

Bild 2 Blockschaltbild Ablenkerverstärker

2. Schaltungsbeschreibung

2.1 Ablenkerverstärker

Die Ablenkerverstärker und in besonderem Maße der Y-Ablenkerverstärker sind ein bezeichnendes Merkmal eines jeden Oszilloskopes. Erfahrungsgemäß orientiert sich der potentielle Anwender von Oszilloskopen zunächst an Grenzfrequenz (Bandbreite) und Ablenkkoeffizient, die sein Meßproblem erfordern. Erst danach wendet er sich weiteren »Features« zu.

Obwohl gerade das Oszilloskop MO 53 über viele dieser »Features«, z. B. die Zeitbereichsautomatik – um nur eines zu nennen – verfügt, wird dennoch verständlich, daß bei der Konzeption eines solch vielseitigen Meßgerätes den Ablenkerverstärkern besondere Aufmerksamkeit gewidmet wird.

Schließlich sind es die Ablenkerverstärker eines Oszilloskopes, die kleinste elektrische Spannungen innerhalb eines breiten Frequenzbandes so weit verstärken, daß sie auf dem Schirm der Oszilloskopröhre mit deutlich wahrnehmbarer Amplitude dargestellt werden können. Hierbei werden an den Frequenz- und Phasengang und damit an das Impulsverhalten, an Amplitudenfehlergrenzen, Linearität usw. erhebliche Anforderungen gestellt.

Zielsetzung war es, bei einem wirtschaftlich vertretbaren Aufwand diese Eigenschaften gut zu erhalten. Das Erreichte kann sich durchaus sehen lassen:

- Typische Grenzfrequenz von über 50 MHz
- Grundempfindlichkeit ohne Einschränkung der Grenzfrequenz 2 mV/cm.
- 33 Watt Leistungsaufnahme des Gerätes bei Nennspannung.

Dazu muß man wissen, daß die Leistungsaufnahme eines Oszilloskops primär durch dessen Ablenkerstufen bestimmt wird. Das Vorgängermodell MO 52 benötigte z. B. ca 90 Watt Leistungsaufnahme für in etwa vergleichbare Kenndaten! Dieser Vergleich spricht für sich und läßt er-messen, was mit der Entwicklung der MO 53-Ablenkerverstärker erreicht wurde. Aufgrund der extrem geringen Leistungsaufnahme konnte z. B. ein geschlossenes Gehäuse verwendet werden. Staub und Spritzwasser haben so kaum eine Chance, in's Geräteinnere zu gelangen.

Aufwendige Kühlkörper an der Gehäuserückwand – bis-

lang erforderlich – sucht man vergebens; sie konnten einfach entfallen. Dennoch ist das Klima im Gehäuseinnern als »kühl« zu bezeichnen. Nicht zuletzt diese Tatsache dürfte die Zuverlässigkeit des MO 53 weiter erhöhen. Thermische Belastung von Bauteilen – eine der möglichen Ausfallursachen – wurde drastisch reduziert! Doch auch in den Vorstufen hat der Fortschritt nicht Halt gemacht. Ausgefeilte Schaltungstechniken reduzierten die erforderlichen Abgleiche auf ein Minimum. Sorgfältiges »Biasing« macht eine Unzahl thermischer Kompensationen überflüssig. Die Verwendung von hochwertigen Transistorarrays in wesentlichen Differenzstufen sorgt zusätzlich für sehr guten thermischen Gleichlauf. Bisher übliche paarige Selektionen von Einzeltransistoren können daher entfallen. Dies gilt in besonderem Maße für die bislang zu selektierenden Dual Fet's in den Impedanzwandlereingängen.

An dieses Bauteil wurden in der Vergangenheit besonders hohe Anforderungen hinsichtlich der Gleichheit seiner elektrischen Parameter gestellt. Darüberhinaus geforderte gute HF-Eigenschaften verteuerten das Bauteil zusätzlich.

Im MO 53 konnte auf Dual Fet's verzichtet werden. Die benutzte Schaltungstechnik macht die Verwendung eines einfachen Standard Fet's des Typ's BF 245 möglich! Dies mag umso mehr überraschen, als die Drieeigenschaften – bedingt durch die höhere Grundempfindlichkeit – gegenüber früheren Konzepten noch verbessert werden mußten.

