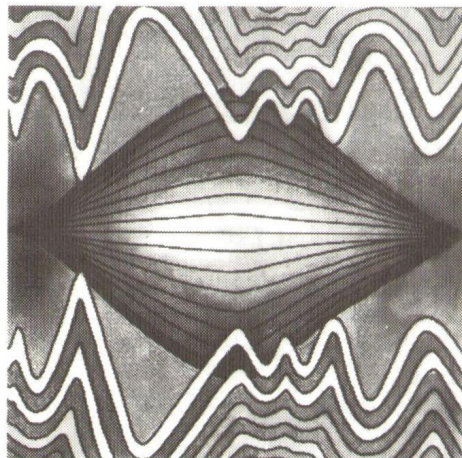
Diese Abhandlung basiert auf dem Artikel „Equalizer“ aus dem Heft Mai '78 der Zeitschrift „Elektor“ mit deren freundlicher Genehmigung zur Überarbeitung

Ein Equalizer ist genau genommen nichts anderes als eine Klangeinstellung mit erweiterten Möglichkeiten. Allein hierdurch unterscheidet er sich von der üblichen Höhen- und Tiefeneinstellung, mit der lediglich der Frequenzgang am Anfang und Ende des Audio-Bereichs in begrenztem Maß angehoben oder abgesenkt werden kann (sogenannte Kuhschwanz-Einstellung). Mit einem Equalizer lassen sich wesentlich drastischere Eingriffe in die Übertragungscharakteristik vornehmen: Bei nahezu jeder beliebigen Frequenz innerhalb des gesamten Audio-Bands können Spitzen und Senken geebnet oder auch willkürlich eingefügt werden (daher die Bezeichnung "Equalizer" = "Flach"- oder "Gleichmacher"). Das ursprüngliche Einsatzfeld von Equalizern war das professionelle (Aufnahme-)Studio. Obwohl mancher Audio-Freund der Ansicht sein wird, daß der Ge- und Mißbrauch von Equalizern im Studio ein interessantes Thema darstellt, soll dieser Bereich hier ausgeklammert bleiben. Der vorliegende Artikel beschäftigt sich lediglich mit der "amateurmäßigen" Anwendung von Equalizern.

Im Wohnraum

In den letzten Jahren drang der Equalizer immer mehr auch in den häuslichen Bereich ein, er wurde fast schon zur "Mode". Verschiedene renommierte Hersteller von Audio-Komponenten haben sich ebenso wie manches Akustik-Ingenieurbüro ausgiebig mit dem Problem der Frequenzgangkorrektur beschäftigt. Brüel & Kjar u. AEC bieten ein Meß- und Einstellsystem für Wohnräume an, Philips konzipiert seine Lautsprecherboxen gegenwärtig für den "Durchschnitts-Wohnraum", und in der Wireless World war kürzlich ein Beitrag von J. Moir zu lesen, der sich speziell mit der Wechselbeziehung zwischen

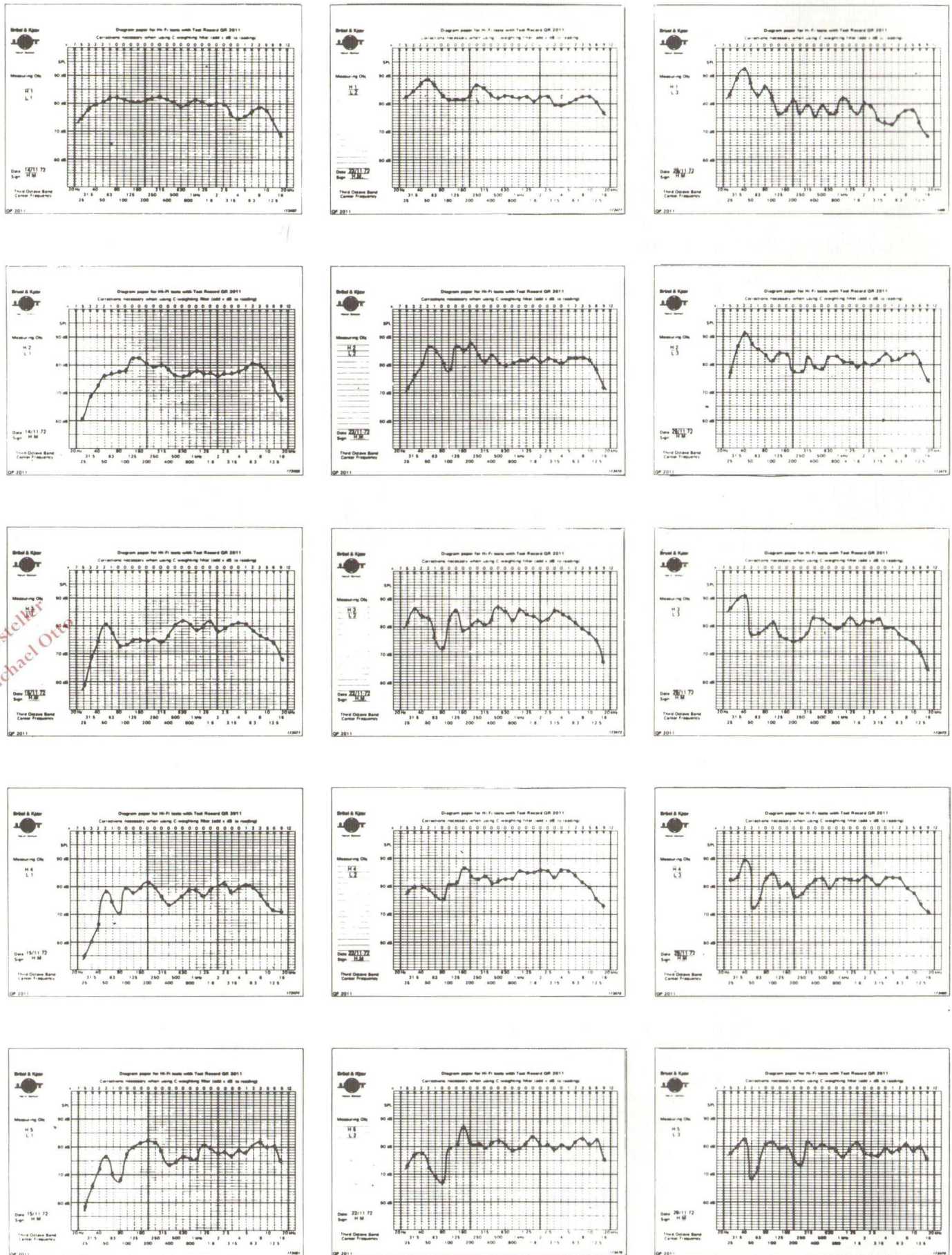
Equalizer existieren in vielen Varianten, sie dienen jedoch alle dem gleichen Zweck: der mehr oder weniger eingreifenden Veränderung der Frequenzcharakteristik einer Audio-Anlage. Auf diesem Feld stellt der Equalizer ein wichtiges Hilfsmittel dar, doch leider wird dieses Hilfsmittel allzu oft mißbraucht. Bei richtiger Handhabung leistet dagegen ein Equalizer sehr nützliche Dienste; Beispiele werden in diesem Artikel besprochen. Die verschiedenen "Gebrauchsanweisungen" nehmen teilweise Bezug auf den ebenfalls in dieser Elektor-Ausgabe beschriebenen Audio-Analyzer.



Wiedergaberaum und Lautsprechern beschäftigt. Doch dies sind natürlich nur Beispiele . . .

Als gesicherte Erkenntnis gilt allenthalben, daß Gestalt und Gestaltung des Wohnraums die Wiedergabequalität in nicht unbedeutendem Maß mitbeeinflussen. Dies läßt sich leicht einsehen. Jedem Hi-Fi-Freund ist bekannt, welche Sorgfalt dem Innern einer Lautsprecherbox zuteil wird (Versteifungsrippen, Dämpfungsmaterial, Luftabdichtung usw.). Nun läßt sich die Funktion einer geschlossenen Box mit einer bis ins Unendliche reichenden, nur von der Lautsprecheröffnung durchbrochenen Wand vergleichen. Auf der einen Seite der Wand befindet sich der Lautsprecher, auf der anderen das Wohnzimmer. Dem Zusammenwirken von Lautsprecherbox und Wohnraum wurde jedoch bisher nur wenig oder überhaupt keine Aufmerksamkeit gewidmet. Allerdings gehört es leider nicht zu den einfachsten Unternehmen, die Wohnraumakustik (sprich: die Frequenzcharakteristik) zu verbessern. Man kann zwar die Gardinen wechseln und den Fußboden mit Teppichen auslegen, die Lautsprecher können so aufgestellt werden, daß keine stehenden Wellen auftreten, die Polstermöbel können in eine optimale Hörposition gerückt werden und einiges andere mehr, ob das Endergebnis dann jedoch noch die Bezeichnung Wohnraum verdient, erscheint recht zweifelhaft. Von einer ganz anderen Seite nähert man sich der Lösung des Problems mit einem Equalizer. Der Grundgedanke ist hierbei folgender: Auch wenn die Frequenzcharakteristik des Raums noch so "verbogen" aussieht, durch eine "anti-krumme" Charakteristik der Anlage müßte sich eigentlich jede Unebenheit kompensieren lassen. Angenommen der Raum besitzt die Frequenzcharakteristik in Bild 2a, dann

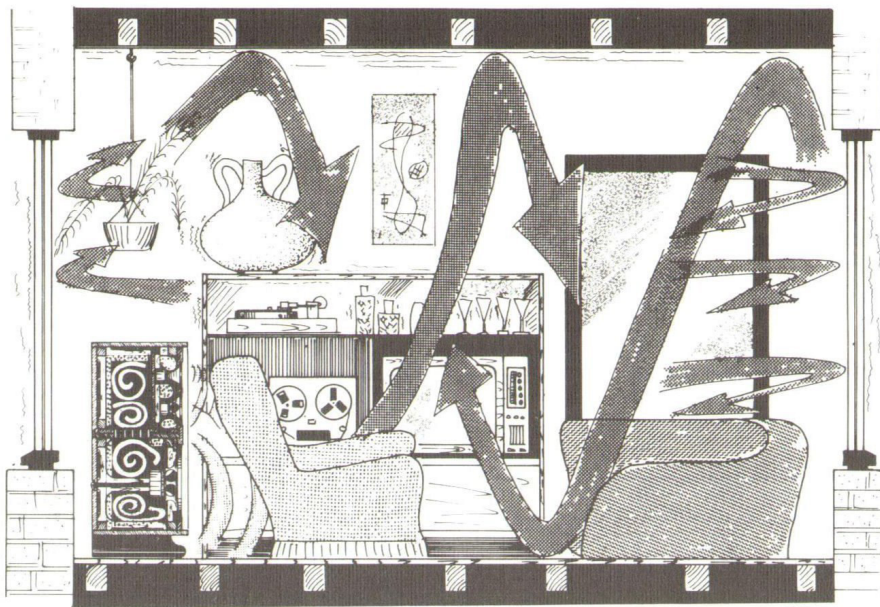
1



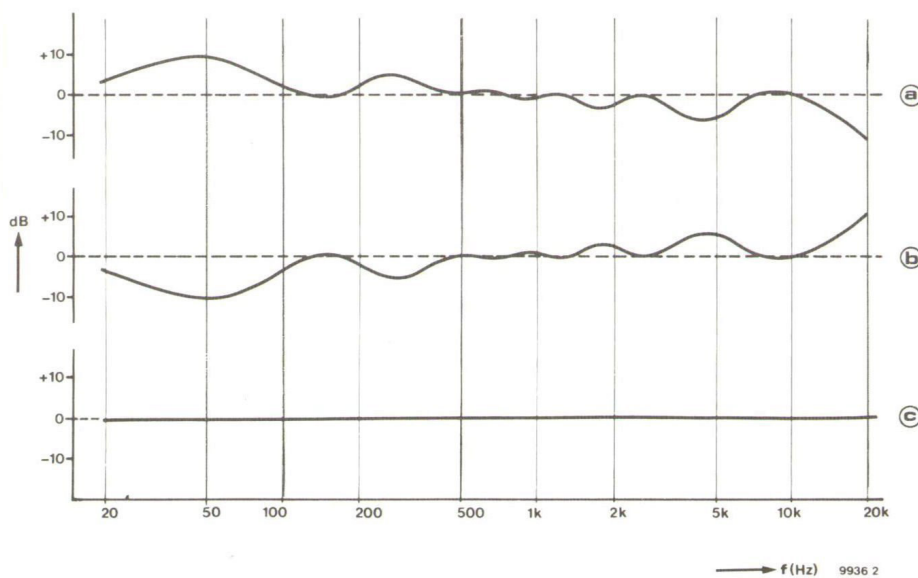
beim Hersteller
Archiv Michael Otto

Foto 1. Eine Seite aus dem Brüel & Kjær – Applikationsbericht 13-101, die recht aufschlußreich ist: Meßergebnisse mit 5 verschiedenen Lautsprecherboxen in 3 verschiedenen Wohnräumen.

1



2



läßt sich die spiegelbildliche Charakteristik (Bild 2b) mit einem Equalizer leicht realisieren: "Täler" bei 50 Hz und 250 Hz sowie "Hügel" bei 1600 Hz und 4 kHz, ergänzt durch einen Anstieg oberhalb 10 kHz. Wenn der so eingestellte Equalizer in die Hi-Fi-Kette eingefügt wird, muß die Gesamtcharakteristik aussehen wie in Bild 2c: schnurgerade von 20 Hz bis 20 kHz.

