

Audio-Noise-Generator ANG 7000 Teil 2

Die Schaltungstechnik und den Nachbau dieses Labor-Rauschgenerators sowie verschiedene Anwendungsbeispiele beschreibt der abschließende Teil dieses Artikels.

Allgemeines

Im ersten Teil dieser Artikelserie haben wir die Grundlagen zur Signalerzeugung im ANG 7000 detailliert vorgestellt. Anhand verschiedener Dimensionierungsüberlegungen zur wichtigsten Schaltungsstufe im ANG 7000, der Rauschquelle, konnte eine optimale Dimensionierung gefunden werden.

Wir wollen nun die übrige Schaltungstechnik des Audio-Noise-Generators ANG 7000 sowie den Nachbau beschreiben. Im Anschluß hieran sollen Beschreibungen zu den Anwendungsbereichen und den Meßmöglichkeiten folgen.

Schaltung

Abbildung 4 zeigt das Schaltbild des ANG 7000. Am linken, oberen Schaltbild befindet sich mit der Schaltung um das IC 3 die eigentliche Rauschquelle. Da wir diesen Schaltungsteil bereits im ersten Teil detailliert beschrieben haben, können wir an dieser Stelle gleich am Ausgang (Pin 7) des IC 3 B, d. h. am Ausgang der Rauschquelle fortfahren. Hier steht eine lineare Rauschspannung im Frequenzbereich von ca. 1 Hz bis 50 kHz mit einer Amplitude von $1 \mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Durch den nachgeschalteten Operationsverstärker IC 4 mit Zusatzbeschaltung erfolgt zunächst eine Signalverstärkung mit dem Faktor 30,3, wobei die Verstärkung mit den Widerständen R 8 und R 5 festgelegt ist. Um hier keinen zu großen Abfall der Verstärkung bei höheren Frequenzen in Kauf nehmen zu müssen, wurde mit dem OP037 ein schneller und hochwertiger Operationsverstärker eingesetzt.

Bevor nun eine weitere Signalverstärkung erfolgen kann, muß zunächst der mögliche Gleichspannungsanteil, hervor-

