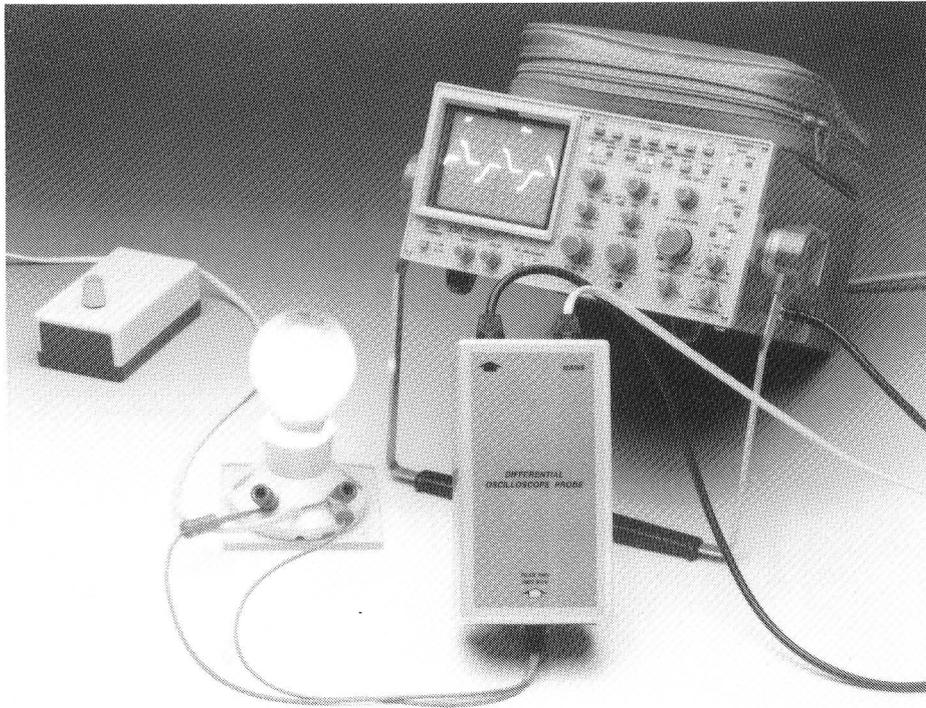


DIFFERENZ-TASTKOPF

Erdfrei messen mit dem Oszilloskop



Bei Messungen von Spannungsdifferenzen und von hohen Spannungen stößt man schnell auf die Grenzen herkömmlicher Tastköpfe. Der hier beschriebene, bis 20 MHz frequenzkompensierte 10:1/100:1-Tastkopf erweitert nicht nur den Eingangsspannungsbereich des Oszilloskops auf bis zu 700 V, er ermöglicht auch schwebende Messungen. Beim Messen an netzspannungsführenden Schaltungen gibt es praktisch keine Alternative zu dieser nützlichen Zusatzschaltung.

Obwohl auch preiswerte Oszilloskope mittlerweile über einen Eingangsspannungsbereich von mindestens 200 V verfügen, sind Messungen an hohen Spannungen immer noch problema-

tisch, besonders beim Messen von Signalen mit hochliegendem Nullpotential. Wenn man im "Hochspannungsbereich" kleine Spannungsdifferenzen schwebend ermitteln will (oder nur ein