Doch leider hat die Sache einen Haken. Bei der Wiedergabe muß nämlich zwischen direktem und indirektem Schall unterschieden werden. Der direkte Schall gelangt ohne Umwege vom Lautsprecher zum Ohr des Hörers, während der indirekte Schall von Wänden, Decke, Fußboden und natürlich auch von den Einrichtungsgegen-

ständen reflektiert wird, bevor er den Hörer erreicht. Der indirekte Schall wird von der Raumakustik "gefärbt", der direkte dagegen nicht. Aus dieser einfachen Tatsache ergeben sich zwei Konsequenzen:

- Der Schall, der vom Ohr des Hörers wahrgenommen wird, besteht aus einer "gefärbten" und einer "ungefärbten" Komponente. Bei Messungen wird man daher von einer "mittleren Einfärbung" ausgehen müssen. Diese mittlere Frequenzcharakteristik kann mit einem Equalizer korrigiert werden. Das Problem besteht hierbei jedoch darin, daß das "Mischverhältnis" an verschiedenen Raumpunkten unterschiedlich ist. Eine optimale Korrektur läßt sich deshalb im Normalfall nur für eine einzige

Bild 1. Dem Innenaufbau einer Lautsprecherbox wird im allgemeinen sehr viel mehr Aufmerksamkeit gewidmet als der Akustik des Wiedergaberaums . . .

Bild 2. Beispiel für die vollständige Frequenzgangkorrektur mit Hilfe eines Equalizers. Die "krumme" Charakteristik in Bild 2a läßt sich im Prinzip durch eine "anti-krumme" Equalizer-Charakteristik (2b) kompensieren, so daß ein idealer linearer Verlauf (2c) entsteht.

Bild 3. In der Praxis muß man sich, jedenfalls bei einer Hi-Fi-Anlage, mit einer weniger vollständigen Korrektur begnügen. Im mittleren Frequenzbereich darf die Charakteristik im allgemeinen nicht verändert werden, so daß ein gutes Endergebnis eher der Darstellung in Bild 3b als in 2c gleicht.

Bild 4. Ein zuschaltbarer 6 dB-Abschwächer läßt sich meistens leicht nachträglich in eine Sprachübertragungsanlage einbauen. Dem Lautstärkepoti P_V wird ein Serienwiderstand R_V vorgeschaltet, der ungefähr den gleichen Wert hat wie das Poti. Parallel zum Vorwiderstand liegt ein Drucktaster, mit dem die 6 dB-Dämpfung während der Einstellung der Anlage aufgehoben werden kann.

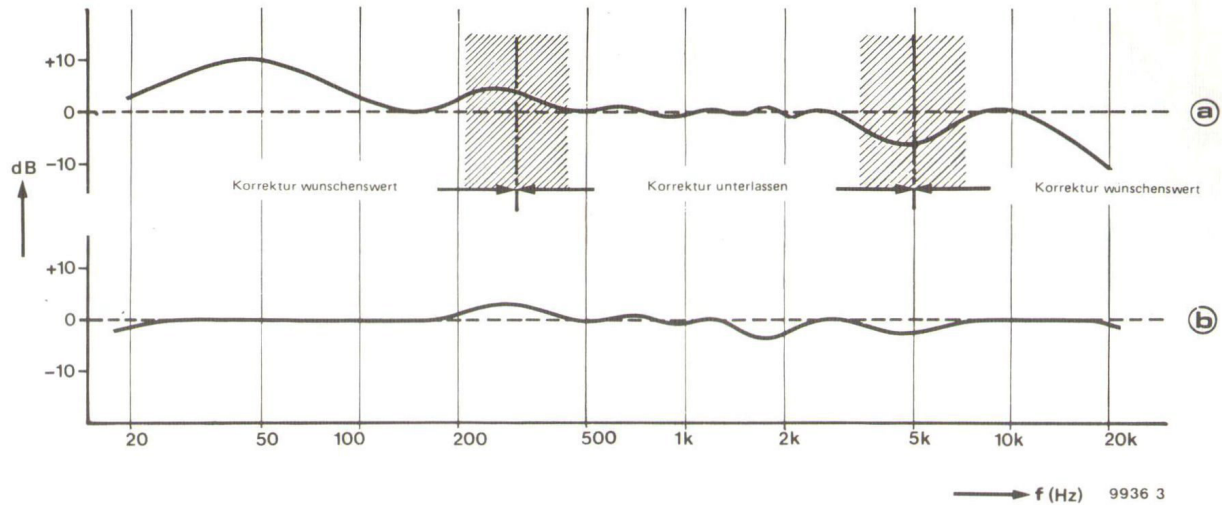
Bild 5. Die Frequenzcharakteristik einer Sprachübertragungsanlage weist häufig Mängel auf (5a). Nach Hinzufügen der Equalizer-Charakteristik 5 b entstand die in 5c skizzierte Charakteristik. Eine verblüffende Verbesserung der elektroakustischen Eigenschaften war die Folge!

© beim Hersteller
Archiv Michael Otto

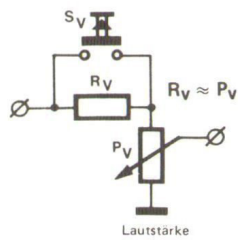
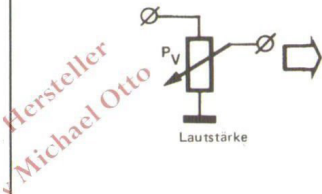
Stelle des Wohnraums erreichen.

- Das menschliche Ohr interpretiert direkten und indirekten Schall, insbesondere wenn Frequenzen innerhalb des Sprachbands (300 Hz . . . 5 kHz) betroffen sind, nicht in gleicher Weise. Während der direkte Schall Informationen über die Beschaffenheit der Signalquelle enthält, beurteilt das Ohr nach dem indirekten Schall die Umgebung, in der sich die Schallquelle befindet. Der übertriebene Gebrauch eines Equalizers kann deshalb einen unerwünschten Nebeneffekt zur Folge haben: Der direkte Schall wird bei dem Versuch, die Färbung des indirekten Schalls zu beseitigen, unzulässig stark in Mitleidenschaft gezogen. Um einen Equalizer richtig einzustellen, sollte man

3

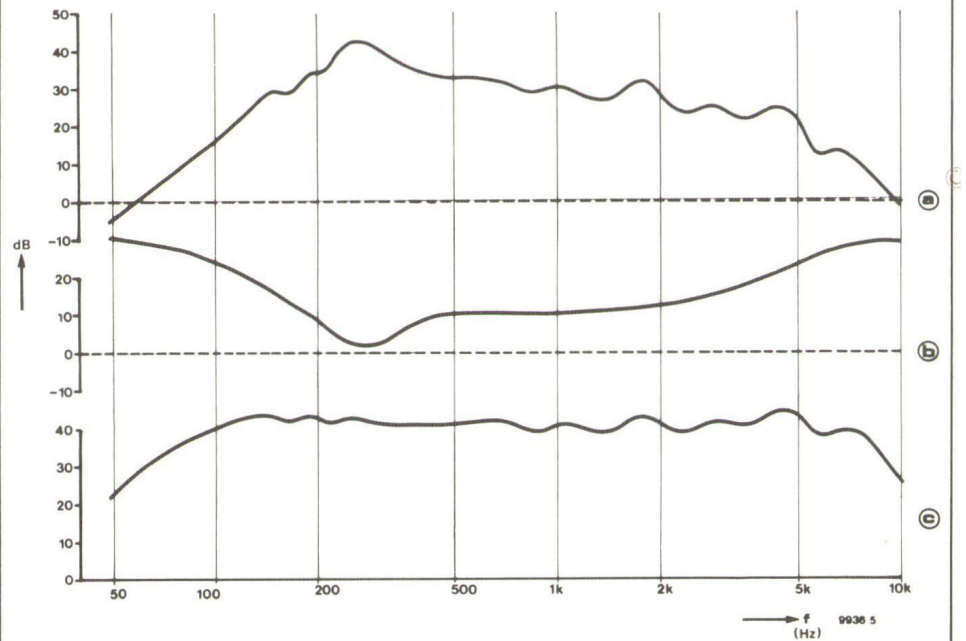


4



9936 4

5



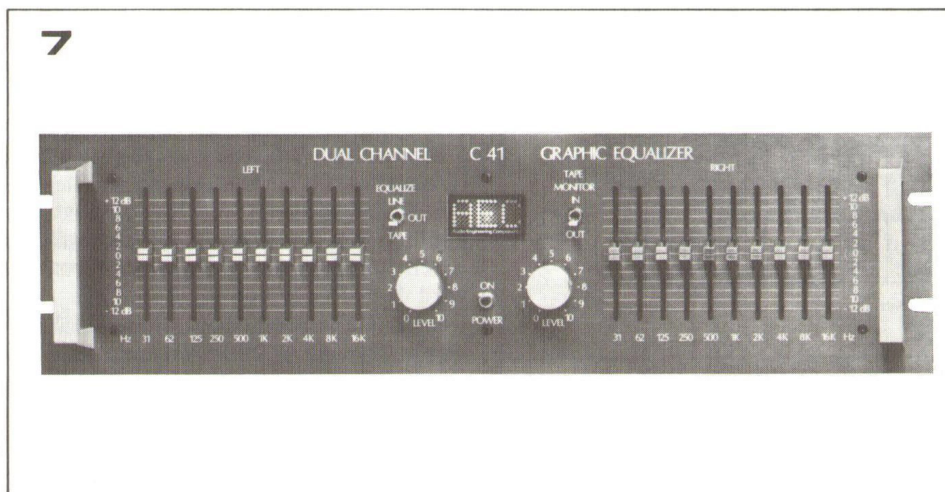
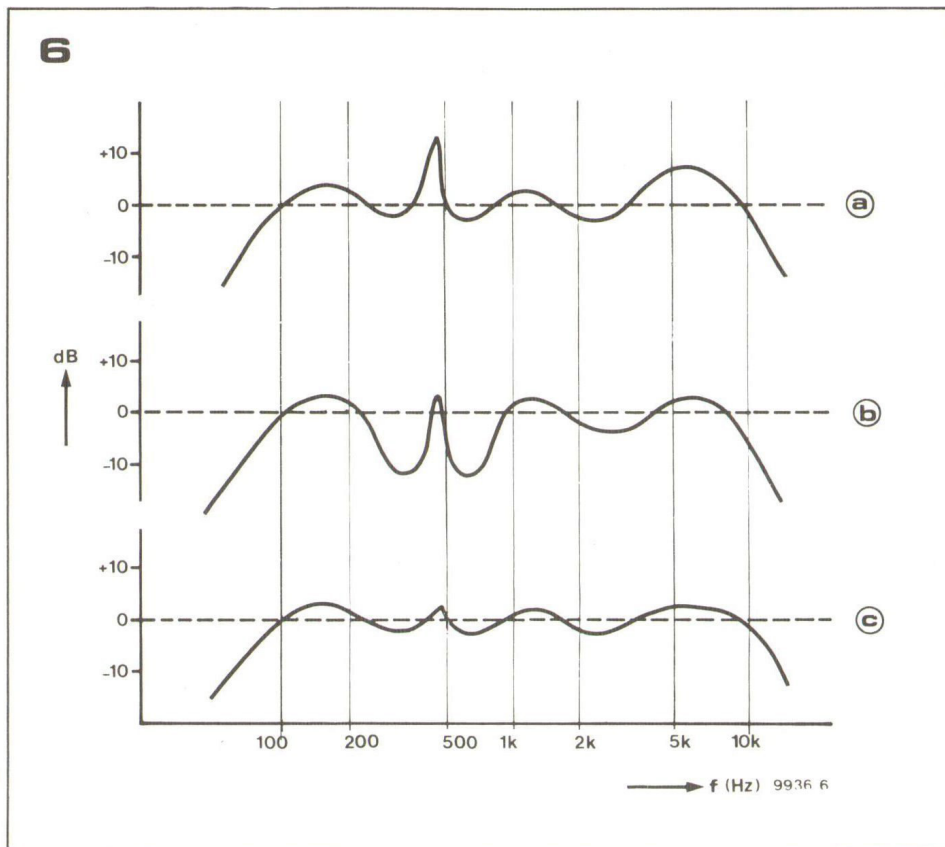
deshalb stets mit Bedacht vorgehen und des Guten eher zu wenig als zuviel tun. Aus den vorangegangenen Überlegungen darf jedoch keineswegs der Schluß gezogen werden, daß ein Equalizer innerhalb einer Heim-Hi-Fi-Anlage nichts zu suchen hätte, im Gegenteil! Dann wäre nämlich auch die herkömmliche Höhen- und Tiefeneinstellung überflüssig. Es gibt Hi-Fi-Fanatiker, die tatsächlich dieser Meinung sind, doch das ist nicht Gegenstand dieses Artikels. Die nähere Betrachtung der Wohnraumakustik in Bild 2a verdeutlicht den Nutzen eines Equalizers. In Bild 3a ist die gleiche Charakteristik noch einmal zu finden; hier sind jedoch zusätzlich die "kritischen Bereiche" gekennzeichnet. Für das Gebiet zwischen ungefähr

300 Hz und 5 kHz gilt die Richtlinie, daß hier nicht eingegriffen werden sollte (wenn die Raumakustik und nicht die Lautsprecherbox als Ursache der Frequenzgangabweichung feststeht). Spitzen und Senken außerhalb dieses Bereichs können dagegen mit einem Equalizer "ausgebügelt" werden; in den Übergangszonen um 300 Hz und 5 kHz kann eine teilweise Korrektur von Fall zu Fall sinnvoll sein. Für die Charakteristik in Bild 3a bedeutet dies:

- Der Hügel, dessen Maximum bei 50 Hz liegt, darf ohne weiteres geebnet werden (daß sich gleichzeitig auch das Signal-Brumm-Verhältnis um 10 dB verbessert, ist ein willkommener Zufall).
- Die kleine Anhöhe bei 250 Hz liegt im Übergangsbereich. Hier kann eventuell

teilweise korrigiert werden, eine Kontrolle ist jedoch wünschenswert. Aufschluß über die Wirkung gibt ein Vergleich der Wiedergabe mit und ohne Korrektur.

