

## **Pegelstellerbesonderheiten im MTX-Monitor**

Die analogen Präzisionspegelsteller werden digital gesteuert. Gegenüber relativ einfach zu realisierenden integrierten und preiswerten, volldigitalen Volumenreglern ermöglicht diese Auslegung vor allem bei stärkerer Absenkung des Audiosignals erheblich verzerrungsärmere Signalverarbeitung. Ganz besonders gilt dies für 16-Bit-Systeme.

## **Digitale Pegelsteller**

Rein digitale Pegelsteller sind bei hohen Anforderungen an die Signalqualität nur sehr eingeschränkt zu empfehlen, besonders bei gering eingestellten Abhörlautstärken und üblichen 16-Bit-Formaten. Bei einer Verstärkungseinstellung von ca. -20 dB eines digitalen Abschwächers wird der Pegelmittelwert je nach Programm-Material bei ca. -30..-40dB gegenüber der Vollaussteuerung liegen. Der Grundrauschpegel bleibt aber etwa gleich, unabhängig von der eingestellten Verstärkung. Daraus folgt, dass die Dynamik etwa proportional zur eingestellten Pegelabsenkung abnimmt. Bei heute üblichen Quelle mit hauptsächlich 16 Bit-Quantisierung reduziert sich die Dynamik im angenommenen Beispiel von bestenfalls 95 dB auf ca. 70..75 dB.

Das eigentliche Problem besteht aber in den nichtlinearen Verzerrungen (THD = total harmonic distortion), die aufgrund der Auflösung bei einer digitalen Pegelabsenkung stark ansteigen. Im angenommenen Fall steigen die Verzerrungen typisch um den Faktor 10 an. Bei leiseren Stellen einer CD oder DAT-Aufnahme von ca. -20 dB kommt noch einmal eine Erhöhung der Verzerrungen um den Faktor 10 dazu. Ein DA-Wandler welcher bei Vollaussteuerung mit nichtlinearen Verzerrungen von ca. 0,005% angegeben ist, erreicht dann üblicherweise nur einen THD-Wert von etwa 0,2..0,5 %. Diese Verzerrungen sind auch bei höheren THD-Komponenten (Oberwellen k3..k9) noch sehr ausgeprägt und störend. Damit ist hochwertige Musikübertragung ausgeschlossen! Bei höherer Auflösung der Digitalaufnahme; wie z.B. 24 Bit oder „Dithering“-Verfahren reduziert sich diese Problematik drastisch.

## **Warum analoge Pegelsteller**

Analoge Pegelsteller besitzen diese Problematik prinzipiell nicht. Auch bei geringerem Wiedergabepegel, wie in unserer Betrachtung, ist theoretisch keine nennenswerte Einschränkung der Auflösung festzustellen. Dies hängt aber auch ganz entscheidend von der Schaltungstechnik der Verstärkerzüge hinter dem Pegelstellerpoti ab. Auch das Poti selbst kann Verzerrungen verursachen. Es gibt Potis deren gesamter Innenwiderstand nicht weitgehend rein ohmscher Natur ist. Kapazitive und induktive Anteile verursachen häufig messbare Nichtlinearitäten. Ein großes Problem stellt auch ein ungenügender Gleichlauf beider Kanäle beim Stereopotentiometer dar. Gleichlauffehler von 2-3 dB sind vor allem bei kleineren Verstärkungseinstellungen keine Seltenheit. Hochwertigere Ausführungen liegen im Arbeitsbereich (0...-40 dB) bei typ. 0,5..1 dB Gleichlauffehler (Tracking). Nach längerer Betriebszeit sind Probleme mit der Kontaktsicherheit der Schleifer ein bekanntes Übel vieler Potentiometer. Da die sich nach Jahren bildenden Übergangswiderstände im Poti nicht linear sondern pegelabhängig sind, werden hier neben völligen Signalausfällen auch zusätzliche Verzerrungen mit überwiegend k3-Verzerrungen (Verzerrungen mit überwiegenden Anteilen der 3. Oberwelle) feststellbar sein. Für motorgetriebene Potis, die oft für Lautstärke-Fernbedienungen verwendet werden, gilt die gleiche Problematik.