Signal in einer Lichtdimmerschaltung messen), wird es schon schwierig und unter Umständen lebensgefährlich. Da alle gängigen Oszilloskope den Bestimmungen der Schutzklasse I entsprechen, sind bei ihnen **Gehäuse, Chassis und (Masse-)Meßanschlüsse mit dem Netzschutzleiter verbunden**. Beim Messen an Schaltungen ohne Netztrennung fließt dann sofort ein Fehlerstrom über den Schutzleiter, so daß der FI-Schalter im Zählerkasten sofort die Netzspannung und damit die Messung unterbricht. Wer dann den Schutzleiter abklemmt, um messen zu können, bringt sich in unmittelbare Lebensgefahr. Die Verwendung eines Schutz-Trenntrafos der Schutzklasse II löst ebenfalls nicht alle Probleme. Da der Ground-Meßeingang des Oszilloskops weiterhin intern mit dem Gerätegehäuse verbunden ist, liegt das hochliegende Nullpotential auch am Gehäuse und anderen berührbaren Metallteilen des Oszilloskops. Dies ist nur bei Spannungen bis 42 V ungefährlich - beim Messen an besagtem Lichtdimmer sind es aber 230 V (Scheitelwert 325 V)! Abgesehen von dieser Sicherheitsproblematik gibt es auch ein meßtechnisches Problem: Die mittels Trenntrafo von Erde getrennte Masseleitung stellt bei der "schwebenden" Messung eine erhebliche kapazitive Belastung des Meßpunkts dar.

Damit man auch auf hohem Potential kleine Spannungen messen kann, gibt es nur eine sichere und vernünftige Lösung: Den Differenz-Tastkopf mit zwei gegenüber Masse "schwebenden" Meßeingängen. Der hier vorgestellte Differenz-Tastkopf liefert dem Oszilloskop die Spannungsdifferenz pur, ohne Massebezug. Doch nicht nur dies: Er ist sehr genau, bis 20 MHz frequenzkompensiert, besitzt eine hohe Eingangsimpedanz, damit die zu messende Schaltung so wenig wie möglich belastet wird und weist zu alledem noch eine sehr hohe Gleichtaktunterdrückung auf. Wenn beispielsweise eine Spannungsdifferenz auf Netzspannungspotential gemessen wird, bleibt am Ausgang des Tastkopfs von der Netzwechselfrequenz eine Welligkeit von nur etwa 10 mV übrig.

Tastköpfe mit diesen Features sind nicht nur schwer zu beschaffen, sie haben auch einen recht hohen Preis. Grund genug also, zum Lötkolben zu greifen.

Technische Daten

Abschwächung: 100:1 oder 10:1

R_{in} : 2 M Ω

C_{in} : < 2,5 pF (ohne Meßkabel)

U_{in} (Gegentakt): 450 V DC und Spitze AC

U_{in} (Gleichtakt): 700 V Spitze/500 V effektiv

Bandbreite: 20 MHz (100:1);

10 MHz (10:1)

Gleichtaktunterdrückung: bis 100 kHz: 80 dB

1 MHz: 60 dB

10 MHz: 40 dB

Fehler: max. 0,6% (100:1-Bereich)

Kompensation, Differenz und Verstärkung

In Bild 1 ist die Schaltung des Differenz-Tastkopfs zu sehen. Das wichtigste Bauteil ist IC1, ein spezieller und neuer integrierter Differenzverstärker von Analog Devices. Der AD830AN ist ein schneller Präzisions-Videoverstärker, der aus zwei getrennten Differenz-Eingangsverstärkern besteht, deren Ausgangssignale über ein Summierglied einem Pufferverstärker zugeführt werden. Der AD830AN zeichnet sich durch niedrige Verzerrungen, hervorragendes Gleichspannungsverhalten und vor allem eine hohe Gleichtaktunterdrückung auch bei hohen Frequenzen aus. Im Unterschied zu üblichen Instrumentenverstärkern besitzt der AD830AN vier Eingänge, so daß ein genauer und bequemer Offsetabgleich durch den Spannungsteiler P2/R8/R9 möglich ist. Die Verstärkung ist durch das Gegenkopplungsnetzwerk R10/R11

auf den Faktor 2 festgelegt. Näheres über dieses interessante ICs wird übrigens in einem der nächsten Datenblätter in der Heftmitte zu finden sein. Zwischen IC1 und den an K1 angeschlossenen Meßleitungen befinden sich die beiden Abschwächungsnetzwerke, die mit den sehr engtolerierten 0,1%-Widerständen R1...R7 aufgebaut sind. Die Kondensatoren C1...C8 sorgen für die notwendige Frequenzkompensation. Die Netzwerke sind so dimensioniert, daß die Eingangsimpedanz des Tastkopfs etwa 2 M Ω und die Eingangskapazität nur 2,5 pF beträgt. Die Zeitkonstanten werden so im wesentlichen vom angeschlossenen Meßobjekt und nicht von den parasitären Effekten des Tastkopfs bestimmt. Da die Netzwerke für eine gute Gleichtaktunterdrückung möglichst symmetrisch sein sollten, ist in einem Netzwerk ein 10- Ω -Festwiderstand (R4), in dem anderen an der gleichen Stelle ein einstellbarer 0...20- Ω -Widerstand in