- Die kaum sichtbare Erhebung bei 900 Hz ist eigentlich zu klein, um überhaupt erwähnt zu werden; außerdem liegt sie im kritischen mittleren Bereich. Sie bleibt deshalb unberücksichtigt.
- Das Dip bei 1600 Hz liegt ebenfalls im kritischen Bereich, was eine Korrektur im allgemeinen ausschließt.
- Das Dip bei ca. 5 kHz liegt in einem der Übergangsbereiche, es kann daher zum größten Teil geebnet werden.
- Das abfallende Ende oberhalb von 10 kHz darf ebenfalls angehoben werden. Vor einer zu starken Anhebung



sollte man sich allerdings hüten, denn dies könnten die Hochtonlautsprecher übernehmen.

Nach den genannten Korrekturen (und unter der Voraussetzung, daß das Dip bei 1600 Hz nicht von der Raumakustik verursacht wird), entspricht die Gesamtcharakteristik aller Wahrscheinlichkeit nach der Kurve b in Bild 3. Der korrigierte Frequenzgang bietet nicht nur optisch ein erfreuliches Bild, auch akustisch wird das Resultat zufriedenstellen. Insgesamt benötigt man neben der Höhenanhebung drei Resonanzfilter; es liegt auf der Hand, hier einen sogenannten "parametrischen Equalizer" (siehe an anderer Stelle in diesem Heft) zu benutzen. Wie man die verschiedenen Einstellungen in der Praxis vornimmt, wird in den folgenden Abschnitten besprochen.

Sprachübertragungsanlagen

Anlagen zur Übertragung von Sprache in Sälen, Hallen usw. werden meistens dem professionellen Sektor zugeordnet. Da

aber in der Regel nur Beschallungsanlagen mit extremem Ausmaß (z.B. in Messe- und Kongreßhallen) von professioneller Seite geplant und betrieben werden, sieht sich auch häufig der Nicht-Spezialist mit diesem Gebiet konfrontiert. Er steht dann oft vor Problemen wie mangelnder Verständlichkeit im Saal, zu geringer Lautstärke und ständiger hartnäckiger Rückkopplung. Bei verschiedenen Untersuchungen von Fachleuten am Ort des Geschehens hat sich gezeigt, daß auch hier der (parametrische) Equalizer ein besonders wirkungsvolles Hilfsmittel sein kann. Hierauf geht dieser Artikel im folgenden näher ein, doch erscheinen zuerst noch einige allgemeine Bemerkungen angebracht. Bei Sprachübertragungsanlagen kommt es nicht in erster Linie auf "naturgetreue Wiedergabe" an, so wie dies von Hi-Fi-Anlagen gefordert wird. Eine optimale Verständlichkeit steht hier uneingeschränkt an erster Stelle. Leider wird dies in der Praxis häufig mit hoher Lautstärke gleichgesetzt. Natur-

lich kann in manchen Fällen die Verständlichkeit durch Aufdrehen der Lautstärke erhöht werden, in der Regel hat dies jedoch, insbesondere bei schlecht konzipierten Anlagen, die bekannte akustische Rückkopplung zur Folge. Abhilfe läßt sich eher dadurch schaffen, daß einerseits die Neigung zu akustischer Rückkopplung gedämpft und andererseits die Verständlichkeit mit anderen Mitteln als durch den Lautstärkeknopf erhöht wird. Um mit dem ersten zu beginnen: Akustische Rückkopplung entsteht bekanntlich dadurch, daß das Mikrofon den vom Lautsprecher abgestrahlten Schall "hören" kann. Dieser Schall gelangt sowohl auf direktem Weg als auch nach Reflexion durch Wände, Decken usw. zum Mikrofon zurück; er wird erneut verstärkt, so daß die Anlage unangenehm zu pfeifen oder heulen beginnt. Um den Verstärker mit gleicher Lautstärke ohne Rückkopplungspfeifen betreiben zu können, muß dafür gesorgt werden, daß weniger Schall von den Lautsprechern zum Mikrofon zurückgelangt. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen:

- Richtmikrofone, zum Beispiel mit Cardioid-Richtcharakteristik verwenden! Solche Mikrofone sind weniger empfindlich für Schall, der von rückwärts zur Einsprechöffnung gelangt.
- Verwendung von Lautsprechern mit Richtcharakteristik! Diese sind zwar nicht so bekannt wie die Richtmikrofone, sie werden jedoch zum Beispiel als Cardioid-Lautsprechersäulen angeboten. Stellt man diese Spezial-Lautsprechereinheiten mit ihrer Rückseite zum Mikrofon auf, so können sich erhebliche Verbesserungen einstellen.
- Lautsprecher nicht in unmittelbarer Nachbarschaft eines Mikrofons aufstellen! An sich sollte dies selbstverständlich sein, doch auch hier werden häufig Fehler begangen.
- Die Lautsprecher, die dem Mikrofon am nächsten stehen, mit niedrigerer Lautstärke als die übrigen Lautsprecher betreiben! Eine Einstellmöglichkeit ist bei vielen Lautsprechersäulen bereits vorhanden, ein (niedriger) Vorwiderstand bringt im Notfall den gleichen Effekt. Auf den ersten Blick erscheint diese Maßnahme das Gegenteil von dem zu bewirken, was beabsichtigt war. Die Lautstärke kann jetzt jedoch weiter aufgedreht werden, so daß die vorderen Lautsprecher mit gleicher Lautstärke wie vorher arbeiten, während die hinteren einen höheren Schallpegel abstrahlen.
- Nur so viele Mikrofone einschalten, wie im Moment benötigt werden! Wenn nur ein Redner spricht, braucht auch nur ein Mikrofon eingeschaltet zu sein. Eventuell vorhandene weitere Mikrofone würden lediglich die Neigung zu akustischer Rückkopplung erhöhen.
- Die Lautstärke richtig einstellen! Auch dies erscheint selbstverständlich, in der Praxis tut sich mancher jedoch damit recht schwer. Zwei praktische Tips können hier hilfreich sein:

– Bei leerem Saal neigt eine Beschallungsanlage eher zur Rückkopplung als bei gefülltem Saal. Oft reicht es deshalb aus, die Anlage ohne Publikum im Saal an den Rand des Rückkopplungseinsatzes zu stellen; bei vollem Saal ist dann die Einstellung genau richtig.

– Die Differenz zwischen Rückkopplungseinsatz und richtiger Einstellung beträgt 3 . . . 6 dB. Hierbei ist kennzeichnend für den unmittelbar bevorstehenden Rückkopplungseinsatz, daß die Anlage zum "Nachsingen" neigt; in abgeschwächter Form hört sich dies wie die künstliche Verlängerung der Nachhalldauer an. Von dieser Erkenntnis kann auch beim Selbstbau Gebrauch gemacht werden: Nach Ausrüstung des Verstärkers mit einem wahlweise einschaltbaren 3 . . . 6 dB-Abschwächer (0,5 . . . 0,7 X; siehe Bild 4) läßt sich die richtige Einstellung sicher und schnell finden. Der Abschwächer wird außer Funktion gesetzt und die Lautstärke bis zum Rückkopplungseinsatz aufgedreht (man bedenke hierbei, daß das Aufschaukeln bis zum Schwingen relativ lange dauert, das Verändern der Lautstärke muß deshalb langsam erfolgen). Anschließend wird der Abschwächer wieder in Betrieb gesetzt, so daß die Anlage benutzt werden kann. Es ist übrigens verwunderlich, daß kaum eine "Public Address"-Beschallungsanlage mit einem solchen Abschwächer ausgerüstet ist.

Der zweite Weg, eine Beschallungsanlage zu verbessern, ist die erwähnte "Erhöhung der Verständlichkeit mit anderen Mitteln als mit dem Lautstärkeknopf". Hierzu zählen zwei Arten von Maßnahmen: Verminderung des Halls und Verbesserung der Wiedergabequalität. Ersteres macht im allgemeinen Investitionen für schallschluckende Wand- und Deckenverkleidungen sowie andere bauliche Veränderungen erforderlich, während das zweite deutlich mehr in den Bereich der Elektronik fällt.

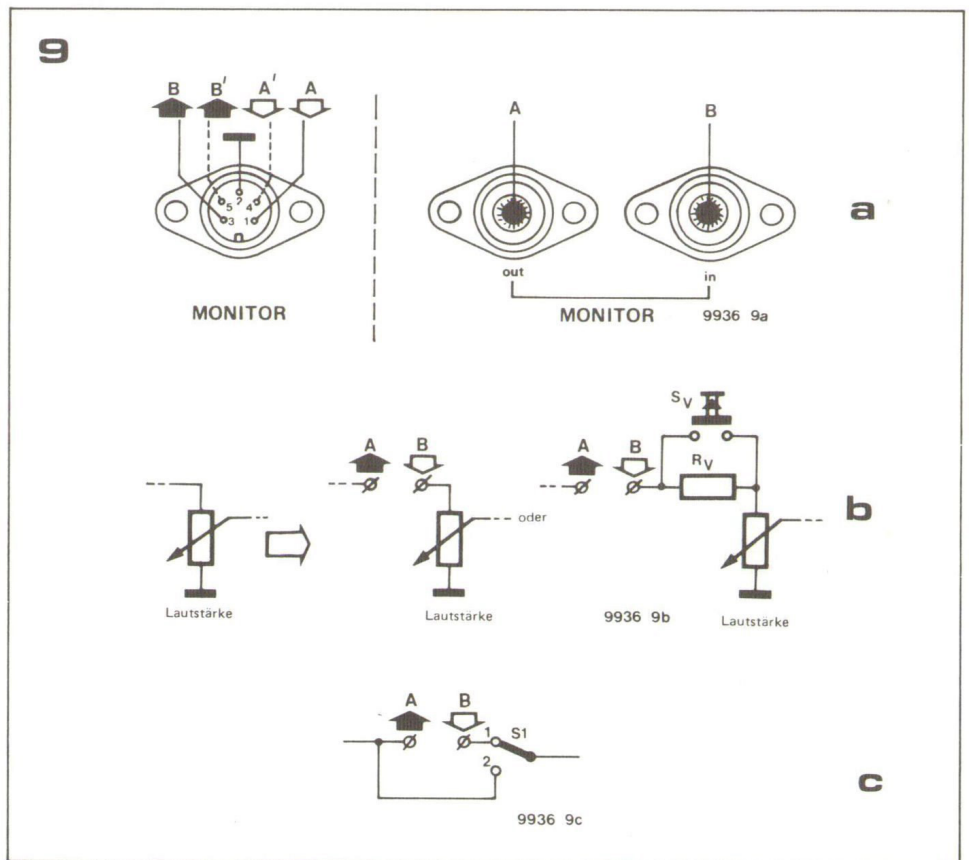
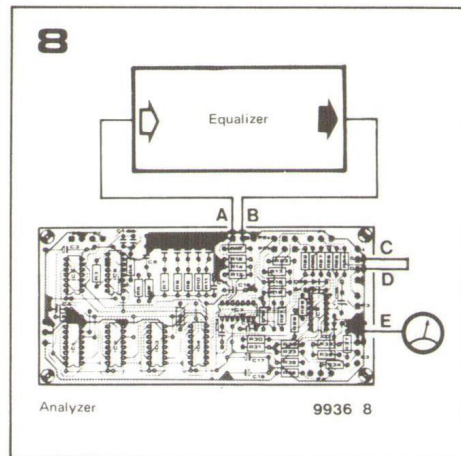
Die Wiedergabequalität spielt für die Verständlichkeit eine wesentlich größere Rolle als allgemein angenommen wird. Die Praxis hat immer wieder bestätigt, daß eine flache Frequenzcharakteristik über ein relativ breites Band hinweg – ungefähr von 100 Hz bis 10 kHz – eine saubere Verständlichkeit am ehesten garantiert. Leider existieren hier verschiedene hartnäckige Mißverständnisse, die zu Auswüchsen führen wie "Sprachschaltern" (Bass Cut: Abschneiden von Frequenzen unter 200, 300 oder sogar 400 Hz), "Sprach(lautsprecher)säulen" (mit einer oft unaussprechlichen Frequenzcharakteristik) und "Sprachmikrofonen" (die oft nicht besser sind als die Lautsprecher). Wenn dann, um das Maß voll zu machen, auch noch am Verstärker der Tiefeneinsteller auf Minimum eingestellt und ein eventuell vorhandenes "Präsenz"-Filter eingeschaltet wird, ist die Katastrophe komplett. Bild 5a zeigt die gemessene Frequenz-

Bild 6. Bei einer Sprachübertragungsanlage muß der Equalizer so eingestellt werden, daß alle Spitzen ungefähr auf der gleichen Linie liegen. Die Charakteristik in Bild 6a sieht zwar besser aus, für die Praxis ist eine Anlage mit der Charakteristik 6b jedoch besser geeignet. Damit ist nicht gesagt, daß sich nicht mehr erreichen läßt: Die Charakteristik 6c wurde mit den gleichen Filtern eingestellt.

Bild 7. Der "grafische Equalizer" verdankt seinen Namen den parallel angeordneten Schiebepotis; die gedachte Verbindungskurve der einzelnen Potiknöpfe liefert hier ein optisches Bild des eingestellten Frequenzgangs.

Bild 8. Bevor der Equalizer in die Sprachübertragungsanlage eingefügt wird, muß dieser zuerst auf einen linearen Frequenzgang eingestellt werden. Hierzu dient diese Meßanordnung.