Hochwertige elektronische Regler welche mit VCAs (Voltage-Controlled-Amplifier) aufgebaut sind haben bei sorgfältiger Entwicklung in der Regel keine Probleme mit der Zuverlässigkeit oder dem Gleichlauf auch nach Jahren Betriebszeit. Ihr Hauptnachteil sind überwiegend eine Einschränkung der Dynamik und im Verhältnis zu hochwertiger Audioelektronik relativ hohe Verzerrungen. Diese treten vor allem bei großen Pegeldifferenzen zwischen Ein- und Ausgang des Pegelstellers und mit überwiegenden Anteilen der 2. und 3. Oberwelle auf, je nach angewandter Schaltungstechnik.

Pegelsteller mit elektronisch angesteuerten integrierten Schaltkreisen haben in der Regel ebenfalls keine Probleme mit der Zuverlässigkeit und dem Gleichlauf. Bei einfachen Schaltkreisen entstehen hier aber, vor allem bei hohen Eingangsspannungen, oft Verzerrungen mit Obertonanteilen der 2. Oberwelle. Auch die mögliche Dynamik und Pegelstellerauflösung wird meistens zu stark eingeschränkt.

## Pegelsteller im MTX-Monitor

Im **MTX-Monitor** werden mit die hochwertigsten, heute erhältlichen Schaltkreise für analoge Pegelsteuerung verwendet. Diese arbeiten im Signalweg rein analog, werden aber digital über einen separaten Microprozessor angesteuert. Neben dem Volumen wird auch die Balanceregung in den selben Verstärkerstufen realisiert. Zur Optimierung der Pegelstellerauflösung wurden je Kanal 4 Pegelsteller-Schaltkreise eingesetzt. Neben einer internen Auflösung von 0,125 dB je Pegelstufe wurde damit auch die Dynamik gegenüber ähnlichen Schaltungen fast verdoppelt.

Der Drehgeber zur Verstärkungseinstellung arbeitet als Gleichspannungsregler mit einem 40-fach-Rastwerk-Poti. Die hier gewonnene Gleichspannung wird anschließend durch einen AD-Wandler digitalisiert und vom Hauptprozessor in den entsprechenden Pegelwert je Kanal umgerechnet. Ein digitaler Fensterkomparator verhindert ein hin- und herschalten zwischen zwei Pegelstufen, falls der Volumenregler genau zwischen zwei digitalen Pegelstufen steht. Diese Daten werden dann entweder direkt im MTX-Monitor oder über die Fernbedienungsleitung zum Pegel-Prozessor weitergeleitet. Hier erfolgt dann die erforderliche Ansteuerung der analogen Schaltkreise. Dabei findet bei einer plötzlichen Drehung des Reglers kein großer Pegelsprung im Verstärker statt. Vielmehr wird der Prozessor vom bisherigen Pegel zur gewünschten Einstellung sehr viele kleine Pegelschritte in kürzester Zeit (wenige Milli-Sekunden) durchlaufen um Knackgeräusche, auch als Zipperrausche bekannt, zu verhindern.

Zur Ansteuerung der Pegelstellerstufe wurde bewusst nicht auf Inkremental-Drehgeber zurückgegriffen (Endlos-Rastwerke), da diese kein gutes Reglergefühl und keine eindeutige Rückmeldung der eingestellten Lautstärke vermitteln können. Die Zugriffszeit für eine bestimmte Verstärkungseinstellung wird mit der im MTX-Monitor eingesetzten Technik gegenüber Inkremental-Drehgebern oder Tipp-Tasteneingabe verbessert. Es lassen sich genaue Lautstärkeeinstellungen sehr schnell realisieren, ähnlich Verstärkern mit passiven Potentiometern.

Die **Nachteile** der im MTX-Monitor angewandten Schaltungstechnik sind :