Form des Spindeltrimmers P1 untergebracht. Damit ist eine Verstimmung von maximal 0,2% möglich, so daß die Toleranz der Festwiderstände sicher ausgeglichen werden kann. Ähnliches findet man auch bei den Frequenzkompensations-Kapazitäten: Mit den Trimmern C4 und C8 kann auch bei hohen Frequenzen eine hervorragende Symmetrie bei der Abschwächer erreicht werden. Wenn die Bauteile die in der Stückliste angegeben maximalen Toleranzen aufweisen, erreicht man einen maximalen Fehler (des gesamten Tastkopfs) von $\pm 4,2\%$, ein für Oszilloskop-Messungen völlig ausreichender Wert. Gebraucht man auch für R9...R14 0,1%-ige Widerstände, reduziert sich der maximale Fehler auf 0,6% im 100:1-Bereich und auf 1,6% im 10:1-Bereich. Angesichts der geringen zusätzlichen Kosten sollte man dies auch tun. Andererseits: Sollte es bei den engtolerierten Widerständen Beschaffungsschwierigkeiten ergeben, kann man auch für R1...R7 1%-Typen einsetzen, vorausgesetzt, R4 und P1 werden auf 100 Ω beziehungsweise 200 Ω vergrößert. Doch neben der Verschlechterung der Genauigkeit wirkt sich dies auch auf die Symmetrie und damit auf die Gleichtaktunterdrückung negativ aus.

Obwohl der maximale Teilerfaktor des Tastkopfs 100:1 beträgt, verringern die Eingangsabschwächer die Amplitude des Meßsignal um den Faktor 200. Der Grund dafür: Die Differenz-Eingangsspannung des AD830AN soll in Grenzen (das heißt etwa ± 2 V) gehalten werden, denn laut Datenblatt setzt bei $\pm 2,4$ V eine interne Begrenzung des Eingangssignals ein. Nur so kann die hohe maximale Eingangsdifferenzspannung des Tastkopfs auf den in den technischen Daten des ICs angegebenen maximalen Wert reduziert werden. Um diese um den Faktor 2 zu hohe Abschwächung wieder auszugleichen, ist der AD830AN auf zweifache Verstärkung eingestellt, so daß am Ausgang (Pin 7) die im gewünschten 100:1-Verhältnis abgeschwächte Eingangsdifferenzspannung anliegt. Bei dieser Konfiguration ist es natürlich nicht möglich, die Umschaltung zwischen 100:1 und 10:1 am Eingangsabschwächer vorzunehmen, ohne Schwierigkeiten mit den maximalen Eingangsspannungen (sowohl differentiell als auch Gleichtakt) des ICs zu bekommen. Besser ist es daher, hinter dem Differenzverstärker eine einfache Verstärkerstufe anzuordnen, die das Signal bei Bedarf (in Stellung 10:1) um den Faktor 10 verstärkt. Um die Bandbreite des Opamps nicht zu beeinflussen, wird die Umschaltung nicht in der Gegenkopplung, sondern beim Eingangswiderstand mit S1 vorgenom-