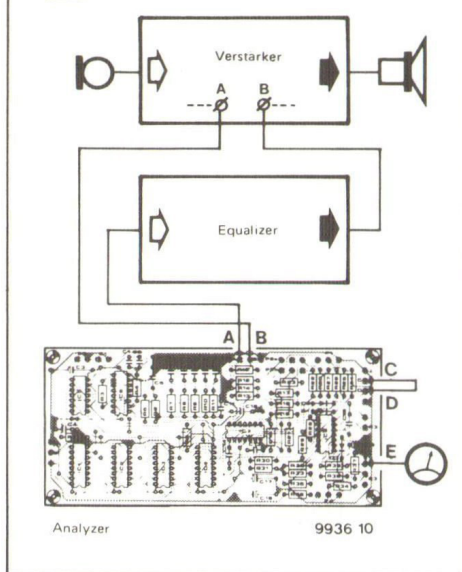
Bild 9. Im Verstärker muß ein geeigneter Anschlußpunkt für den Equalizer gefunden werden. In den meisten Fällen liegt dieser Punkt in der Nähe des Lautstärkepotis. Besitzt der Verstärker bereits serienmäßig einen sogenannten Monitor-Anschluß, so wird dieser benutzt.



charakteristik einer solchen "Spezialanlage für Sprachübertragung"; die Klangeinsteller des Verstärkers standen hierbei in Mittelstellung. Es wurde versucht, die Charakteristik mit einem einfachen parametrischen Equalizer "geradezubiegen". Kurve b in Bild 5 stellt die verwendete Filtercharakteristik dar; das Resultat ist die mit c bezeichnete Charakteristik. Die Zunahme der Verständlichkeit war verblüffend! Obwohl vorher der Sprecher auch ohne Fremdgeräusche im Saal kaum zu verstehen war, konnte man nach dem Eingriff in die Anlage selbst bei größerer Unruhe im Publikum noch jedes Wort deutlich vernehmen. Die Benutzung eines Equalizers ist in derart gelagerten Fällen stets sinnvoll. Das verfolgte Ziel unterscheidet sich jedoch wesentlich von der Aufgabe des Equalizers in einer Heim-Hi-Fi-Anlage. Während dort der Bereich zwischen ca. 300 Hz und 5 kHz nicht in die Korrektur einbezogen werden durfte, gilt hier fast genau das Gegenteil: Gerade das Gebiet zwischen 300 Hz und 5 kHz – oder noch weiter gefaßt, zwischen 100 Hz und 10 kHz – muß hier korrigiert werden; der Anfangs- und Endbereich ist dagegen weniger von Bedeutung.

Bei Sprachübertragungsanlagen spielt ferner nur eine untergeordnete Rolle, ob die endgültige Charakteristik völlig flach verläuft oder nicht. Dips bis ungefähr 5 dB machen sich hier kaum bemerkbar. Anders verhält es sich mit eventuellen Peaks: Die höchste Spitze bestimmt nämlich den Einsatzpunkt der akustischen Rückkopplung. Sinnvollerweise wird deshalb der Equalizer so eingestellt, daß alle Spitzen auf einer Geraden liegen. Dies ist in Bild 6 skizziert:

10



Charakteristik a sieht zwar besser aus, für die Praxis ist jedoch Charakteristik b vorteilhafter, allerdings stellt Kurve b noch nicht das Optimum von dem dar, was sich erreichen läßt. Mit den gleichen Filtern und etwas Geduld und Fingerspitzengefühl ist in diesem Fall auch die Charakteristik c in Bild 6 realisierbar.

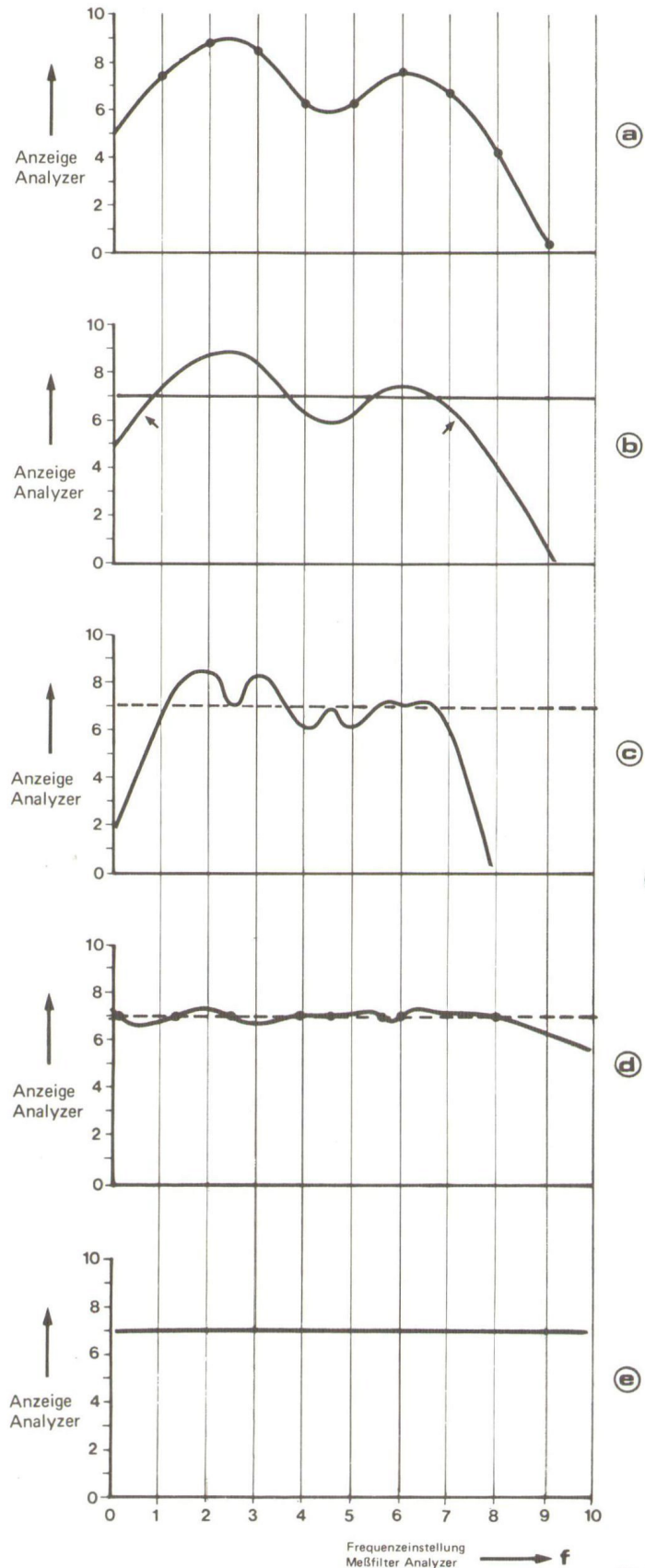
Wer trotzdem am Nutzen eines Equalizers innerhalb einer Sprachübertragungsanlage zweifelt, dem sei noch folgendes gesagt: Die Kosten für einen (Selbstbau-)Equalizer sind verglichen mit dem Kosten von neu anzuschaffenden Spezialmikrofonen und -lautsprechern verschwindend gering!

Elektronische Musik

Über diesen Anwendungsbereich von Equalizern braucht nur wenig gesagt zu werden. Wer sich aktiv mit der elektronischen Musikerzeugung beschäftigt, wird den Nutzen einer "Super-Klangeinstellung" sicher nicht bestreiten. Bei Synthesizern wie dem Elektor-FORMANT stellen veränderbare Resonanzfilter nützliche Hilfseinrichtungen dar. Auch elektronische Orgeln der oberen Preisklasse sind häufig mit derartigen Filtern ausgerüstet, ganz abgesehen von den anderen Instrumenten bzw. Geräten, die "rein elektronische Musik" produzieren.

Bei der Erzeugung elektronischer Musik wird der Equalizer im Gegensatz zu den bereits besprochenen Einsatzgebieten nicht einmalig eingestellt; der häufige Wechsel der Filtereinstellungen führt gerade zur gewünschten musikalischen Flexibilität des Instruments. Auf eine sinnfällige Kalibrierung der diversen Potentiometer kann kaum verzichtet werden; sogenannte grafische Equalizer sind hier im Vorteil; es handelt sich im wesentlichen um Terz- oder Oktav-Equalizer mit spezieller äußerer Gestaltung. Meistens besitzen grafische Equalizer eine größere Anzahl von Filtern mit fester Mittenfrequenz und Bandbreite. Einstellen läßt sich hier nur die jeweilige Höhe des Peaks oder Dips.

11



© beim Hersteller Archiv Michael

Durch die Verwendung von Schiebepotis, die in der Reihenfolge der Filterfrequenzen angeordnet sind (siehe Bild 7), erhält man hier einen optischen Eindruck der eingestellten Gesamtcharakteristik. Auch im Bereich der elektronischen Musikerzeugung zeigen sich die Vorteile

des parametrischen Equalizers. Mit weniger Aufwand an Elektronik und mit meistens weniger Einstellknöpfen beherrscht er die verschiedenen Aufgaben besser als ein Equalizer mit festen Filterfrequenzen und -bandbreiten. Die Kalibrierung der verschiedenen Potentiometer gestaltet sich beim para-

metrischen Equalizer zwar etwas schwieriger; der Musiker wird jedoch weniger von Frequenzangaben und Q-Werten, sondern vielmehr vom Klangeindruck ausgehen, den er mit dem Ohr wahrnimmt. Natürlich ist auch nichts dagegen einzuwenden, sowohl einen grafischen als auch einen parametrischen Equalizer in die gleiche Musikanlage zu integrieren.

Einstellung von Equalizern

Das Einstellen des Equalizers bei der elektronischen Musikerzeugung bleibt selbstverständlich dem Musiker überlassen; irgendwelche Richtlinien lassen sich hierfür kaum angeben. Bei Heim-Hi-Fi-Anlagen und Sprachübertragungsanlagen sieht dies anders aus. Zuerst sollen für diese beiden Einsatzbereiche einige allgemeingültige Regeln genannt werden, anschließend kommt ihre spezielle Behandlung zur Sprache. Die erste Voraussetzung für das richtige Einstellen eines Equalizers ist die einigermaßen genaue Kenntnis der zu korrigierenden Frequenzcharakteristik. Wie schon eingangs festgestellt, hat man mit dem Equalizer ein praktisches, jedoch nicht unkompliziertes Hilfsmittel in der Hand. Das Resultat einer Einstellung ausschließlich nach Gehör wird deshalb in den allermeisten Fällen enttäuschen. Damit sich die Wirkung des Equalizers nicht in das Gegenteil von dem umkehrt, was beabsichtigt war, müssen zuerst auf jeden Fall eingehende Messungen vorgenommen werden. Dies hört sich zwar nach einem bedrohlich hohen finanziellen Aufwand sowie nach zeitraubenden Prozeduren an – "Insider" denken möglicherweise an Geräteparcs von Brüel & Kjaer im Wert von mehreren zehntausend Mark –, doch kommt man bei dem beabsichtigten Vorhaben auch ohne diesen Aufwand aus. Mit dem an anderer Stelle in diesem Heft beschriebenen Audio-Analyzer und ein wenig Geduld und Einfühlungsvermögen lassen sich in der Praxis überraschend gute Ergebnisse erzielen. Ausgangsbasis ist hierbei, daß eine super-exakte Einstellung (z.B. innerhalb $\pm 0,5$ dB) nicht erforderlich ist, und daß der absolute Verlauf des zu korrigierenden Frequenzgangs nicht bekannt sein muß. Letzteres wird an folgendem deutlich: Es kommt weniger darauf an, ob ein bestimmtes Peak oder Dip genau bei z.B. 225 Hz liegt oder nicht; vielmehr ist wichtig, daß dieses Peak oder Dip beseitigt wird. Anders ausgedrückt: Wenn alle Peaks und Dips aufgespürt werden (ohne ihre exakte Lage in Hertz zu ermitteln) und die nachfolgende Korrektur sie beseitigt, ist das erstrebte Ziel erreicht. Frequenzcharakteristiken, wie sie in Bild 2, 3, 5 und 6 zu finden sind, interessieren zwar den Fachmann, für den Benutzer der Anlage ist dagegen nur das Endresultat von Bedeutung: eine "wohlklingende" Hi-Fi-Anlage oder eine leistungsfähige Sprachübertragungsanlage.

12

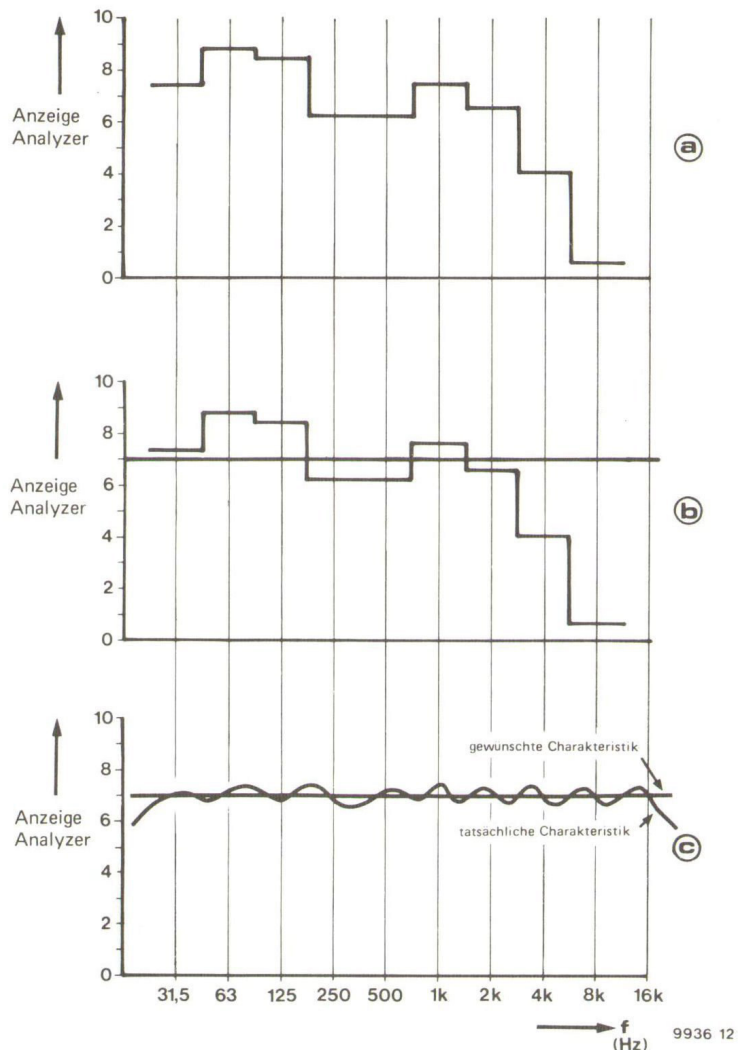


Bild 10. Nach Einstellen des Equalizers auf einen linearen Frequenzgang und erfolgreicher Suche eines Anschlußpunkts im Verstärker kann die hier gezeigte Meßanordnung aufgebaut werden.