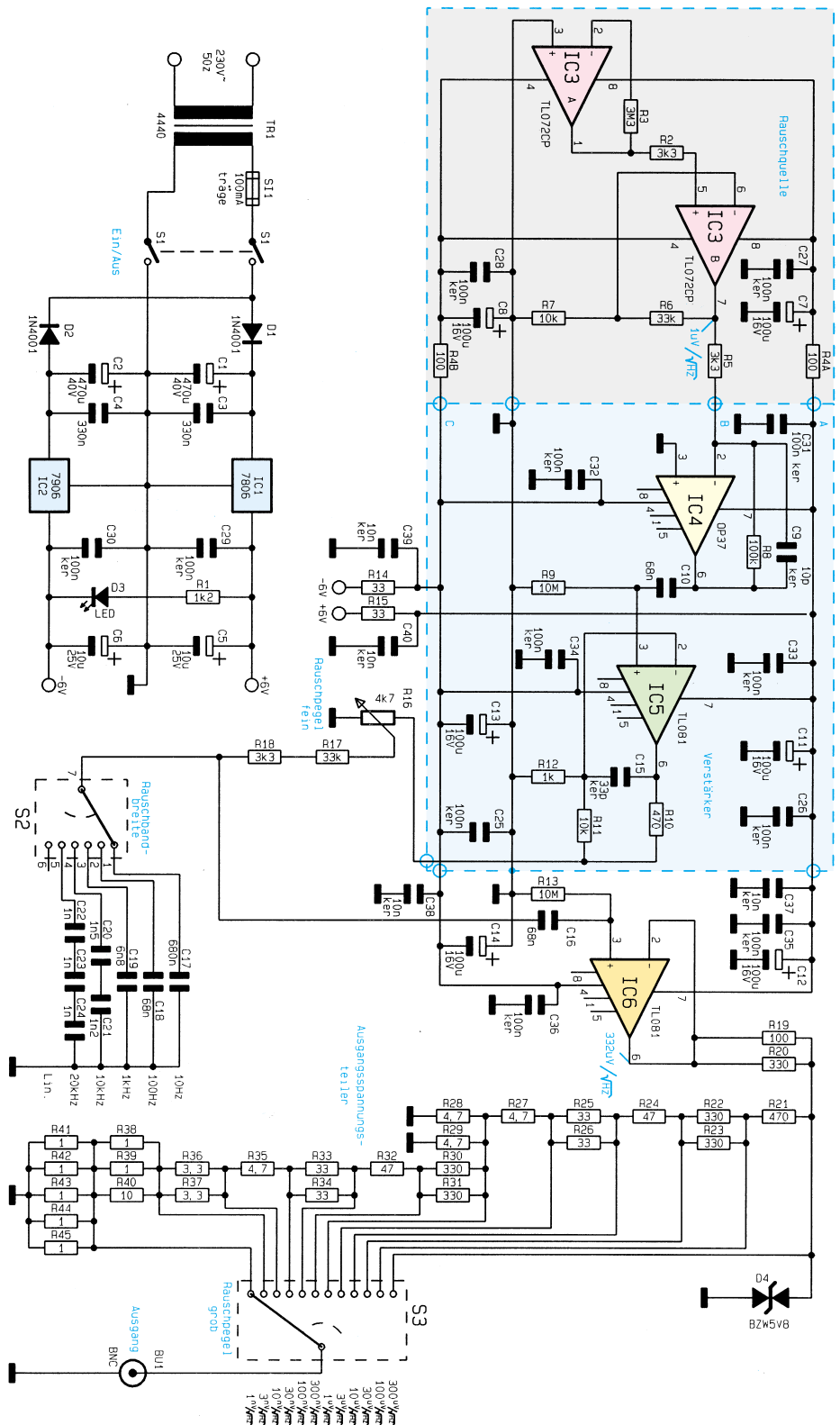
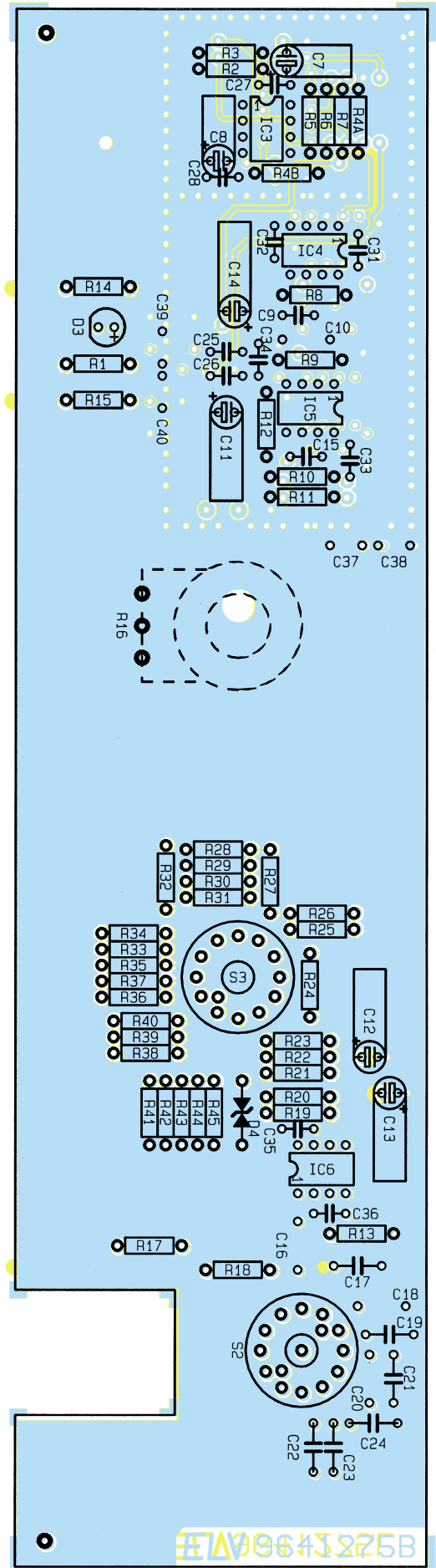
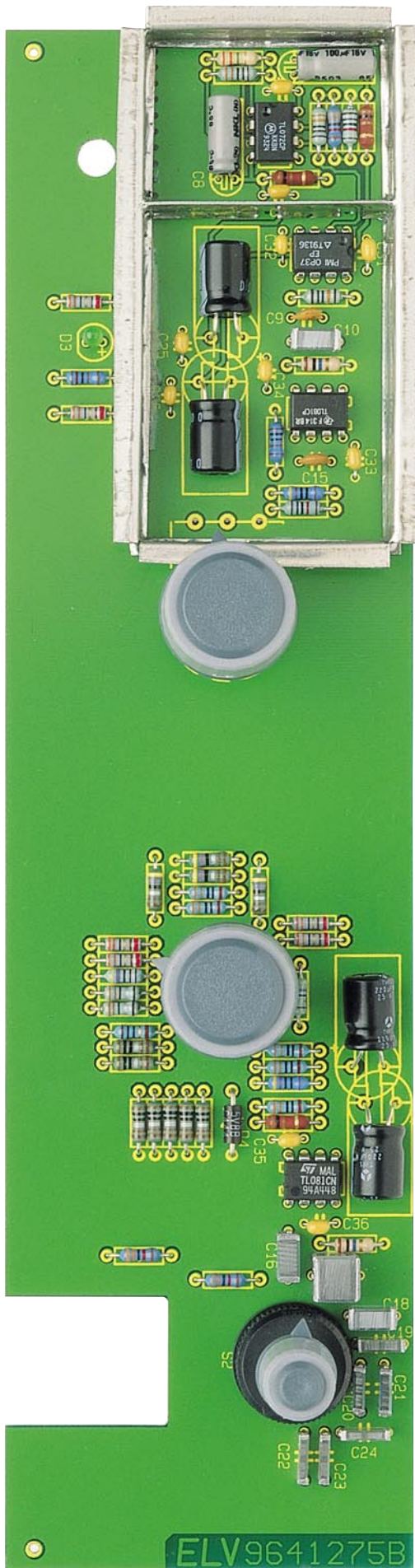