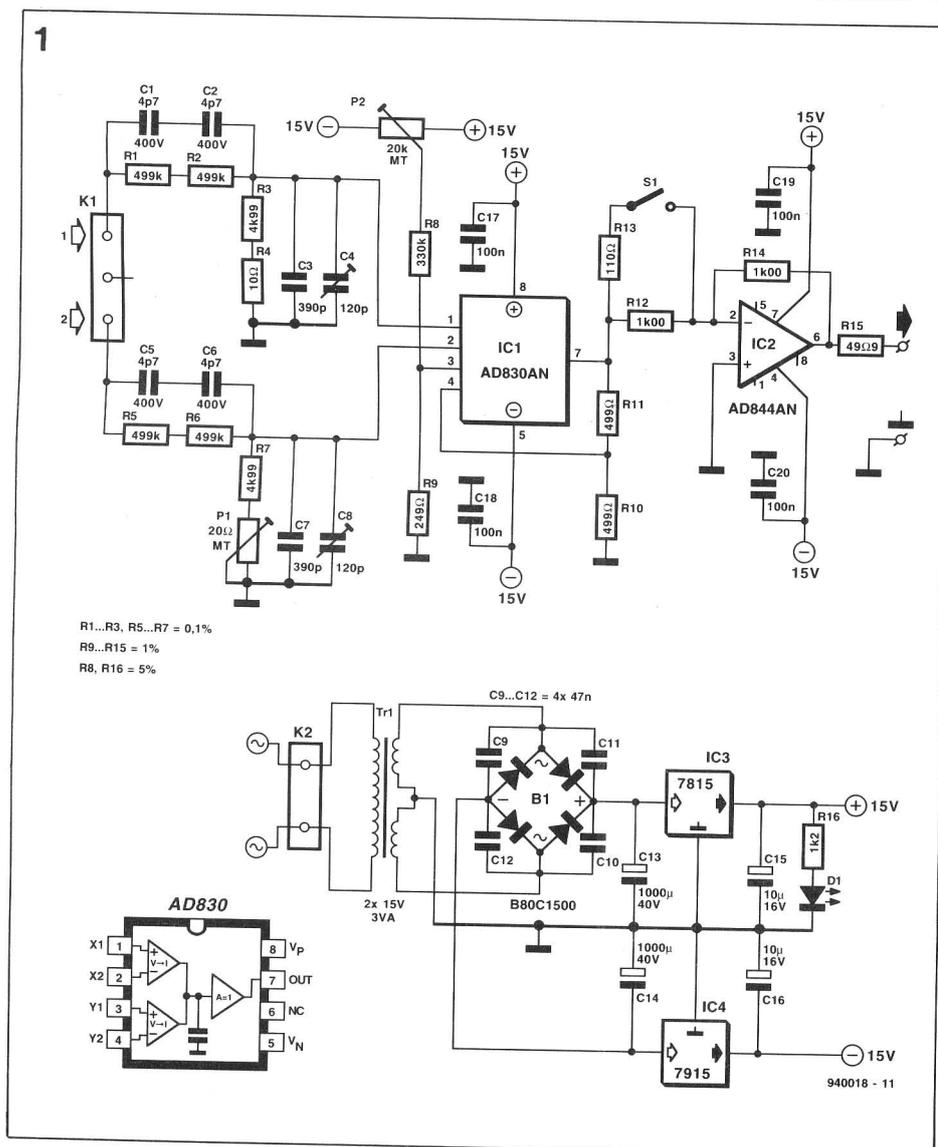


Bild 1. Das Schaltbild des Differenz-Tastkopfs enthält zwei Präzisions-Eingangsabschwächer, einen speziellen doppelten Differenzverstärker und eine Ausgangsstufe mit umschaltbarer Verstärkung.

men. Ist S1 geschlossen, liegen R13 und R12 parallel (= 100 Ω), so daß sich der Verstärkungsfaktor $A = R14/(R12||R13) = 1000 \Omega/100 \Omega = 10$ ergibt. Bei offenem S1 ist die Verstärkung $R14/R12 = 1$.

Auch für IC2 ist kein Wald-und-Wiesen-Opamp verwendbar. Es handelt sich um einen AD844, der erst kürzlich (Heft 3/94) in einem Datenblatt vorgestellt wurde. Der Opamp ist außerordentlich schnell (2000 V/μs) und besitzt eine Bandbreite von 60 MHz bei einem Verstärkungsfaktor von -1 beziehungsweise 33 MHz bei A = -10. Der AD844 ist unbegrenzt kurzschlußfest. Das Ausgangssignal des AD844 passiert noch einen 50-Ω-Widerstand, so daß am Ausgang des Tastkopfs ohne Bedenken ein 50-Ω-Koaxialkabel (beispielsweise RG58) angeschlossen werden kann.