Bild 11. Auswirkungen der verschiedenen Schritte während der Frequenzgangkorrektur einer Sprachübertragungsanlage bei Verwendung eines parametrischen Equalizers. In 11a ist die ursprünglich gemessene Charakteristik wiedergegeben, während 11b die ideale Charakteristik als durchgezogene Linie zeigt. Nach den ersten Einstellungen sieht die Charakteristik wie in 11c aus, um schließlich die in 11d skizzierte Form anzunehmen. Die hier noch vorhandenen Schönheitsfehler bedürfen einer Nachkorrektur, so daß sich im Idealfall das in 11e gezeigte Resultat einstellt . . .

Bild 12. Mit einem Terz- oder Oktav-Equalizer sind nur Korrekturen in Terz- bzw. Oktavschritten möglich; genauere Messungen sind deshalb hier nicht sinnvoll. Terz- bzw. Oktav-Meßfilter liefern eine Charakteristik wie beispielsweise in Bild 12a; in 12b ist die "Ideallinie" eingetragen, während 12c das Endergebnis nach optimaler Einstellung des Equalizers zeigt. Die zurückbleibende Welligkeit läßt sich mit Terz- oder Oktav-Equalizern nicht beseitigen, in der Praxis ist sie jedoch nicht oder nur kaum wahrnehmbar.

Für die Messung und Korrektur einer Wohnraumakustik stehen verschiedene Wege offen. Im großen und ganzen läuft dieser Vorgang zwar stets gleich ab, es können jedoch unterschiedliche Hilfsmittel zum Einsatz kommen: an erster Stelle der Analyzer, ferner auch ein Meßmikrofon oder ein Kopfhörer sowie spezielle Test-Schallplatten. Die verschiedenen Verfahren sind alle mit den ihnen eigenen Vor- und Nachteilen behaftet, die sich insbesondere bei der Einstellprozedur bemerkbar machen. Sprachübertragungsanlagen erfordern ein etwas einfacheres Verfahren als Hi-Fi-Anlagen: Es ist sinnvoll, hier das bereits vorhandene Mikrofon auch für die Messungen mit dem Analyzer zu benutzen. Da die Korrektur von Sprachübertragungsanlagen gleichzeitig die Grundlage für das Vorgehen bei der Equalizer-Einstellung im Wohnraum ist, soll nachfolgend zuerst der Gebrauch des Equalizers in Sprachübertragungsanlagen behandelt werden.

Sprachübertragungsanlagen

Es ist selbstverständlich, daß die Anlage vor Hinzufügen des Equalizers vollkommen funktionstüchtig sein muß. Die wichtigsten Maßnahmen wurden bereits genannt: möglichst Verwendung von Cardioid-Mikrofonen, sorgfältige Wahl des Aufstellungsorts von Mikro-

fon(en) und Lautsprechern sowie eventuelle Absenkung des Schallpegels der vorderen Lautsprecher. Veränderungen in dieser Hinsicht können ebenfalls die Frequenzcharakteristik beeinflussen, so daß es wenig sinnvoll ist, die Equalizer-Einstellung vorher durchzuführen. Der Equalizer darf vielmehr erst dann in die Übertragungskette eingefügt werden, wenn ohne ihn keine weiteren Verbesserungen möglich sind.

Die folgende Beschreibung des Einstellverfahrens ist hauptsächlich für den Fall zugeschnitten, daß ein parametrischer Equalizer und der in diesem Heft beschriebene Audio-Analyzer zur Verfügung stehen. Bei Verwendung eines Terz- oder Oktav-Equalizers geht man im wesentlichen gleich vor; etwaige Abweichungen sind an entsprechender Stelle vermerkt.

1. Einstellen des Equalizers auf eine lineare Frequenzcharakteristik. Hierzu wird der Rauschgenerator direkt mit dem Eingang des Equalizers und das Analyzer-Meßfilter nebst Anzeigeeinheit direkt mit dem Ausgang verbunden (siehe Bild 8). Das Meßfilter des Analyzers muß hierbei mit maximalem Gütefaktor Q (1/12 Oktave) arbeiten. Eventuelle Peaks oder Dips des zwischengeschalteten Equalizers können nun bequem aufgespürt und beseitigt werden (die Filter von Terz- oder Oktav-Equalizern stellt man einzeln ein).

2. Suche eines geeigneten Anschlußpunkts für den Equalizer innerhalb des Verstärkers. Wenn der Verstärker einen sogenannten Monitor-Ausgang besitzt, kann hiervon in den meisten Fällen ohne weiteres Gebrauch gemacht werden (Bild 9a). In Bild 9b und 9c ist angegeben, wie der Monitor-Ausgang geschaltet ist; im Bedarfsfall kann der Verstärker hiermit auch nachträglich ausgerüstet werden (siehe Seite 5-53). 3. Den Equalizer-Ausgang mit Schaltungspunkt B in Bild 9, den Rauschgenerator mit dem Eingang des Equalizers und das Meßfilter des Analyzers einschließlich Anzeigeeinheit mit Schaltungspunkt A in Bild 9 verbinden. Diese Meßanordnung ist in Bild 10 skizziert.

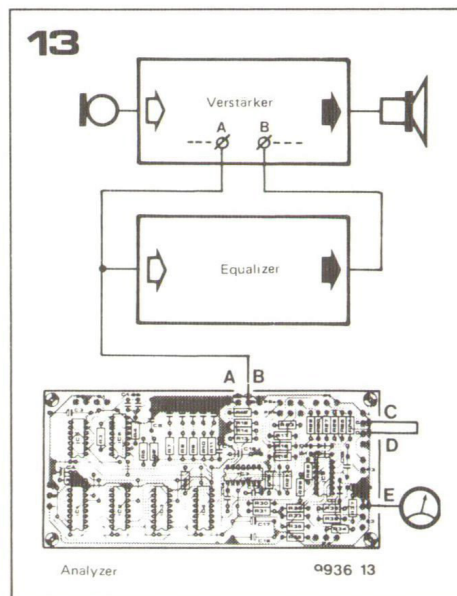
4. Nun kann die Frequenzcharakteristik der Anlage gemessen werden; der Frequenz-Einstellknopf des Analyzer-Meßfilters erhält zuvor noch eine Skala, die zum Beispiel von 1 bis 10 eingeteilt ist. Wenn an die Anlage mehrere Mikrofone angeschlossen sind, wird zunächst nur das Mikrofon eingeschaltet, das später überwiegend in Betrieb ist. Die Charakteristik wird nun Punkt für Punkt aufgenommen; die einzelnen Werte werden in eine Grafik eingetragen, wobei die höchsten Punkte der Peaks und die niedrigsten Punkte der Dips am meisten von Bedeutung sind. Das Ergebnis sieht dann beispielsweise so aus wie in Bild 11a skizziert. Bei Terz- oder Oktav-Equalizern muß ein stufenweise umschaltbares Terz- bzw. Oktav-Meßfilter benutzt werden; die einzelnen Meßwerte trägt man hier für den jeweili-

gen Terz- oder Oktav-Bereich als Gerade in die grafische Darstellung ein (Bild 12a).

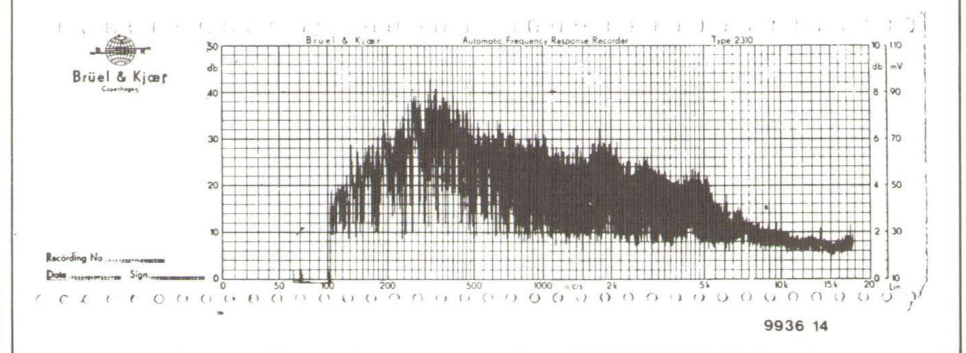
5. Mit einem Lineal zieht man eine horizontale Linie durch die aufgenommene Kurve, die ungefähr in der Mitte zwischen höchstem Peak und niedrigstem Dip verläuft (Bild 11b und 12b). Sie stellt die ideale Charakteristik dar; die notwendigen Korrekturen stehen hiermit fest.

6. Alle Bandfilter des parametrischen Equalizers werden auf maximalen Q-Wert eingestellt. (Ist ein Terz- oder Oktav-Equalizer vorhanden, so können die Punkte 6 bis 13 übersprungen werden). Mit dem Meßfilter des Analyzers wird das erste Peak oder Dip aufgespürt; in Bild 11b ist dies das Maximum zwischen den Meßpunkten 2 und 3. Da es sich um ein Peak handelt, stellt man das erste Bandfilter des Equalizers auf maximale Dämpfung ein. Die Filterfrequenz wird nun langsam verändert, bis der Zeigerausschlag des Analyzer-Anzeigeelements (ziemlich abrupt) zurückfällt. Vorsichtig stellt man die Frequenz des Equalizer-Bandfilters nach, so daß die Anzeige ihr Minimum erreicht. Schließlich wird die Dämpfung des Bandfilters so weit vermindert, daß der angezeigte Wert gerade der gewünschten Nulllinie entspricht.

7. Mit dem Meßfilter des Analyzers wird das folgende Peak oder Dip aufgespürt und auf seine Mittenfrequenz



14



das zweite Equalizer-Bandfilter gesetzt. Wenn dies wie in Bild 11b ein Dip ist, muß das Bandfilter hierbei auf maximaler Verstärkung stehen. Anschließend nimmt man die Verstärkung so weit zurück, daß die Kurve gerade die Nulllinie berührt.

8. Auf die gleiche Weise werden, sofern notwendig, die übrigen Bandfilter auf eventuelle weitere Peaks und Dips eingestellt.

9. Das Meßfilter des Analyzers wird auf die Frequenz eingestellt, bei der das untere Ende der Frequenzcharakteristik deutlich abfällt. In Bild 11b ist dieser Bereich mit einem Pfeil versehen. Die Baxandall-Klangeinstellung des Equalizers ist auf maximale Dämpfung einzustellen und seine Eckfrequenz so zu wählen, daß die Analyzer-Anzeige auf das 0,7-fache des ursprünglich gemessenen Werts zurückfällt.

10. Auf die gleiche Weise wird die Eckfrequenz der Höhereinstellung eingestellt. Mißt man anschließend noch einmal die gesamte Frequenzcharakteristik (was übrigens nicht notwendig ist), so wird sie ungefähr der Kurve in Bild 11c entsprechen.

11. Das Meßfilter des Analyzers ist nun auf eine niedrigere Frequenz einzustellen, die ein Stück tiefer als die für die Einstellung der Baxandall-Tiefeneinstellung zuerst gewählte Frequenz liegt. Die Verstärkung dieses Filters ist so weit zu erhöhen, bis auch hier die Nulllinie erreicht ist. Mit der Baxandall-Höhereinstellung verfährt man in gleicher Weise.

12. Die Frequenz des Meßfilters wird auf die Flanke des ersten Peaks (oder Dips) gesetzt und der Q-Faktor des des zugehörigen (ersten) Equalizer-Bandfilters so verringert, daß die Kurve an dieser Stelle ebenfalls die Nulllinie berührt. Nach dem gleichen Verfahren werden auch die Q-Werte der übrigen Bandfilter auf den richtigen Wert gebracht.

13. Im Idealfall ist der Equalizer damit richtig eingestellt, die Charakteristik sieht dann aus wie in Bild 11e: linear innerhalb des gesamten Analyzer-Meßbereichs. Leider trifft dies nur in Ausnahmefällen tatsächlich zu. In der Regel muß die Einstellprozedur von Punkt 4 an noch einmal in etwas abgewandelter Form wiederholt werden. Der Verlauf der Kurve d in Bild 11

Bild 13. Die Endkontrolle der Einstellung einer Sprachübertragungsanlage kann mit Hilfe dieser Meßanordnung durchgeführt werden.

Bild 14. Die vorangegangenen Bilder zeigten "idealisierte" Frequenzcharakteristiken. Mißt man sehr langsam (15 . . . 20 Minuten für die gesamte Charakteristik) mit einem Sinusgenerator, so sieht die Charakteristik wesentlich anders aus als in Bild 5a. Die hier deutlich sichtbaren scharfen Peaks und Dips lassen sich jedoch nicht korrigieren, so daß es auch wenig Sinn hat, sie zu messen. Die Benutzung eines Rauschgenerators hat dagegen eine "gemittelte" Frequenzcharakteristik zur Folge, auf die es hier ausschließlich ankommt.