Bild 4: Schaltbild des Audio-Noise-Generators ANG 7000



Ansicht der fertig bestückten Frontplatine mit zugehörigem Bestückungsplan



Ansicht der fertig bestückten Basisplatine

Stückliste: Audio-Noise-Generator ANG 7000

Widerstände:

1Ω	.....	R38, R39, R41-R45
3,3Ω	.....	R36, R37
4,7Ω	.....	R27-R29, R35
10Ω	.....	R40
33Ω	... R14, R15, R25, R26, R33, R34	
47Ω	.....	R24, R32
100Ω	.....	R4A, R4B, R19
330Ω	.....	R20, R22, R23, R30, R31
470Ω	.....	R10, R21
1kΩ	.....	R12
1,2kΩ	.....	R1
3,3kΩ	.....	R2, R5
10kΩ	.....	R7, R11
33kΩ	.....	R6, R17, R18
100kΩ	.....	R8
3,3MΩ	.....	R3
10MΩ	.....	R9, R13
Poti, 6mm, 4,7kΩ	.....	R16

Kondensatoren:

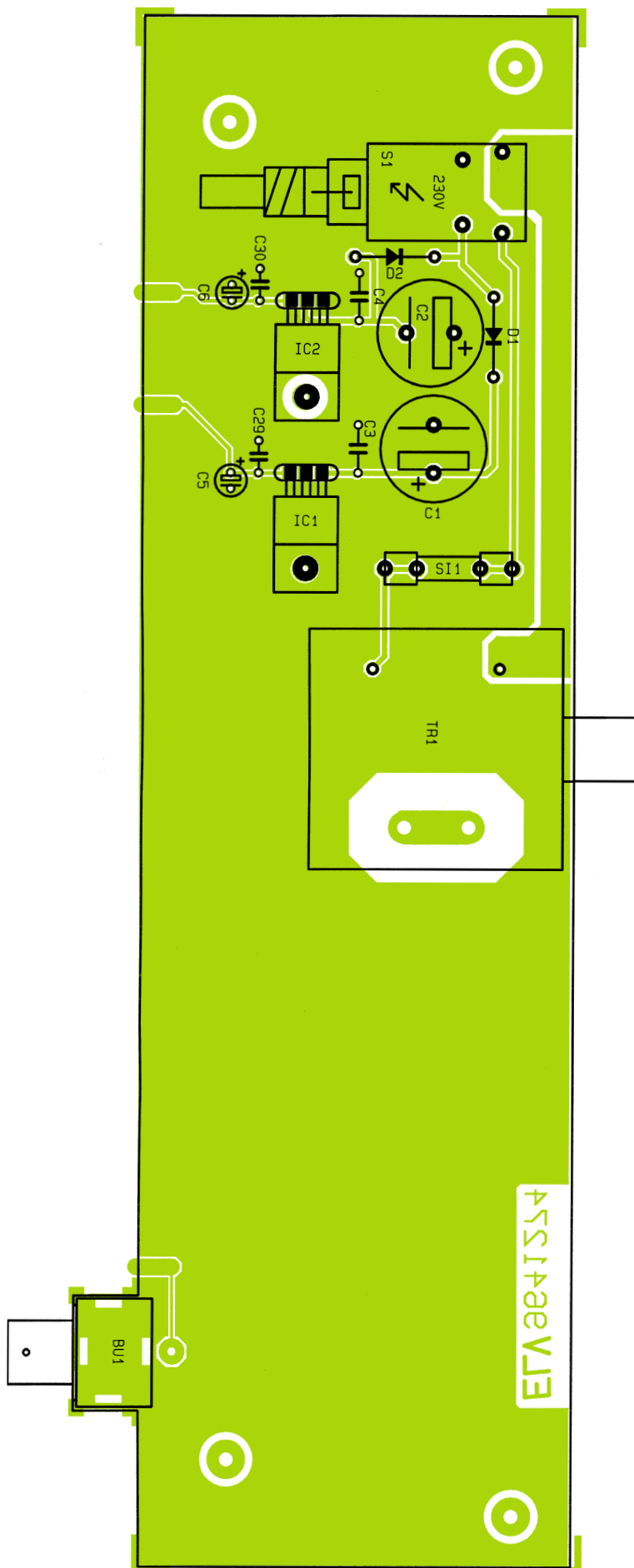
10pF/ker	.....	C9
33pF/ker	.....	C15
1nF	.....	C22-C24
1,2nF	.....	C21
1,5nF	.....	C20
6,8nF	.....	C19
10nF/ker	.....	C37-C40
68nF	.....	C10, C16, C18
100nF/ker	.....	C25-C36
330nF	.....	C3, C4
680nF	.....	C17
10µF/25V	.....	C5, C6
100µF/16V	.....	C7, C8, C11-C14
470µF/40V	.....	C1, C2