Auch das gesamte Netzteil ist in der Schaltung (und auf der Platine) zu finden. Einzige Besonderheit an diesem Netzteil sind die parallel zu den Gleichrichterdioden angeordneten Kondensatoren, die die Umschaltstörungen der Dioden kurzschließen. D1 fungiert als Einschaltkontrolle.

Aufbau und Abgleich

Der Bestückungsplan für die doppel-seitige, aber nicht durchkontaktierte Tastkopfplatine ist in **Bild 2** zu sehen. Da die Schaltung nicht allzu viele Bauteile umfaßt, sollte der Aufbau auch in kurzer Zeit und problemlos zu erledigen sein. Dennoch gilt es einige Besonderheiten anzumerken: Die ICs müssen wegen der hohen möglichen Signalfrequenzen direkt, also ohne Fassung eingelötet werden, auch bei

den anderen Bauteilen sind die Anschlußdrähte möglichst kurz zu halten. Viele Bauteile müssen sowohl an der Unter- als auch an der Massefläche der Platine festgelötet werden. Im Platinenlayout sind diese Stellen an den zusätzlichen Lötungen gut zu erkennen. Der mittlere Anschluß von K1 muß entfernt werden, da bei hohen Eingangsspannungen ein nichtleitender "Sicherheitsabstand" zwischen den beiden äußeren Anschlüssen unbedingt nötig ist. Wenn alle Bauteile auf der Platine festgelötet sind und der Aufbau genau kontrolliert ist, müssen die beiden Eingangsabschwächer und der aktive Teil getrennt mit 15...20 mm hohen Weißblechstreifen abgeschirmt werden. Wenn man die Blechstreifen so wie im Bestückungsaufdruck zu sehen an Löt-nägeln festlötet, bleibt auch zwischen den Bauteilen der Eingangsabschwächer und der Abschirmung (auf Massepotential) ein mindestens 6 mm breiter Abstand gewahrt. Für die beiden Spindeltrimmer sind Löcher in den Blechstreifen anzubringen, damit sie auch weiterhin abgleichbar sind. Das Metallgehäuse von S1 kann man ohne Probleme in die Abschirmung mit einbeziehen, da es am Platinenrand ebenfalls mit Masse verbunden wird. Auf die drei abgeschirmten Abteilungen setzt man einen gut passenden gemeinsamen Weißblechdeckel mit abgewinkeltm Rand (und Löchern zur Einstellung von C4 und C8), der nach Fertigstellung des Gerätes aufgesetzt und an einigen Stellen festgelötet wird. Die Abschirmung komplettiert ein platinengroßes Stück Weißblech, das in 10 mm Abstand von der Platinenunterseite befestigt wird. Der Sicherheit (sprich Isolation) halber ist das Weißblech mit ei-

Stückliste

Widerstände:

- R1,R2,R5,R6 = 499 k 0,1%, MPR24
- R3,R7 = 4k99 0,1%
- R4 = 10 Ω 1%, MRS25
- R8 = 330 k 5%
- R9 = 249 Ω 1% (oder 0,1 %, siehe Text)
- R10,R11 = 499 Ω 1% (oder 0,1 %, siehe Text)
- R12,R14 = 1k00 1% (oder 0,1 %, siehe Text)
- R13 = 110 Ω 1%
- R15 = 4909 1%
- R16 = 1k2 5%
- P1 = 20 Ω Spindeltrimmer
- P2 = 20 k Spindeltrimmer

Kondensatoren:

- C1,C2,C5,C6 = 4p7/400 V keramisch
- C3,C7 = 390 p keramisch
- C4,C8 = 120 p Trimmer
- C9...C12 = 47 n Sibatit
- C13,C14 = 1000 μ/40 V stehend
- C15,C16 = 10 μ/16 V stehend
- C17...C20 = 100 n Sibatit