Bild 15. Meßanordnung bei einer Hi-Fi-Anlage für den Fall, daß ein zuverlässiges Meßmikrofon zur Verfügung steht.

Bild 16. Bei der Messung einer Hi-Fi-Anlage mit einem Kopfhörer muß eine Möglichkeit vorhanden sein, zwischen Lautsprecher und Kopfhörer umzuschalten und beide gleich laut einzustellen. Diesem Zweck dient die hier angegebene Hilfsschaltung.

macht dies deutlich; sie stellt wahrscheinlich die zu diesem Zeitpunkt meßbare Frequenzcharakteristik dar. Hier lassen sich die folgenden Fehler erkennen:

- Die Eckfrequenz der Baxandall-Tiefeneinstellung wurde zu niedrig gewählt, so daß der Anstieg an dieser Stelle zu steil ist. Abhilfe: Eckfrequenz etwas nach oben verschieben und Verstärkung herabsetzen.
- Die Mittenfrequenz des ersten Bandfilters wurde zu hoch eingestellt. Die Folge ist eine zu hohe Dämpfung und eine zu große Bandbreite dieses Filters. Abhilfe: Alle Einstellungen korrigieren.
- Das zweite Bandfilter ist richtig eingestellt, dagegen liegt die Mittenfrequenz des dritten Filters etwas zu niedrig. Hier ist eine zu hohe Dämpfung und eine zu schmale Bandbreite die Folge.
- Die Eckfrequenz der Baxandall-Höheneinstellung liegt zu niedrig, so daß die Charakteristik am oberen Ende abfällt. Auch hier muß die Einstellung korrigiert werden.

14. Mit einem Terz- oder Oktav-Equalizer vereinfacht sich die Einstellprozedur nicht unbedeutend; hier zeigt sich die einzige wesentliche Stärke dieses Equalizer-Typs. Als Meßfilter wird in diesem Fall ein umschaltbares Terz- (bzw. Oktav-)Filter benutzt. Die Einstellung beschränkt sich darauf, daß nacheinander sämtliche Meßfrequenzen eingeschaltet werden und die Verstär-

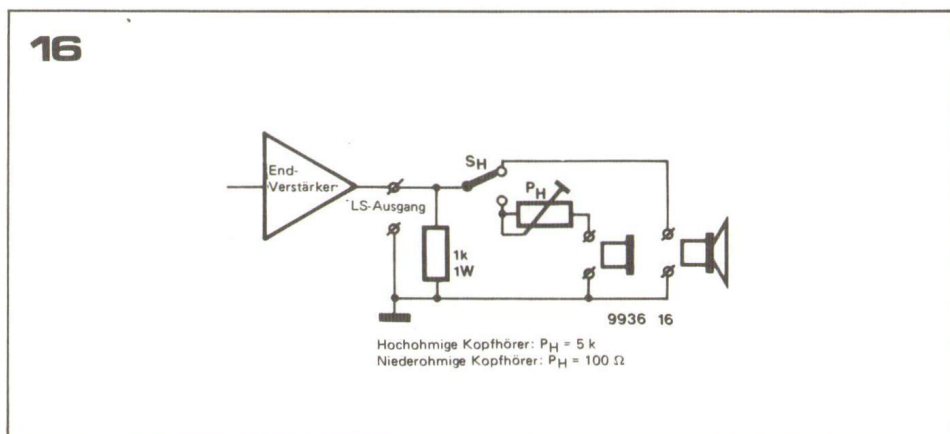
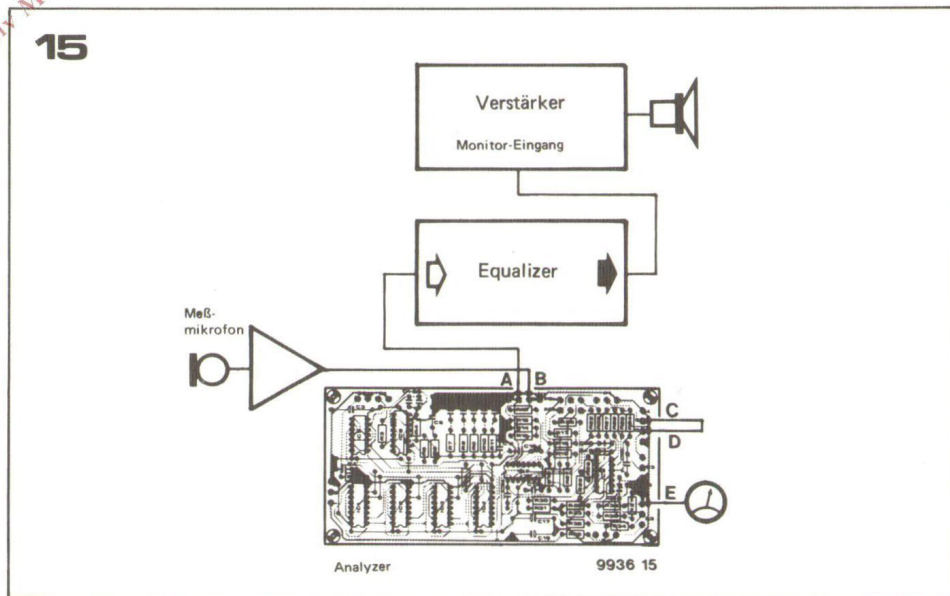
kung der jeweiligen Equalizer-Filt gewählt wird, daß ihre Durchlaßk die Nulllinie berührt. Die resultierende Charakteristik (Bild 12c) weist wie nicht anders erwartet eine gewisse Welligkeit auf; dies ist jedoch bei dieser Anwendung von untergeordneter Bedeutung.

15. Unabhängig vom Typ des verwendeten Equalizers muß nach der Einstellung eine Endkontrolle vorgenommen werden, denn letzten Endes ist das Ziel der Bemühungen die Optimierung der elektroakustischen Anlage und nicht eine gut aussehende Frequenzcharakteristik! Sicherlich ist dies beides eng miteinander verwandt, identisch ist es jedoch nicht. Die Anlage muß vorher in ihre endgültige Form gebracht werden: Punkt A in Bild 9 wird mit dem Eingang des Equalizers verbunden, der Rauschgenerator wird entfernt; das Analyzer-Meßfilter mit dem Anzeigeinstrument bleibt dagegen vorläufig noch an Punkt A angeschlossen (siehe Bild 13). Die Lautstärke der Anlage wird nun so weit erhöht, bis die akustische Rückkopplung einsetzt. Mit dem Meßfilter läßt sich leicht die Schwingfrequenz ausfindig machen; die Verstärkung des zu dieser Frequenz gehörenden Equalizer-Filters nimmt man etwas zurück. Nun muß die Anlage nach Einsetzen der Rückkopplung auf einer oder mehreren anderen Frequenzen schwingen. Ist dies tatsächlich der Fall, so wurde der Equalizer optimal eingestellt. Schwingt jedoch die Anlage auf der gleichen Frequenz, so ist die Equalizer-Einstellung nicht optimal; das Ganze muß dann noch einmal Punkt für Punkt überprüft werden . . .

16. Wenn mehrere Mikrofone zum Einsatz kommen, wurden die bisherigen Arbeiten nur mit dem Hauptmikrofon durchgeführt. Die Charakteristik muß in diesem Fall nochmals wie unter Punkt 4 beschrieben mit jedem der Mikrofone einzeln gemessen werden. Verlaufen diese Charakteristiken (eingermaßen) linear, so ist die Anlage einsatzbereit; anderenfalls sind noch einige weitere Korrekturen notwendig. Auch hier gibt es verschiedene Möglichkeiten. Ist ein Mikrofon an die Anlage angeschlossen, daß nicht vom gleichen Typ wie das Hauptmikrofon ist, so muß ein Austausch erwogen werden. Bei weniger stark in Erscheinung tretenden Unterschieden kann eine einfache Korrektur (ein Equalizer-Bandfilter) pro Mikrofon genügen. Ein eventuelles Dip in den Charakteristiken der anderen Mikrofone fällt weniger ins Gewicht als ein Peak! Auch ein Kompromiß ist möglich: Man schaltet sämtliche Mikrofone ein und optimiert die Equalizer-Einstellung für diesen Betriebsfall.

Eine letzte Bemerkung sei noch hinzugefügt: Bisher war stets von einem Rauschgenerator als Testsignalquelle die Rede. Dies geschah nicht ohne Grund. Mißt man nämlich den Frequenzgang mit einem Sinus-

Herstellervon
Michael Otto



generator, so wird die Charakteristik wesentlich anders als in Bild 5a aussehen. Bild 14 zeigt, was hierbei herauskommt. Diese Frequenzcharakteristik besteht aus unzähligen Peaks und Dips, deren Frequenz sich nur um wenige Hertz unterscheidet; die Amplitudendifferenzen betragen jedoch 20 ... 30 dB! Diese Peaks und Dips sind prinzipieller Natur, sie können nicht korrigiert werden. Bei Charakteristiken, die mit einem Sinusgenerator aufgenommen wurden, stellt die Verbindung aller Maxima (Spitzen der Peaks) die Frequenzcharakteristik im bisherigen Sinn dar. Sowohl die Mittelwerte als auch die Minima in Bild 14 sind wenig von Bedeutung: Für die akustische Rückkopplung ist stets die Lage und die Höhe der Peaks entscheidend! So ist auch die Bemerkung unter Punkt 15 zu verstehen: Messungen mit dem Rauschgenerator führen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, stets zum Ziel; extrem hohe Peaks können hierbei jedoch übersehen werden. Ein Sinusgenerator verhilft zwar zu genaueren Meßergebnissen, in der Praxis ist dieses Meßverfahren jedoch auch weitaus zeitraubender oder kostspieliger. Außerdem muß dabei sichergestellt sein, daß nur die Spitzen der Peaks den Gang der Frequenzcharakteristik in der Grafik bestimmen.

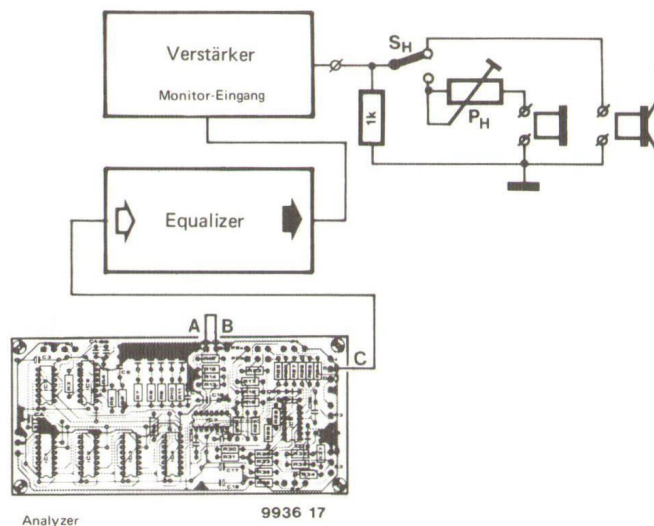
Im Wohnraum

Um einen Equalizer in eine Hi-Fi-Anlage zu integrieren, muß ebenso wie bei Sprachübertragungsanlagen zuerst untersucht werden, an welchem Punkt die Übertragungskette aufgetrennt und der Equalizer eingefügt werden kann. Zahlreiche Hi-Fi-Verstärker besitzen serienmäßig einen Monitor-Anschluß, der sich, wie schon erwähnt, hierfür fast immer eignet. Fehlt der Monitor-Anschluß, so wird er am besten nachträglich eingebaut (siehe Bild 9). Für HiFi-Stereo-Anlagen wird natürlich ein Stereo-Equalizer benötigt, der aus zwei voneinander unabhängigen Mono-Equalizern besteht. Quadro-Freunde brauchen nicht beunruhigt zu sein: Im allgemeinen ist das Zuschalten von Equalizern für die hinteren Kanäle der Quadro-Anlage wenig sinnvoll. Nach der Installation stehen für die Einstellung des Equalizers auch hier wieder mehrere Wege offen. Am besten läßt sich dies mit dem an anderer Stelle in diesem Heft beschriebenen Audio-Analyser und einem Meßmikrofon bewerkstelligen. Doch auch andere Methoden, bei denen der Analyzer nur teilweise oder überhaupt nicht benötigt wird, führen zum Ziel. Dann sollte man jedoch über einen möglichst hochwertigen Kopfhörer verfügen. Nachfolgend wird beschrieben, wie man im einzelnen vorgeht:

Mit Analyzer und Meßmikrofon

Diese Einstellmethode ist im wesentlichen mit der zuvor beschriebenen Einstellung bei Sprachübertragungsanlagen identisch. Unter "Meß-

17



mikrofon" ist hier ein Mikrofon zu verstehen, dessen Frequenzgang mit guter Näherung linear verläuft, so daß sich keine gravierenden Meßfehler einschleichen können. Die meisten Mikrofone der gehobeneren Preisklasse, die für den Anschluß an Spulen-Tonbandgeräten vorgesehen sind, erfüllen die genannte Bedingung; auch das im Dezember 1977 in Elektor beschriebene Electret-Mikrofon mit Vorverstärker ist geeignet.