Doch auch das Layout selbst will bereits bei der Konzeption eines breitbandigen Oszilloskopverstärkers bedacht sein. Erst sinnvolle Kombinationen von Grundsaltungen schaffen hier die Voraussetzungen für die unvermeidlichen Schnittstellen. Diese ergeben sich, wenn z. B. längere Signalwege auf der Leiterplatte oder gar zwischen getrennten Baugruppen zu überbrücken sind.

So fügt sich z. B. die Verzögerungsleitung mit ca. 100 nsec Laufzeit gewissermaßen »organisch« in den Signalweg ein und verbindet die räumlich getrennt angeordnete Y-Endstufe mit dem Y-Vorverstärker.

2.2 Blockschaltplan

Der Blockschaltplan **Bild 2** zeigt die wesentlichen Funktionsblöcke von X- und Y-Verstärker. Der Signalfluß ist

eindeutig und erklärt sich durch die Darstellung selbst. Im folgenden Abschnitt werden stattdessen einzelne Blöcke herausgegriffen und etwas detaillierter erläutert. Die Beschreibung der Blöcke bis zum Kanalschalter gilt sinngemäß für beide Y-Kanäle.

2.2.1 Abschwächersystem

Die Blöcke hochohmiger Vorteiler, Impedanzwandler, niederohmiger Teiler und schaltbarer Vorverstärker bilden zusammen das Abschwächersystem. Durch Kombination verschiedener Teiler- und Verstärkungsfaktoren werden die Ablenkkoeffizienten von 2mV/cm bis 10 V/cm erzielt. Zusammen mit der 1:2,5 Feineinstellung wird dieser Bereich lückenlos überstrichen.

Tabelle 1 zeigt, durch welche Kombinationen die verschiedenen Ablenkkoeffizienten erzielt werden.

Ablenk- koeffizient	Ab- schwächer hochohmig	nieder- ohmig	Relative Verstärkung schaltbarer Verstärker
2 mV/cm	1:1	1:1	10fach
5 mV/cm	1:1	1:2,5	10fach
10 mV/cm	1:1	1:5	10fach
20 mV/cm	1:1	1:1	1 fach
50 mV/cm	1:1	1:2,5	1 fach
100 mV/cm	1:1	1:5	1 fach
200 mV/cm	1:10	1:1	1 fach
500 mV/cm	1:10	1:2,5	1 fach
1 V/cm	1:10	1:5	1 fach
2 V/cm	1:100	1:1	1 fach
5 V/cm	1:100	1:2,5	1 fach
10 V/cm	1:100	1:5	1 fach

Tabelle 1

2.2.2 Hochohmiger Vorteiler

Das Abschwächersystem des MO 53 kommt im hochohmigen Eingangskreis mit nur drei Teilerstellungen aus. Erzielt werden hier die Teilerfaktoren 1:1, 1:10 und 1:100. Die Teiler 1:10 und 1:100 sind als frequenzkompensierte Widerstandsteiler ausgeführt. Deren Eingangsimpedanz beträgt 1 M Ω /25 pF.

2.2.3 Impedanzwandler

Breitbandige Spannungsverstärkerstufen müssen mit niederem Quellwiderstand angesteuert werden, um die maximal mögliche Grenzfrequenz zu erzielen. Eingangswiderstände von 1 M Ω – wie in Oszilloskopen allgemein üblich – erfordern deshalb Impedanzwandler, um den hochohmigen Meßeingang anzupassen. Für diese Aufgabe ist prinzipiell ein Feldeffekttransistor in Drainschaltung (Sourcefolger) geeignet.

Gleichspannungsgekoppelte Verstärker wie auch im MO 53 würden wegen der geforderten Drifteigenschaften jedoch einen relativ teuren Dual Fet erfordern. Es ist daher üblich geworden, den Signalweg innerhalb des Impedanzwandlers in zwei korrespondierende Pfade aufzuteilen. Diese sind für ihre Teilaufgabe optimiert und trotz des geringfügig höheren Bauelementeaufwandes ist diese Lösung derzeit am wirtschaftlichsten. Der Grund dafür sind die stark gesunkenen Preise, auch für driftarme Operationsverstärker. **Bild 3** zeigt die Prinzipschaltung eines solchen Impedanzwandlers.

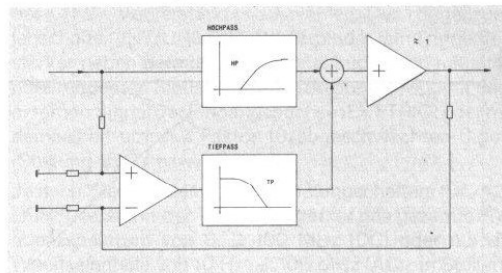


Bild 3 Prinzipschaltung des Impedanzwandlers

Das Meßsignal wird in einen hochfrequenten und in einen niederfrequenten Signalanteil aufgespalten, ausgewertet und an einem Summationspunkt wieder zusammengemischt. Die hierbei auftretenden prinzipiellen Amplitudenverläufe über die Frequenz sind in **Bild 4** dargestellt.