Halbleiter:

- B1 = B80C1500
- D1 = LED rot, 5 mm
- IC1 = AD830 AN (Analog Devices)
- IC2 = AD844 AN (Analog Devices)
- IC3 = 7815
- IC4 = 7915

Außerdem:

- K1 = Platinenlusterklemme 3-polig, RM5 (Mittelpin entfernen)
- K2 = Platinenlusterklemme 2-polig, RM7,5
- S1 = (Schiebe-) Schalter 1 x um
- PC1,PC2 = Löt nagel
- Tr1 = Netztrafo, sek. 15 V/3 VA (z.B. Monacor VTR-3215)
- Gehäuse (z.B. Bopla E440BB)

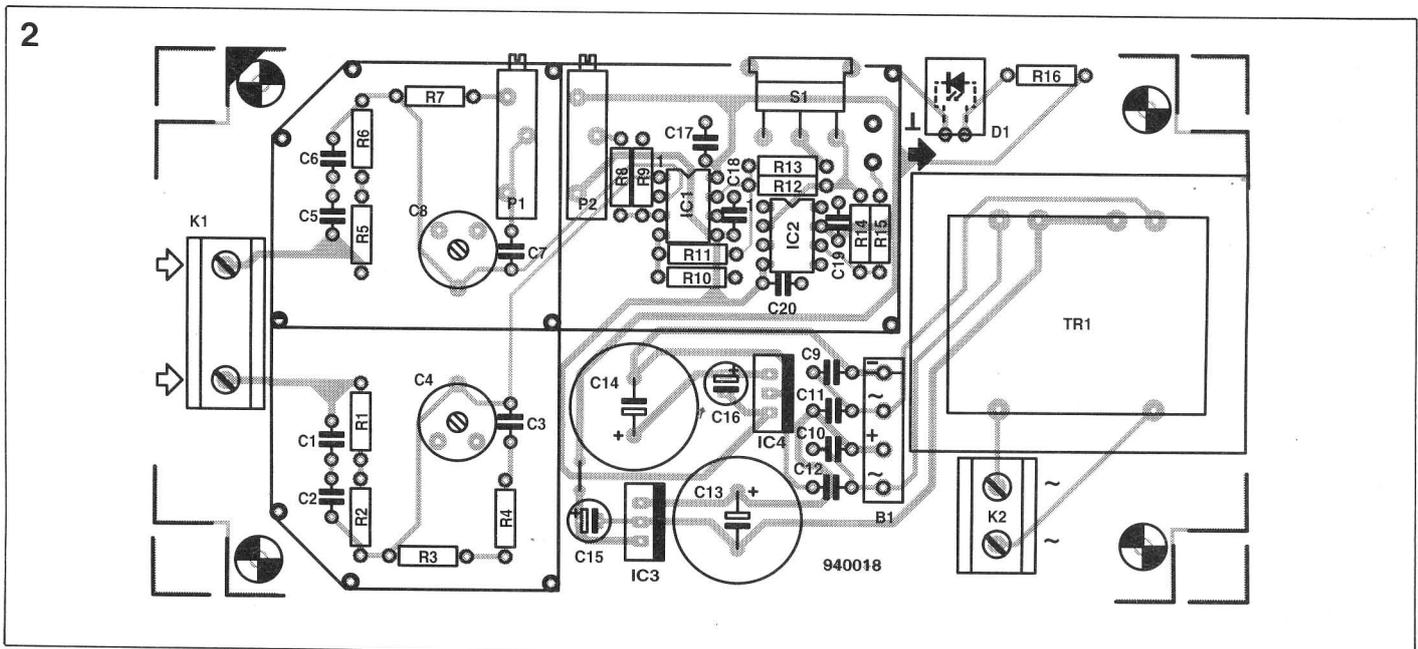


Bild 2. Die sehr sorgfältig entworfene Platine beherbergt auch die symmetrische 15-V-Versorgung.