Halbleiter:

7806	.....	IC1
7906	.....	IC2
TL072CP	.....	IC3
OP37	.....	IC4
TL081	.....	IC5, IC6
1N4001	.....	D1, D2
BZW06-5,8V	.....	D4
LED, 3mm, grün	.....	D3

Sonstiges:

- Trafo mit Netzleitung 12V/330mA..TR1
- Miniatur-Präzisionsdrehgeber,
2 Stromkreise, 6 Stellungen S2
- Miniatur-Präzisionsdrehgeber,
1 Stromkreis, 12 Stellungen S3
- BNC-Einbaubuchse, Print BU1
- Shadow-Netzschalter S1
- Sicherung, 100mA, träge SI1
- 1 Platinensicherungshalter (2 Hälften)
- 1 Adapterstück
- 1 Verlängerungsachse
- 1 Druckknopf
- 2 Zylinderkopfschrauben, M3 x 8mm
- 2 Muttern, M3
- 2 Lötstifte, 1,3mm
- 2 Abschirmgehäuse, komplett
- 50cm Kantenprofil, 5mm
- 3 Drehknöpfe
- 3 Deckel
- 3 Pfeilscheiben
- 3 Gewindestifte M3x4 mm



Bestückungsplan der Basisplatte

gerufen durch die Gleichspannungs-Offsets der vorgeschalteten OPs, abgetrennt werden. Diese Aufgabe übernimmt C 10 in Verbindung mit R 9. IC 5 nimmt eine weitere Signalverstärkung auf ca. $333\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ vor. Anschließend gelangt das Rauschsignal auf den Feineinsteller für die Rauschamplitude R 16.

Mit den vom Schleifer R 16 abgehenden Widerständen R 17, R 18, dem Drehschalter S 2 sowie den Kondensatoren C 17 bis C 24 ist ein in 5 Stufen schaltbares Tiefpaßfilter realisiert, mit den Grenzfrequenzen von 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz und 20 kHz.

In der Stellung 6 steht der volle lineare Frequenzgang bis ca. 40 kHz (begrenzt im wesentlichen durch IC 5, 1dB-Abfall bei 40 kHz) zur Verfügung.

Vorletzte Schaltungsstufe im ANG 7000 ist der Spannungsfolger IC 6, der den Ausgangsspannungsteiler R 21 bis R 45 niederohmig ansteuert. Dieser ist so bemessen, daß mit leicht erhältlichen Normwerten der E6-Reihe eine präzise Teilung auf die angegebenen Grob-Bereiche erfolgt. Wichtig ist, daß die Widerstände besonders in den unteren Bereichen möglichst niederohmig sind, damit nicht bereits deren thermisches Rauschen die Signale verfälscht.

Mit dem Stufen-Drehschalter S 3 erfolgt der Teilerabgriff, womit bei voll aufgedrehtem Feinregler (R 16) Rauschspannungen von $300\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$ bis $1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ an der Ausgangsbuchse BU 1 des ANG 7000 verfügbar sind.