Die guten Drifteigenschaften dieser Anordnung erhält man dadurch, daß der niederfrequente Signalanteil über einen Operationsverstärker geführt wird, welcher mit dem gesamten Impedanzwandler einen geschlossenen Regelkreis bildet. Allein der Operationsverstärker bestimmt also die Drifteigenschaften des Impedanzwandlers, da sämtliche in der Gesamtschaltung auftretenden Driftspannungen ausgeregelt werden. Die denkbare Realisierung eines nach dem beschriebenen Prinzip arbeitenden Impedanzwandlers zeigt **Bild 5**.

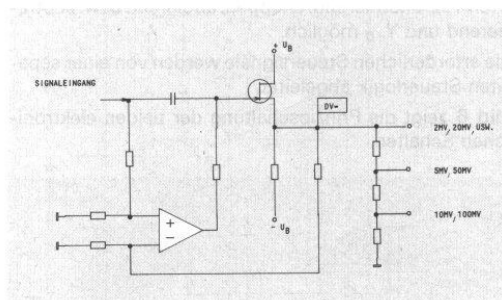


Bild 5 Mögliche Realisierung des Impedanzwandlers

2.2.4 Niederohmiger Teiler

Wird dafür Sorge getragen, daß der zuvor beschriebene Impedanzwandler keinen Gleichspannungsoffset aufweist, ist es möglich, danach einen weiteren Stufenteiler anzuordnen. Damit sind dann weitere Abschwächerstellungen möglich.

Sinnvoll ist dies, wenn der Innenwiderstand des Teilers so klein gewählt wird, daß das Teilverhältnis auch über die Frequenz unabhängig von exemplarbedingten ohmschen und kapazitiven Lastschwankungen bleibt. Sind diese Bedingungen erfüllt, so kann auf abgleichbare Frequenzkompensationen verzichtet werden.

Im MO 53 werden die 1. 2. 5. Abstufungen mit niederohmigen Teilern erzielt und allein damit **acht!** Abgleiche eingespart.

2.2.5 Schaltbarer Vorverstärker

Er ist das letzte Glied in der Kette des Abschwächersystems. Das bis dahin unsymmetrische Meßsignal wird

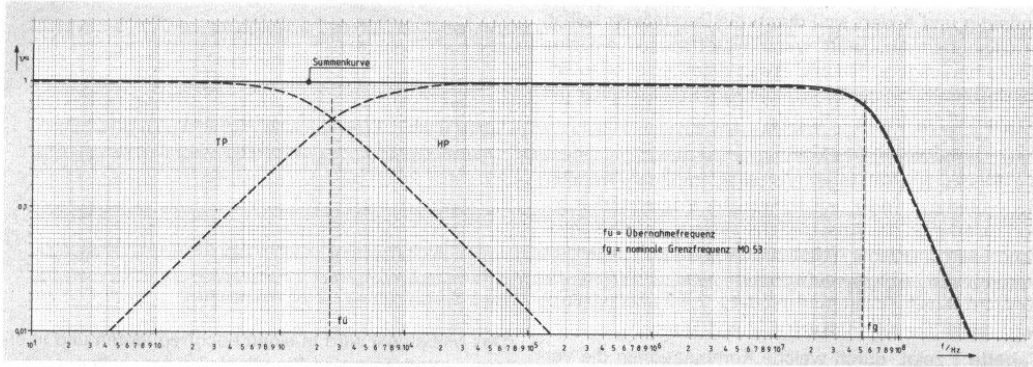


Bild 4 Mischung von NF- und HF-Signaleinteil

hier symmetriert und in der Amplitude verstärkt. In den Teilerstellungen 10 mV/cm, 5 mV/cm und 2 mV/cm wird die Grundverstärkung um Faktor 10 angehoben. Bei gegebenem Verstärkungs – Bandbreite – Produkt sinkt die Grenzfrequenz dieser Stufe in den genannten Teilerstellungen. Damit die Grenzfrequenz des Gesamtverstärkers dennoch > 50 MHz bleibt, mußte die Grenzfrequenz des schaltbaren Verstärkers – und hier speziell die des Eingangskreises – entsprechend hoch angesetzt werden.