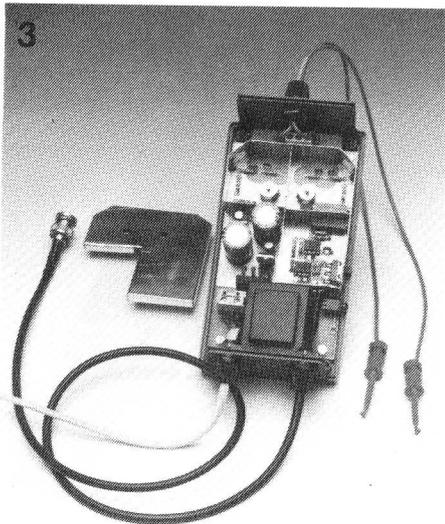


Bild 3. Hier ist gut zu sehen, wie die Abschirmbleche montiert werden müssen.

ner Kunststoffolie zu beschichten. **Bild 3** erlaubt einen Blick in unser Mustergerät und zeigt den Aufbau der Abschirmbleche deutlich.

Die Maße der Platine sind auf das in der Stückliste vorgeschlagene Gehäuse abgestimmt. Die Meßspitzen oder Klemmen werden mit je etwa 30 cm langer flexibler Meßlitze mit K1 verbunden. Das Koaxialkabel zum Oszilloskop, das direkt an PC1 und PC2 gelötet wird, sollte etwa 50...60 cm lang sein. Das Koaxialkabel darf erst innerhalb des abgeschirmten Bereichs abisoliert und das Abschirmgeflecht aufgetrennt werden. Sowohl für das Koaxialkabel als auch für die Meßleitungen sind Zugentlastungen anzubringen. Das fertig aufgebaute Gerät kann - auch das Auge mißt mit - mit einer Frontplatte ausgestattet werden, wie sie in **Bild 4** zu sehen ist. Da sich die Bedienelemente an der Seite befinden, haben wir auch

hierfür ein Frontplattenlayout entworfen.

Der Abgleich des Tastkopfs ist zwar nicht schwierig, verlangt aber einiges Fingerspitzengefühl. Zunächst stellt man S1 auf Position 10:1, schaltet das Gerät ein und wartet etwa 15 Minuten, bis die ICs eine stabile Betriebstemperatur erreicht haben.

■ Zum **Offsetabgleich** werden beide Eingänge kurzgeschlossen und auf Massepotential gelegt. Der Ausgang ist mit einem Oszilloskop oder noch besser einem Millivoltmeter (empfindlichster Bereich) zu verbinden. Dann stellt man P2 so ein, daß das Millivoltmeter genau 0 mV anzeigt.

■ Zur **Gleichtaktunterdrückung bei niedrigen Frequenzen** schließt man eine niederfrequente Wechsel- oder eine Gleichspannung an die *miteinander verbundenen* Meßeingänge und Masse an. Das Millivoltmeter verbleibt am Ausgang. Nun ist P1 so einzustellen, daß die Ausgangsspannung exakt 0 mV wird.

■ Dann folgt der Feinabgleich der **Frequenzkompensation**. Dazu schließt man zwischen Eingang 1 und Masse ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 1 kHz an und dreht C4 so, daß am Ausgang angeschlossenen Oszilloskop ein unverformtes Rechtecksignal erscheint. Das gleiche ist für Eingang 2 zu wiederholen.

■ Zu guter Letzt muß man sich noch um die **Gleichtaktunterdrückung bei hohen Frequenzen** kümmern. Den miteinander verbundenen Eingangsklemmen ist ein Sinussignal mit einer Frequenz von 1 MHz zuzuführen. Bei einer Frequenz von 1 MHz sollte der AD830AN eine Gleichtaktunterdrückung von etwa 70 dB aufweisen. Sollte das Signal auf dem Oszilloskopschirm erscheinen, werden C4 und C8 nacheinander ganz vorsichtig verdreht, bis die Amplitude des Signals ein Minimum erreicht. An- und abschließend ist der Abgleich der Frequenzkompensation nochmals zu kontrollieren. ■