Die Meßanordnung ist in Bild 15 skizziert. Das Mikrofon muß sich in "idealer" Hörposition befinden; Akustische Störquellen sperrt man vor Beginn der Messung vorsorglich aus. Es folgt die gleiche Meß- und Einstellprozedur, die bereits zuvor für die Korrektur von Sprachübertragungsanlagen Gültigkeit hatte, jedoch mit einem wichtigen Unterschied: Wie bereits erwähnt, sind Peaks und Dips im Bereich zwischen ca. 300 Hz und 5 kHz von der Korrektur ausgenommen. Allerdings war es bisher nicht erforderlich, die Frequenzeinstellung des Analyzer-Meßfilters in Hertz zu eichen, so daß die Grenzen des genannten Bereichs nicht ohne weiteres bekannt sind. Glücklicherweise lassen sich diese mit ausreichender Genauigkeit auch anders bestimmen. Auf den im Fachhandel erhältlichen Testplatten sind meistens Sinus- oder Rauschsignale mit definierter Frequenz (bzw. definiertem Frequenzband) aufgenommen; bei einem Klavier oder dem 8'-Register einer elektronischen Orgel entspricht der Frequenz 300 Hz ungefähr der Ton d^1 (das d über dem c in der Mitte) und der Frequenz 5 kHz ungefähr der Ton e^5 (das vier Oktaven höher liegende e). In Bild 3a war ein Dip bei ca. 1600 Hz zu finden. Wenn an diesem Dip die Raumakustik schuld ist, darf es nicht korrigiert werden; hat das Dip dagegen

seine Ursache in den Eigenschaften der Lautsprecherbox, so ist eine Korrektur erlaubt. Hierüber gewinnt man am besten Klarheit, indem man den Lautsprecher in zwei verschiedenen Räumen mißt. Akustisch eignet sich dazu das Badezimmer; natürlich muß dort besonders streng auf elektrische Sicherheit geachtet werden! Wenn das gleiche Dip auch in dieser Umgebung auftritt, darf man mit Sicherheit annehmen, daß der Lautsprecher selbst die Ursache ist; das Dip darf in diesem Fall korrigiert werden.

Da eine Stereo-Anlage (im Prinzip) aus zwei elektroakustisch voneinander unabhängigen Mono-Anlagen besteht, muß auch die Equalizer-Einstellung zweimal vorgenommen werden: einmal für den linken Kanal, wobei der rechte Kanal vollständig außer Betrieb ist, und einmal für den rechten Kanal, wobei der linke Kanal schweigt. Im allgemeinen reicht es aus, das Rauschsignal nur dem zu messenden Kanal zuzuführen und mit dem Balance-Einsteller am Anschlag den anderen Kanal zu blockieren. Eventuelles unerwünschtes Übersprechen zwischen den Kanälen kann dann die Messung kaum beeinflussen.

Mit Testplattenrauschen

Vom Handel werden diverse Testplatten angeboten, auf denen auch Frequenzbänder mit Rosa Rauschen aufgenommen sind. Eine solche Platte kann den Rauschgenerator des Analyzers ersetzen. Die Einstellung ist zwar etwas schwieriger, da jeweils die richtige Rille auf der Platte gesucht werden muß, die Meßgenauigkeit leidet hierdurch jedoch nicht.

Mit reinen Sinussignalen

Prinzipiell läßt sich auch ein Sinusgenerator oder eine Testplatte mit reinen Sinussignalen verwenden. Aller-

18

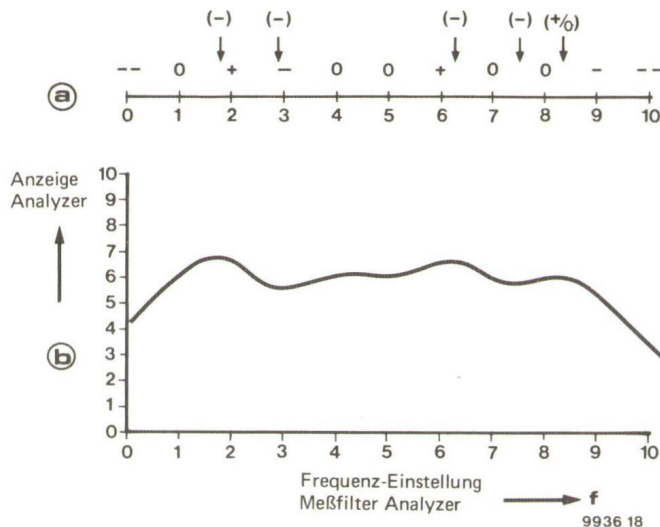


Bild 17. Diese Meßanordnung ermöglicht das Einstellen des Equalizers mit Hilfe eines Kopfhörers.

Bild 18. Bei Messungen durch Hörvergleich lassen sich natürlich keine exakten Aussagen über die Höhe von Peaks und Dips machen. Die Ergebnisse des Hörvergleichs werden zum Beispiel wie in 18a angegeben notiert: ++ für "Lautsprecher sehr viel lauter als Kopfhörer", 0 für "beide gleich laut" usw. Gleichzeitig kennzeichnet man die Spitzen von Peaks und Dips durch Pfeile. Die von dieser Aufzeichnung abgeleitete Charakteristik sieht dann ungefähr so aus wie in Bild 18b.

dings ist in der Praxis hiervon abzuraten. Im Zusammenhang mit der Beschreibung der Equalizer-Einstellung bei Sprachübertragungsanlagen wurde bereits darauf hingewiesen, daß die tatsächliche Frequenzcharakteristik aus einer dichten Aufeinanderfolge von Peaks und Dips besteht (Bild 14). Wenn ein Sinusgenerator als Signalquelle benutzt wird, treten diese Peaks und Dips natürlich bei der Messung in Erscheinung. Es muß dann die "gemittelte" Frequenzcharakteristik bestimmt und korrigiert werden, wobei eine geringe Drift oder falsche Einstellung des Sinusgenerators zu Differenzen von 5 . . . 10 dB führt. Hier ist deshalb mit stark erhöhter Sorgfalt ans Werk zu gehen — oder aber überhaupt nicht.

Mit dem Kopfhörer

Wem die Anschaffung eines Meßmikrofons mit Vorverstärker nur für den Zweck der Equalizer-Einstellung nicht lohnenswert erscheint, der kann statt dessen auch von einem qualitativ hochwertigen Kopfhörer Gebrauch machen, hiermit kommt man nämlich fast ebenso gut zum Ziel. Zumindest schwierig gestaltet sich der Einstellvorgang allerdings mit einem sogenannten "offenen" Kopfhörer; er schließt die Ohren akustisch nicht von der Umwelt ab, so daß neben den Tönen aus dem Kopfhörer auch andere Geräusche lautstark wahrnehmbar sind.

Bild 16 zeigt, wie der Kopfhörer anzuschließen ist. Es muß eine Umschaltmöglichkeit zwischen Lautsprecher und Kopfhörer geschaffen werden; ferner läßt sich die Lautstärke des Kopfhörers mit dem veränderbaren Widerstand nach Gehör auf das gleiche Niveau wie das vom Lautsprecher einstellen. Da Schalter und Poti vom Platz des Zuhörers aus bedient werden müssen,

ist für einen ausreichenden Leiterquerschnitt der verschiedenen Kabel Sorge zu tragen.

Die Meßanordnung geht aus Bild 17 hervor. Auch hier läßt sich an Stelle des Analyzer-Rauschgenerators und des -Meßfilters eine Testplatte mit Rosa Rauschen verwenden, wenn man die damit verbundenen Unbequemlichkeiten in Kauf nimmt. Die Anzeigeeinheit des Analyzers wird hier nicht benötigt, da ja auch das Meßmikrofon fehlt! Seine Funktion übernimmt bei dieser Methode das Gehör, was zwar einige Konzentration erfordert, jedoch insgesamt betrachtet recht gute Ergebnisse hervorbringt.

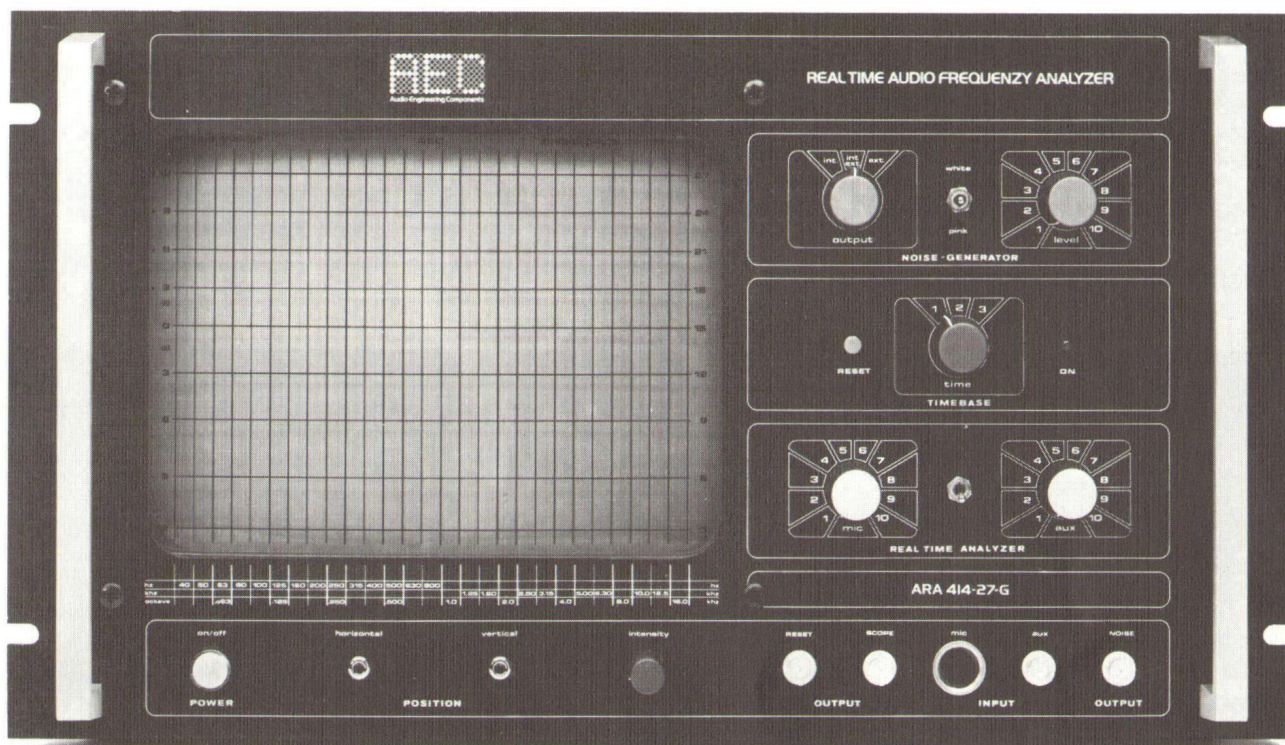
Die Einstellung geht in diesem Fall wie folgt vor sich:

1. Das Meßfilter des Analyzers ungefähr in die Mitte seines Bereichs einstellen und mit Schalter S_H (siehe Bild 17) in Stellung "Lautsprecher" das Rauschsignal mit Zimmerlautstärke ertönen lassen. Eine zu hohe Lautstärke wirkt sich nicht nur störend aus, sie gefährdet auch die Lautsprecher!

2. Vorwiderstand P_H auf maximalen Widerstand stellen, Schalter S_H in Stellung "Kopfhörer" setzen und anschließend P_H so einstellen, daß das Rauschsignal aus dem Kopfhörer ebenso laut ertönt wie zuvor aus dem Lautsprecher.

3. Mit dem Meßfilter des Analyzers langsam den gesamten Frequenzbereich abtasten und Punkt für Punkt das Signal aus dem Lautsprecher mit dem Kopfhörersignal vergleichen. Hierbei die beobachteten Lautstärkedifferenzen notieren, zum Beispiel "Lautsprecher sehr viel lauter", "lauter", "gleich laut" usw. Außerdem die Lage der höchsten bzw. niedrigsten Punkte von Peaks und Dips festhalten. Eine geeignete Methode für das Registrieren der Beobachtungen ist in Bild 18a angegeben, Bild 18b zeigt die dazugehörige Charakteristik. Der Equalizer kann nun auf die bereits beschriebene Weise eingestellt werden, wobei in diesem Fall die Nulllinie (Lautsprecher und Kopfhörer gleich laut) als ideale Charakteristik dient. Auch hier darf der mittlere Frequenzbereich, von der genannten Ausnahme abgesehen, nicht korrigiert werden. Kurz zusammengefaßt verläuft der übrige Einstellvorgang wie folgt:

4. Alle Bandfilter der Equalizers auf maximalen Q-Wert einstellen. Mit dem Meßfilter des Analyzers das erste Peak aufsuchen (in Bild 18 liegt dieses zwischen den Meßpunkten 1 und 2); das erste Bandfilter des Equalizers auf maximale Dämpfung einstellen und seine Mittenfrequenz mit der Mitte des Peak zur Deckung bringen; die Dämpfung des Filters so wählen, daß Lautsprecher und Kopfhörer genau gleich laut klingen. In gleicher Weise die anderen Bandfilter auf eventuelle weitere Peaks und Dips der Randbereiche einstellen (in Bild 18 fallen offensichtlich die übrigen Peaks und Dips in den von der Korrektur ausgenommenen mittleren Bereich).



© beim Hersteller
Archiv Michael C

5. Mit dem Kopfhörer die Frequenz am unteren Ende des Bands suchen, bei der der Lautsprecher merklich leiser zu klingen beginnt als der Kopfhörer (in Bild 18 in der Nähe von Meßpunkt 1); die Baxandall-Tiefeneinstellung des Equalizers auf minimale Frequenz und maximale Dämpfung einstellen; anschließend die Eckfrequenz langsam erhöhen, bis der Lautsprecher gerade noch ein wenig leiser klingt. Auf die gleiche Weise auch die Höhenanhebung einstellen (der Bezugspunkt liegt in Bild 18 ungefähr bei Meßpunkt 9).

6. Das Meßfilter auf die niedrigste Frequenz einstellen und die Verstärkung der Tiefeneinstellung so weit anheben, bis Lautsprecher und Kopfhörer gleich laut klingen. Ebenso die Höheneinstellung betätigen.