Die Spannungsversorgung des Rauschgenerators erfolgt mit dem im linken unteren Bereich des Schaltbildes eingezeichneten 230V-Netzteil.

Sämtliche Operationsverstärker des ANG 7000 werden mit einer erdsymmetrischen Betriebsspannung von $\pm 6\text{V}$ betrieben. Die Spannungsstabilisierung erfolgt hierbei mit dem Festspannungsregler IC 1 für die positive und mit IC 2 für die negative Versorgungsspannung.

Nachbau

Aufgrund der übersichtlich gestalteten Leiterplatten in Verbindung mit den Bestückungsplänen, dem Bestückungsdruck sowie der Stückliste geht der Nachbau recht zügig vonstatten, nicht zuletzt auch aufgrund des übersichtlichen Schaltungsaufwandes.

Wir beginnen den Aufbau mit der Bestückung der beiden Leiterplatten. Die 245 mm x 65 mm messende Frontplatte trägt den größten Teil der Schaltung, und wir beginnen hier die Bestückung mit der Montage der Abschirmung. Die Abschirmrahmen werden zuerst an den vorgelochten Knickstellen abgewinkelt und auf den Löt-

bahnen der Leiterplatte angelötet. Als dann sind die Mittelstege jeweils in das auf der Bestückungsseite und auf der Leiterbahnseite befindliche Abschirmgehäuse einzulöten.

Im Anschluß hieran sind die passiven Bauelemente wie Widerstände und Kondensatoren, gefolgt von allen übrigen Bauelementen einzulöten. Es empfiehlt sich,

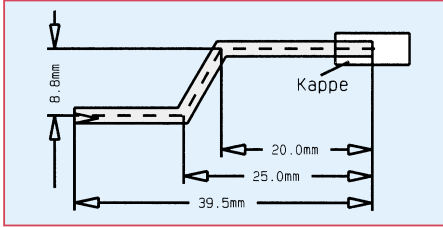


Bild 5: Biegeskizze der Metallschubstange

hierbei genau nach den Bestückungsplänen, Schaltbildern und der Stückliste vorzugehen, um Bestückungsfehler auszuschließen.

Die Elkos C 7, C 8 sowie C 11 bis C 14 sind wie im Bestückungsdruck angegeben liegend einzubauen. Nach dem Abwinkeln der Potentiometer-Anschlüsse des Feinreglers R 16 wird dieses Poti von der Lötseite in die Frontplatte eingesteckt, verschraubt und anschließend festgelötet.

Sind die Arbeiten an der Frontplatte so weit abgeschlossen, wenden wir uns der Basisplatte zu. Die Spannungsregler IC 1 und IC 2 sind vor dem Anlöten zuerst mit der Leiterplatte zu verschrauben. Dies erfolgt mit je einer M3x8mm-Zylinderkopfschraube, die von unten einzusetzen sind und zugehöriger Mutter, nachdem die Anschlußbeinchen vorher abgewinkelt und die Regler in die vorgesehene Position der Leiterplatte eingesetzt wurden.

Nachdem alle weiteren Bauelemente montiert sind, wird abschließend der Transformator TR 1 eingelötet.

Sind beide Leiterplatten so weit fertiggestellt, erfolgt deren Verbindung miteinander. Zur exakten Höhenausrichtung dienen zwei 1,3mm-Lötstifte, die von der Bestückungsseite her mit der langen Seite voran durch die an der linken und rechten Seite der Frontplatte befindlichen Bohrungen zu führen sind.

Nach exakter seitlicher Ausrichtung, d. h. die zusammengehörenden Leiterbahnpaare fluchten miteinander, wird auf jeder Seite eine provisorische Punktlötung vorgenommen. Falls erforderlich, kann nun noch eine leichte Korrektur stattfinden. Wenn beide Platinen einen rechten Winkel zueinander bilden erfolgt das Verlöten sämtlicher Leiterbahnpaare unter Zugabe von ausreichend Lötzinn.

Nachdem die Leiterplattenkonstruktion so weit fertiggestellt ist folgt eine gründli-

che Überprüfung hinsichtlich kalter Lötstellen, Lötzinspritzer und Bestückungsfehler.

Die Metallschubstange für den Netzschalter ist, wie in Abbildung 5 skizziert, zu biegen und mit einem Kunststoff-Druckknopf sowie einem Kunststoff-Verbindungsstück zu versehen.