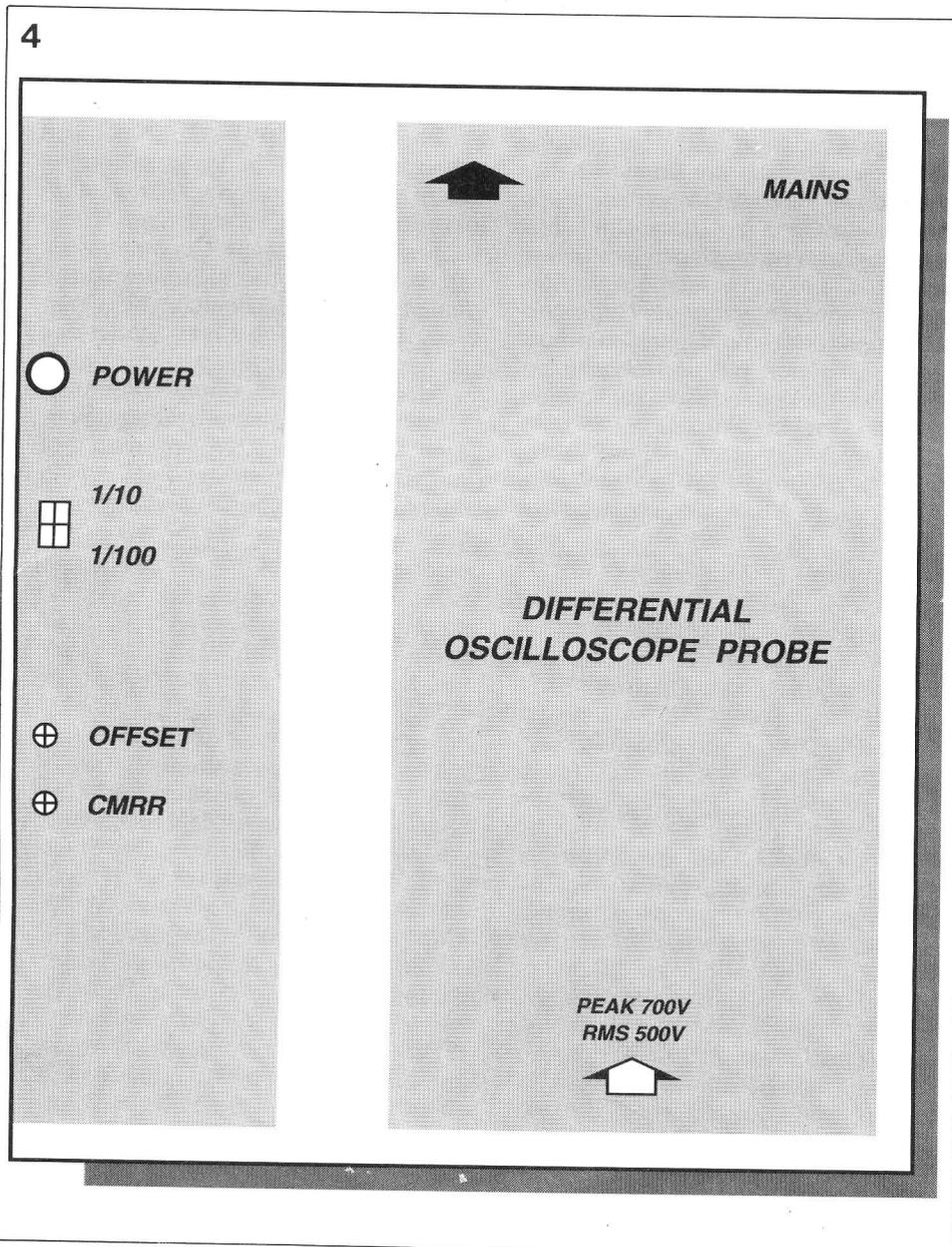


Bild 4. Ein Frontplattenentwurf für das vorgeschlagene Gehäuse.