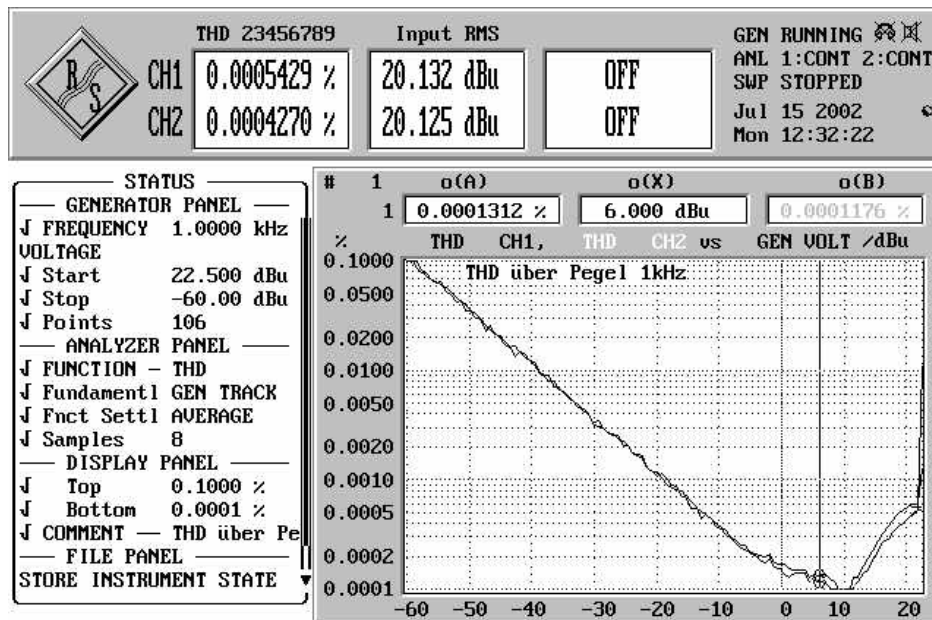
1. der Platzbedarf
2. hoher Schaltungsaufwand
3. teure Bauteile
4. benötigt kräftigere Stromversorgung
5. sehr komplexe Ansteuerung über separaten Mikroprozessor

Die **Vorteile** dieser Schaltungstechnik sind :

1. sehr geringe Verzerrungen
2. hohe Dynamik
3. exzellente Kanalgleichheit
4. höchste Zuverlässigkeit auch noch nach Jahren
5. hervorragendes Reglergefühl
6. eindeutige Rückmeldung der eingestellten Lautstärke
7. keine störenden Knackgeräusche während der Einstellung
8. nahezu beliebige Charakteristik durch Software bestimmbar
9. Balanceregung ohne Schaltungserweiterung integrierbar
10. Pegel- und Balanceregung fernbedienbar

# AUDIO-SIGNALQUALITÄT ANALOG

Nachfolgender Messschrieb zeigt die typischen, extrem geringen Nichtlinearitäten bei einer Verstärkung von 1 und verschiedenen Eingangspegeln am MTX-Monitor. Von -13 dBu bis +20 dBu Signalpegel liegen die THD-Verzerrungen unter 0.0005% ! Das Minimum liegt bei +10 dBu (ca. 2,5 Volt) noch unter 0.0001% und ist für Pegelsteller im Digital-Audiobereich bis heute nicht erreichbar.



Ein zusätzlicher Vorteil der elektronischen Pegelstellerstufe ist die exakte Gleichheit zwischen den beiden Audiokanälen. Im üblichen Regelbereich liegt der Gleichlauf bei typ. 0,05 dB! Selbst bei -60 dB werden noch typ. 0,1 dB Gleichlauf erreicht. Die Dynamik des Pegelstellers bei Verstärkung 1 (Eingangspegel = Ausgangspegel) liegt deutlich über 120 dB.

## Das Massekonzept im MTX-Monitor

Voraussetzung für die exzellente Kanaltrennung der Eingänge des MTX-Monitor von über 120 dB bei 1kHz ist das außergewöhnliche Massekonzept dieses Gerätes. Störströme oder ungenutzte Eingänge werden üblicherweise nach Masse geschaltet. Diese Störsignale bleiben auch bei stärksten Leiterbahnen und großflächigsten Schirmflächen auf der Platine. Das Ergebnis sind teilweise deutlich hörbares Übersprechen oder zusätzlich eingestreute Verzerrungskomponenten.

Im MTX-Monitor wurde ein völlig neuer Weg beschritten um diese Problematik weitgehend zu beseitigen. Störströme und Signalanteile von nicht angewählten Signalquellen werden nicht in die Audiomasse abgeleitet sondern über eine getrennte virtuelle „Schmutzmasse“, die keine Verbindung zur Audiomasse hat, kurzgeschlossen. Selbst relativ hohe Signalströme im Kopfhörerverstärker gelangen nicht, wie sonst üblich, auf die Audiomasse. Diese Ströme werden durch eine aktive, künstliche Masse abgefangen und durch Rückspeisung ins Netzteil unschädlich gemacht. Ohne diese Schaltungstechnik wäre eine hohe Kanaltrennung auf solch kleinem Raum kaum möglich. Die erreichten Verbesserungen gegenüber üblichen Entwicklungen liegen ca. beim Faktor 10.