Nachdem die Netzschalter-Schubstange eingebaut ist, wird das Abschirmgehäuse verschlossen. Beide Deckel sind hierzu einfach mit einem entsprechenden Kunststoffprofil, welches zuvor auf die erforderlichen Längen abgeschnitten wurde, auf das Gehäuse aufzuklammern.

Da innerhalb des ANG 7000 kein Abgleich erforderlich ist, kann gleich nach der Fertigstellung des Chassis der Gehäuseeinbau erfolgen. Zuvor sollte das Chassis jedoch einem ersten Funktionstest unterzogen werden. Dieses ist ohne Gefahr möglich, da bei korrektem Aufbau keine berührungsgefährlichen Spannungen im ANG 7000-Chassis auftreten.

Gehäuseeinbau

In die mittleren beiden Bohrungen der unteren Gehäusehalbschale wird zuerst von der Unterseite her je eine M4-Mutter eingelegt. Mit dem Einstecken der beiden kleinen runden Abdeckzylinder sind diese Muttern anschließend gegen ein Herausfallen zu sichern.

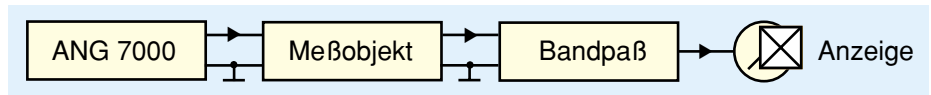


Bild 6: Messung von Eingangsrauschspannungen

Als dann werden 4 Schrauben M4 x 70 mm von unten durch die Montagesockel der unteren Gehäusehalbschale geführt. Auf der Innenseite folgt auf jede der 4 herausstehenden Schrauben eine 1,5 mm starke Futterscheibe. Auf die beiden mittleren Befestigungsdomen (die zuvor mit je einer M4-Mutter versehen wurden) wird ebenfalls eine 1,5 mm starke Futterscheibe aufgelegt. Danach wird das fertig montierte Chassis mit Frontplatte in die Gehäuseunterhalbschale abgesenkt. Das Lüftungsgitter der Halbschale weist hierbei nach hinten und nur die beiden vorderen M4x70mm-Schrauben führen durch die Chassis-Bohrungen.

Als dann wird das Chassis mit 2 zusätzlichen M4x8mm-Zylinderkopfschrauben an den Mitteldomen der unteren Gehäusehalbschale (auf Lage der 1,5mm-Futterscheibe zwischen Platine und Gehäuse achten) angeschraubt. Nachdem auf die beiden hinteren Schrauben je eine zweite 1,5mm-Futterscheibe aufgesteckt wurde, wird jede herausstehende Schraube mit

einem 60mm-Distanzröllchen versehen und die Rückplatte eingesetzt.

Nach Aufsetzen der Gehäuseoberhalbschale mit nach hinten weisendem Lüftungsgitter wird in jedem Montagesockel von oben eine M4-Mutter eingelegt. Mit Hilfe eines kleinen Schraubendrehers sind nacheinander die Gehäuseschrauben auszurichten und von unten zu verschrauben.

Sind alle Montageschrauben angezogen, erfolgt das Einsetzen der Abdeck- und Fußmodule, in die zuvor die Gummifüße eingedrückt wurden. Die beiden Abdeckzylinder für die nicht benutzten Mittelmontageöffnungen des Oberteils werden flächenbündig eingepreßt.

Mit dem Anbringen der Potentiometer- und Stufenschalter-Knöpfe ist der Nachbau des Audio-Noise-Generators ANG 7000 abgeschlossen.

Anwendungsgebiete des ANG 7000

Ein Rauschgenerator kann im Elektrolabor in vielen Bereichen gute Dienste leisten. Nachfolgend stellen wir einige Beispiele vor.

1. Messung der Eingangsrauschspannungen von Verstärkern, Meßgeräten

In Abbildung 6 ist das Meßprinzip zur Messung von Eingangsrauschspannungen dargestellt.

Bei der gewünschten Meßfrequenz (bei Bedarf auch breitbandig) wird der ANG 7000 angeschlossen und zunächst der Rauschpegel auf „0“ gestellt. Der Eingang des Meßobjekts ist jetzt niederohmig abgeschlossen. Ist die Messung bei einem definierten Quellwiderstand gefordert, z. B. 47 kΩ o. ä. in der Audiotechnik, so ist ein solcher Widerstand in Reihe zwischen dem Rauschgenerator und dem Meßobjekt zu schalten. Am Meßgerät tritt ein Ausschlag aufgrund des Eigenrauschens des Meßobjekts auf. Nun wird die Rauschspannung am Generator so weit erhöht, bis der Zeigerausschlag auf das $\sqrt{2}$ -fache angestiegen ist. Aufgrund der geometrischen Addition nicht korrelierter Rauschspannungen ist die am Generator eingestellte Ausgangsrauschspannung gleich der Eingangsrauschspannung des Meßobjekts.