7. An den Flanken des ursprünglich ersten Peaks sind jetzt zwei neue Peaks zu finden. Das Meßfilter auf eins der neuen Peaks einstellen und den Q-Faktor des ersten Bandfilters so weit zurücknehmen, bis dieses Peak verschwunden ist. Gegebenenfalls mit den übrigen Bandfiltern ebenso verfahren.

8. Mit dem Meßfilter noch einmal langsam das gesamte Band durchstimmen und kontrollieren, ob alle Einstellungen richtig sind; einige

Foto 2. Beispiel eines für den Hobby-Elektroniker kaum erschwinglichen Industriegerätes der Firma AEC: Frequency Analyzer, Typ AEC 414. Es handelt sich hier um einen Echtzeit-Analyzer, der das Audio-Frequenzspektrum in Terzschritten auf einem Skopschirm sichtbar macht. Zur Weiterverarbeitung der Daten können z. B. ein Drucker, Schreiber oder ein Rechner angeschlossen werden.

kleinere Korrekturen werden meistens noch notwendig sein! Die Anlage ist danach betriebsbereit, so daß der ausschlaggebende und wichtigste Endtest stattfinden kann: geeignete Musik einstellen und hören, ob der Klangeindruck tatsächlich besser als zuvor ist!

Literatur:

J. Moir: Interactions of loudspeakers and rooms. Wireless World, Juni 1977.

Brüel & Kjaer: Relevant Hi-Fi-test at home. Paper at the 47th Audio Engineering Society Convention. Ebenfalls erhältlich als Brüel & Kjaer Applikationsbericht.

Brüel & Kjaer: Hi-Fi-tests with 1/3 octave, pink weighted, random noise. Brüel & Kjaer Applikationsbericht Nr. 13-101.

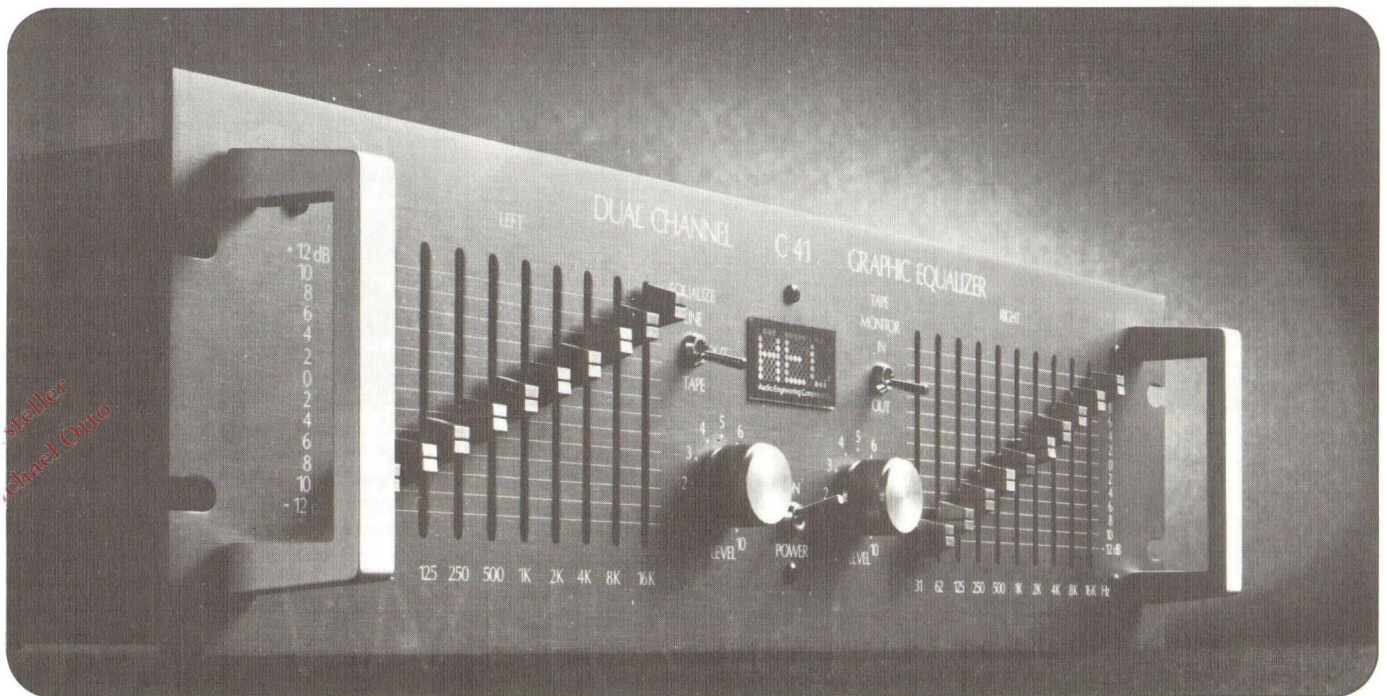
Philips: Sound equalization using Philips K and Q-Filters. ELA application note 17.8100.35.331011.

Verschiedene Artikel zum Thema "Equalizer", "Analyzer" usw. in Elektor, Juni 1977, Dezember 1977 und in der vorliegenden Ausgabe.

AEC C-41 Graphic Equalizer

The Ultimate in Tone Control

for natural live performance sound



Besonderheiten

- Individuelle Oktav-Kontrollen pro Kanal
- Öl-gedämpfte, lineare Schiebepotentiometer größter Auflösung für optimale Genauigkeit
- Neueste Technologie bei größtem Bedienungskomfort
- Ansteuerung jeder Last, ungeachtet der Frequenzgang-Korrekturstellung
- Niedrigste Verzerrungen - weniger als 0,01% THD und IM
- Optimaler Signal/Rauschabstand - größer als 90 dB
- 5 Jahre Voll-Garantie auf Teile und Arbeit

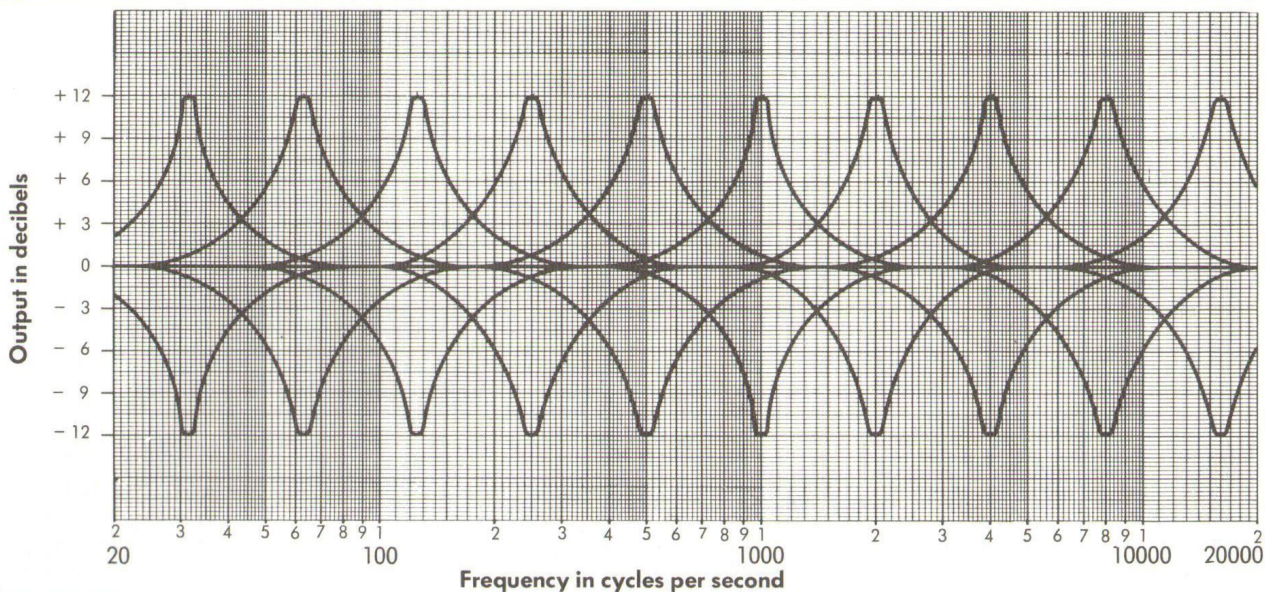
Ernsthafte HiFi-Liebhaber haben schon seit langem erkannt, welche Einschränkung es bedeutet, nur zwei Klangregler für den gesamten Audiobereich zur Verfügung zu haben. Das Gesamtverhalten einer Anlage kann mit einem Höhen- und Tiefenregler allein nur sehr grob und pauschalierend beeinflusst werden. Was dagegen oftmals benötigt wird, ist die Möglichkeit, den Frequenzgang gezielt, d. h. innerhalb eines schmalen Bandes anheben oder abschwächen zu können. Auf diese Weise können Schwachstellen des Programmmaterials oder der Raumakustik und Unausgeglichenheit im Frequenzgang der Lautsprecher oder des Verstärkers kompensiert werden. Derartige Geräte finden als sogenannte Oktav-Equalizer breite Anwendung in teuren professionellen Aufnahme- und Wiedergabesystemen.

Features

- Individual Octave Controls for each channel
- Long throw, oil-damped linear slide pots for greater accuracy
- Advanced technology and switching facilities
- Capable of driving any load at any equalization setting
- Low distortion, less than 0,01% THD and IM
- Low Noise - greater than 90 dB
- 5-year parts and labor Service Contract

Audio perfectionists have long recognized the limitations of the typical bass and treble controls found on preamplifiers, integrated amplifiers and receivers. These controls alter the tonal response of half of the entire audio spectrum with just one turn of a knob. More often than not, what is needed in a system is a specific "boost" or "cut" for a narrow range of frequencies to compensate for speaker system deficiencies, room acoustic problems or frequency response limitations in associate components or in the program source itself.

Thus a new category of components, called graphic equalizers, is becoming increasingly popular with demanding audiophiles. These equalizers, in octave and 1/3 octave format, have been in use for some time by the sound reinforcement segment of the audio industry to "equalize" the output of public-address systems installed in large theaters and auditoriums for best performance.



Einige Geräteigenschaften seien besonders herausgestellt:

- Der AEC C-41 verfügt über einen Regler zur Pegelanpassung, mit dem eine Verstärkungsregelung bis +6 dB möglich ist. Eingangssignale bis +21 dBm können ohne Begrenzung verarbeitet werden.
- Jeder Regler kann in jede Position bewegt werden, ohne daß eine Instabilität oder ein Störgeräusch auftritt. Dies ermöglicht die Verwendung dort, wo Einstellungen während des Betriebes vorgenommen werden müssen, z. B. auf der Bühne.
- Hochwertige Schiebepotentiometer ermöglichen das Verändern der Filtercharakteristik innerhalb einer Oktave. Optimales Sperr/Durchlaßverhalten wird durch eine spezielle Konfiguration von aktiv gekoppelten LCR-Elementen erzielt.
- Der Equalizer kann während des Betriebs über den Bypass-Schalter in den Signalweg geschaltet oder aus diesem entfernt werden. Weiterhin besteht die Möglichkeit, die Equalizerfunktion durch einfaches Umschalten an der Frontplatte zwischen dem Hauptausgang und „Tape“-Ausgang zu variieren.
- Die Eingangsimpedanz beträgt 10 kOhm. Eine schaltbare 15 dB Abschwächung ermöglicht den Anschluß von Signalquellen mit kleinem Ausgangspegel ohne Verschlechterung des Signal/Rauschabstandes.
- Die Ausgangsstufe verwendet einen Operationsverstärker mit hoher Slewrate und geringer Ausgangsimpedanz, der gleichbleibenden Pegel und Verzerrungsarmut, auch bei wechselnder Belastung, garantiert.
- Ein- und Ausgänge verfügen über Cinch- und DIN-Anschlüsse.

Alle Bauteile sind von hoher Präzision und Lebensdauer. Die Geräte durchlaufen vor der Endabnahme und dem Burn-In mehrere Tests in den einzelnen Phasen des Zusammenbaus. Ihr professioneller Standard bezüglich Qualität und Lebenserwartung findet seinen Niederschlag in der von AEC gewährten 5-Jahres-Garantie auf Teile und Arbeit.

The AEC Graphic Equalizer has been designed to meet the stringent specifications demanded by professional users, where exceptionally low noise and distortion figures are of prime importance.

- The C-41 has an input level control which can be set to provide up to 6 dB of gain. Signal levels of +21 dBm can be handled without output clipping.
- All controls may be adjusted at any time without causing circuit instability or switching transients, or adding noise. This important feature allows adjustment to be made unnoticeably, even during live performances.
- 60 mm low noise linear potentiometers are used to control filter response, each smoothly cutting or boosting a narrow band of frequencies within the audio spectrum. Optimal band pass/stop characteristics have been achieved by using actively coupled LCR filters in a special configuration.
- Equalization of either tape or line output is selected by a front panel switch. No change of cable connections is necessary.
- Equalization can be switched in and out of the circuit by using the front panel bypass switch. This is noiseless and can be used during live programs.
- The C-41 input is directly coupled to the level control and provides a constant resistive impedance of 10 kOhms; ideal for standard signal sources. An output pad can be switched externally to provide 15 dB of cut, for operation at low levels without increased noise.
- Exceptional output performance is achieved by using an operational-amplifier having a very low output impedance together with a high slew-rate. The output level is constant over a wide range of loads, without affecting distortion specifications.
- Both RCA and DIN type connectors are used for audio inputs and outputs. A grounded connector is used for the AC input.

Selected computer grade materials and precision components are used throughout. Each unit is rigorously tested at various stages of manufacture, prior to a final specification test and burn-in period.

The specifications and performance of the AEC C-41 Graphic Equalizer are the direct result of the basic good design, skillful engineering and strict quality control evident in all of the quality products bearing the AEC name, and backed by the AEC 5-year parts and labor Service Contract.

AUDIO
Box 56 02 29
INT'L
6 Frankfurt 56
W. Germany