Zusätzlich wurde erheblicher Aufwand in der Stromversorgung geleistet um auch noch so geringe Störungen nicht in die Audiomasse zu speisen. Das Netzteil erzeugt extrem stabile und reine Versorgungsspannungen (das Rauschen bei Vollast liegt bei ca. 30µV!). Die digitalen Steuerungen haben eine eigene Stromversorgung sowie eine eigene Masse. „Ultra-Low-Drop“- Schaltungen für alle Versorgungsspannungen lassen nur geringe Wärme im Gerät entstehen. Trotz hohem Aufwand und digitaler Pegelsteuerung kommt der MTX-Monitor mit nur ca. 10...12 W Leistungsaufnahme aus, was auch der Lebensdauer des Gerätes zu Gute kommt.

## Phasenreinheit im MTX-Monitor

Der MTX-Monitor besitzt einige Funktionen die man bei gewöhnlichen „High-End“-Verstärkern vergeblich sucht, die aber im Tonstudio oder im Masteringbereich unverzichtbar sind. Dies ist z.B. die Phasendreher-Funktion. Theoretisch wird ein Signal ausgelöscht, wenn es mit einem gleichartigen, um  $180^\circ$  phasengedrehten und absolut pegelgleichen Signal gemischt wird.

Beim MTX-Monitor ist diese Funktion realisierbar durch gleichzeitiges Aktivieren der Mono- und Phasendreher-Tasten. Bei einem Monosignal wird der Pegel jetzt um ca. 60 dB absinken (abhängig von der Pegelgleichheit der beiden Kanäle der Signalquelle). Außerdem beeinflusst der relative Phasengang der beiden Kanäle den Klang (Frequenzgang) bei dieser Testeinstellung.

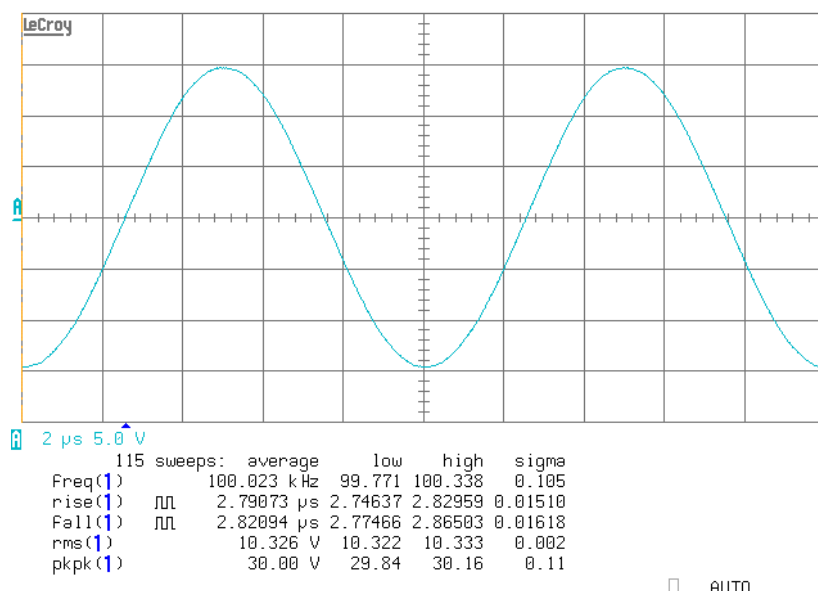
Mit dieser Funktion lassen sich Pegelungleichheiten einer Signalquelle schnell erkennen (je größer die Auslöschung um so besser die Kanalgleichheit) und je geringer der Klangunterschied zwischen dieser Testfunktion und dem Normalbetrieb um so phasenreiner ist der relative Phasengang der Audioquelle. Falls das sendende Gerät Pegelunterschiede zwischen links und rechts erzeugt und die Ausgänge dieses Gerätes ableichbar sind, kann durch Abhören mit dieser Funktion die Signalquelle auch ohne Verwendung von genauen Messinstrumenten auf Pegelgleichheit (in dieser Testfunktion auf minimale Lautstärke) abgeglichen werden!

Die extrem geringe relative Phasendrehung des MTX-Monitor von typ. unter  $1^\circ$  und die hervorragende Pegelgleichheit von typ. 0,01..0,02 dB erlauben solch außergewöhnliche Tests der angeschlossenen Audio-Geräte.