2. Messung des Eingangsstromrauschens von Verstärkern, Meßgeräten ...

Bei Stromverstärkern mit einem gegen

Null gehenden Eingangswiderstand wird die Rauschgröße in $A/\sqrt{\text{Hz}}$ angegeben. Die Messung wird im Prinzip wie unter Punkt 1 beschrieben durchgeführt, nur muß zur Stromeinspeisung ein Widerstand eingeschleift werden, wie dies in Abbildung 7 gezeigt ist.

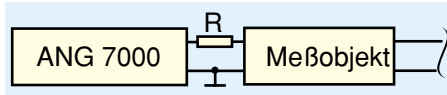


Bild 7: Prinzipschaltung zur Messung des Eingangstromrauschens

Der eingespeiste Rauschstrom ergibt sich aus der vom Generator abgegebenen Ausgangsrauschspannung und dem Widerstand R nach dem ohmschen Gesetz. Wichtig ist, daß der Widerstand so nahe wie möglich am Meßobjekt angeordnet wird, um dessen Eingangskapazität nicht merklich zu erhöhen und um Meßfehler zu vermeiden (siehe auch erster Teil „Grundlagen“). Daher ist der Widerstand zweckmäßig in einer Hülse mit Tastspitze anzuordnen. Ferner ist zu beachten, daß der Widerstand natürlich selbst einen Rauschstrom ins Meßobjekt einspeist. Da diese umgekehrt proportional der Wurzel R ist, sollte der Widerstand so hoch wie möglich sein. Ebenso muß der Widerstand kapazitätsarm sein, damit kein kapazitiver Nebenschluß entsteht.

Die beiden vorstehend aufgezeigten Meßmethoden sind geeignet für Forschung und Entwicklung (Entwicklung rauscharmer Verstärker) sowie für Produktion, Kontrolle und Service von Audiotechnik (Nachmessen des Rauschens und damit Kontrolle des Fremdspannungsabstandes).

Wird der Fremdspannungsabstand frequenzselektiv bei verschiedenen Standard-Frequenzen (z. B. 20 Hz, 50 Hz, 100 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 800 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 5 kHz, 8 kHz, 12 kHz, 15 kHz, 20 kHz) gemessen und werden die Ergebnisse ausgewertet, etwa mittels eines Rechners, dann lassen sich darüber hinaus die Brummspannung und der Geräuschspannungsabstand bestimmen, ohne daß die dafür üblichen Bewertungfilter nötig sind.

Die Bewertungskurven werden stattdessen im Rechner gespeichert, und durch entsprechende Wichtung der spektralen Rauschspannungen bei den Testfrequenzen und anschließende Integration erhält man den Geräuschspannungsabstand.

Ferner ist eine Anwendung möglich, bei Entwicklung und Produktion von Halbleiterbauelementen, wenn deren Rauschkenngrößen interessieren.

Soll ein frequenzselektives Gerät, z. B. ein Selektivvoltmeter, ein Bandpaß o. ä. als Rausch-Meßgerät kalibriert werden, um

die in Punkt 1 dargestellte Vergleichsmethode zu umgehen und das Rauschen direkt messen zu können, so ist eine Kenntnis der Rauschbandbreite des selektiven Gerätes nötig. Diese läßt sich aus der Signalbandbreite berechnen, jedoch ist das bei nicht standardgemäßen Filterfrequenzgängen schwierig.

Vergleichsweise einfach ist diese Aufgabe lösbar, wenn dem Gerät ein gewisses Rauschen definierter spektraler Rauschspannung zugeführt und dieses ins Verhältnis gesetzt wird zum Ausschlag des Zeigers bzw. der Ausgangsspannung dieses Meßgerätes.

3. Schwingungstechnik Materialprüfung

Für Belastungstests werden Bauelemente, Baugruppen und Geräte mittels mechanischer Aktoren definierten Schwingungen und Stößen ausgesetzt. Verwendet werden elektromagnetisch oder piezokeramisch angetriebene Tische, leistungsstarke NF-Verstärker und Sinus- bzw. Funktions-Generatoren. Üblich sind auch stochastische Bewegungen, weil diese der natürlichen Beanspruchung oft näher kommen. Zu diesem Zweck wird der NF-Verstärker mit dem Rauschsignal des ANG 7000 angesteuert.