2.2.6 Elektronischer Schalter

Die identischen Vorverstärker Y_{-A} und Y_{-B} sind über je einen elektronischen Analogschalter an den gemeinsamen Endverstärker gekoppelt. Hierbei sind die Betriebsarten Y_{-A} , alternierend, chopped, addierend bzw. subtrahierend und Y_{-B} möglich.

Die erforderlichen Steuersignale werden von einer separaten Steuerlogik abgeleitet.

Bild 6 zeigt die Prinzipschaltung der beiden elektronischen Schalter.

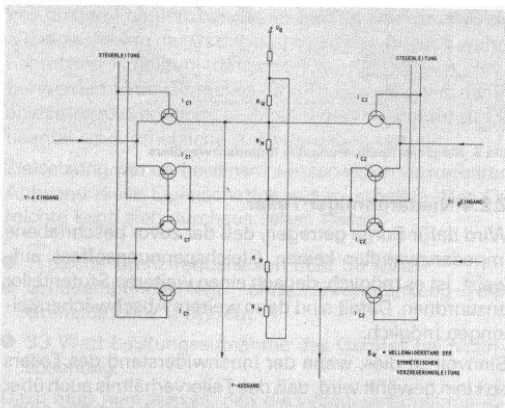


Bild 6 Prinzipdarstellung elektronischer Schalter mit Abschlußnetzwerk

Jeweils zwei Differenzverstärkerpaare in Basisschaltung arbeiten auf ein gemeinsames Widerstandsnetz. Sein Innenwiderstand bleibt unabhängig vom Schaltzustand konstant, so daß es gleichzeitig als eingangsseitiger Abschluß für die Verzögerungsleitung dienen kann. Elektronische Schalter nach dem vorliegenden Arbeitsprinzip arbeiten extrem breitbandig und rückwirkungsfrei.

Systembedingte Umschaltstörungen bleiben minimal,

da die mittlere Stromaufnahme während und nach dem Umschaltvorgang konstant bleibt.

2.2.7 Verzögerungsleitung

Mit Hilfe der Verzögerungsleitung wird das Y-Signal um ca. 100 nsec verzögert. Damit wird es trotz vorhandener Signallaufzeit im Triggersignalweg möglich, die auslösende Flanke z. B. einer Sprungfunktion sichtbar zu machen.

Aufgebaut ist die Verzögerungsleitung aus gegenläufig gewendelten Leiterpaaren auf PE-Kern. Sie ist symmetrisch und hat einen Wellenwiderstand von 115 Ω .

2.2.8 Ablenkendstufen

X- und Y-Ablenkendstufen müssen relativ große Signalamplituden bereitstellen. Die Ablenkung des Elektronenstrahls erfolgt elektrostatatisch, der Verstärker wird daher im Ruhezustand nicht belastet. Bedingt durch die Kapazität von Ablenkplatten, den Zuleitungen sowie sonstiger zusätzlicher Schalkapazitäten tritt jedoch im geforderten Arbeitsfrequenzbereich eine beträchtliche dynamische Belastung in Form von Umladungsarbeit auf.

Die Ablenkendstufen müssen selbstverständlich so dimensioniert sein, daß sie die zu erwartende Blindleistung aufbringen können.

In der Vergangenheit wurde dies dadurch erreicht, daß die Ablenkendstufen entsprechend niederohmig ausgelegt wurden. Das Ergebnis waren relativ hohe Verlustleistungen, die sich auch durch Kompensation der kapazitiven Last mit Drosselspulen nur schwer auf ein vernünftiges Maß reduzieren ließen. Solche Schaltungskonzepte erforderten teure, hochbelastbare Transistoren, die obendrein nur durch zusätzliche Kühlkörper im zulässigen Arbeitstemperaturbereich gehalten werden konnten.

Leider sind Kühlkörper auch nicht problemlos, da sie die kapazitive Belastung weiter erhöhen. Im Oszilloskop MO 53 wurde das Problem durch Einsatz aktiver Schaltungskonzepte gelöst. Gemeinsames Merkmal solcher Schaltungskonzepte sind die drastisch reduzierten Ruhestrome und die damit verbundene deutliche Absenkung der Verlustleistung in den Ablenkendstufen. Wie eine solche Schaltung realisiert werden kann, zeigt Bild 7. Dort ist ein Zweig der an und für sich symmetrischen X-Ablenkendstufe dargestellt.