4. Korrelationsmeßtechnik

Es existiert eine umfangreiche Literatur über Korrelationsmeßverfahren. Einsatzgebiete sind u. a.: Analyse von Lärmerscheinungen (Feststellen bestimmter Lärmquellen, Laufzeitmessung von Schall über verschiedene Ausbreitungswege unter praktischen Einsatzbedingungen, d. h. Vorhandensein unerwünschten Fremdschalls), Prüfung des Rundlaufes rotierender Teile (Unwucht, Oberflächenabweichungen) u.v.a.m.

Für eine Reihe solcher Untersuchungen ist ein Rauschsignal erforderlich, das keinerlei zeitliche Periodizität aufweist, d. h. dessen Autokorrelationsfunktion nur eine einzige Linie enthält und dessen Amplitudenspektrum unendlich dicht ist.

Es gibt sogenannte Pseudozufallsgeneratoren auf Basis von Schieberegistern, die jedoch eine endliche Periodenlänge aufweisen. Soll aus der von Ihnen erzeugten Folge von Nullen und Einsen ein analoges Rauschen nennenswerter Bandbreite geformt werden, muß die Ausgabefrequenz dieser digitalen Anordnung sehr hoch sein, so daß die Periodenlänge recht kurz wird, was jedoch bei Korrelationsmessungen unerwünscht ist. Um dem abzuhelfen, ist ein vergleichsweise hoher Aufwand erforderlich.

Ein rein analoger Rauschgenerator hat vorgenannten Nachteil nicht. Sein Rauschen ist prinzipbedingt ohne jede Periode,

d. h. rein zufällig. Wichtig ist nur, daß die statistischen Größen (Amplituden- und Frequenzverteilung) genau reproduzierbar sind. Beim ANG 7000 auf der Basis thermischen Rauschens ist die Amplitudenverteilung eine Gauß'sche, die spektrale Leistungsdichte ist konstant im Bereich von 1 Hz bis 40 kHz.

5. Spezialanwendungen

Neben den vorstehend beschriebenen vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten gibt es noch eine ganze Reihe von Spezialanwendungen:

- Rauschen als Rohsignal für die Erzeugung von Klängen (z. B. in Musikstudios).
- Rauschmaskierung: Über Lautsprecher abgestrahltes Rauschen (breitbandig oder in engen, speziell höheren Frequenzbereichen) kann günstige Wirkungen auf das Unterbewußtsein ausüben (Beruhigung), aber auch ganz einfach leise, jedoch aus psychologischen Gründen streßauslösende Geräusche überdecken (Maskierungseffekt). Weitere Einsatzmöglichkeiten: Psychologie, Forschung, Therapie...
- Gehörtest: Moderne Verfahren benutzen Rauschsignale als Meßgröße, als Hintergrundgeräusch für Sinustöne oder als sogenanntes Vertäubungssignal für das jeweils andere Ohr (im Bereich HNO-Medizin).
- Lautsprecherprüfung: Die Vielzahl von Eigenresonanzen in nicht idealen Abhörräumen, die eine Prüfung des Frequenzganges von Lautsprechern erschweren, lassen die Verwendung von Breitbandrauschen (weiß oder rosa) und die Messung über Terzfilter als oftmals geeignetere Methode erscheinen. Ähnliches gilt für die Entwicklung hochwertiger Kopfhörer.
- Amateuranwendungen: Spielzeug, Imitation von Feuer in Zusammenschaltung mit Lichtorgeln, Lautsprecherprüfung u. ä. Für die meisten dieser Zwecke sind allerdings die Low-Cost-Bausätze auf Basis des Rauschens gesperrter Transistorstrecken ausreichend. Für professionellere Anwendungen kommt jedoch ein Meßgerät nach Art des ANG 7000 in Betracht.

Es sind noch zahlreiche weitere Anwendungsgebiete denkbar. Die sich in neuerer Zeit unter dem Stichwort „Chaostheorie“ zusehends durchsetzende Erkenntnis, daß stochastische und scheinbar regellose Prozesse großen Einfluß in der Natur haben, lassen in Zukunft sicher noch weitere Einsatzzwecke für Geräte aufkommen, die ein analoges Zufallssignal mit definierten statistischen Kenngrößen produzieren.