## Frequenzgang des MTX-Monitor

Der MTX-Monitor hat einen typischen Frequenzgang von unter 1Hz...500 kHz -3 dB. Selbst extrem kurze, aber hohe Signalimpulse werden daher sauber verarbeitet und können den Verstärker nicht überfordern. Transiente Intermodulationsverzerrungen treten durch die sehr schnell arbeitenden Verstärkerstufen praktisch nicht auf.

Testsignal Bild 1: Großsignalbandbreite des MTX-Monitor. Sinussignal 100 kHz bei einem Pegel von ca. 10V rms bzw. 30Vpp (entspricht ca. +22 dBu Leitungspegel). Selbst größte Audiosignale mit höchsten Frequenzen weit über dem Hörbereich können die Verstärker sauber übertragen. Diese Messkurve zeigt, dass das Gerät ideal auch für die neuesten Digital-Audio-Quellen, welche mit bis zu 192 kHz Abtastrate arbeiten, eingesetzt werden kann.

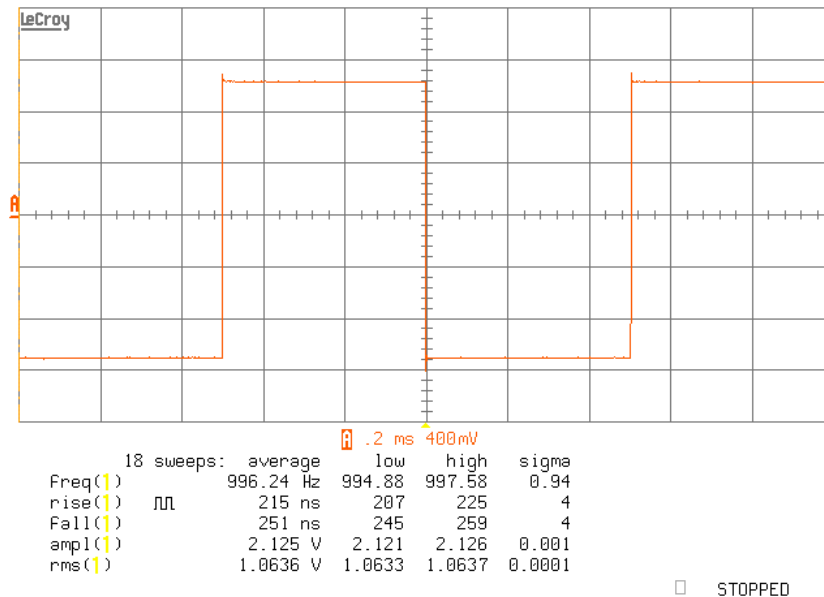


# AUDIO-SIGNALQUALITÄT ANALOG

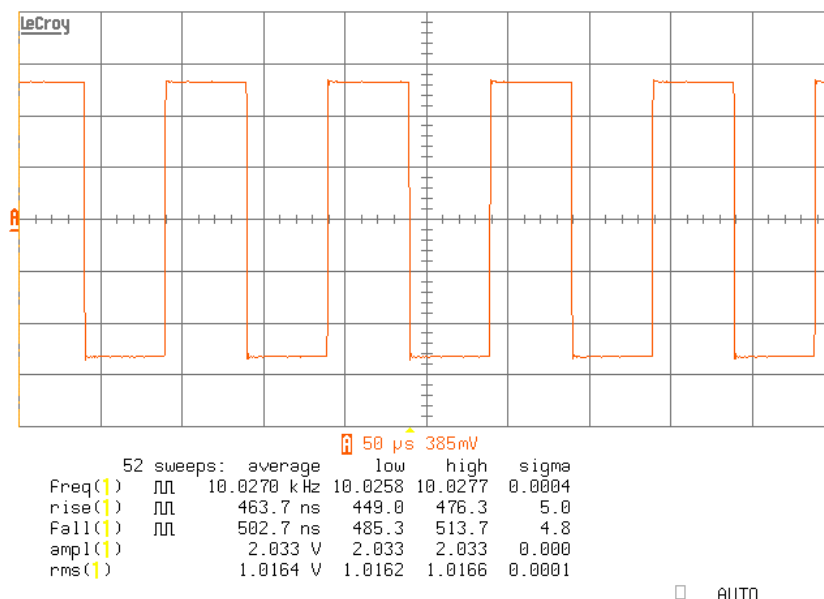
## VERSTÄRKERPFAD :

Der **MTX-Monitor** ist mit sehr breitbandigen Verstärkerzügen ausgestattet die eine außergewöhnliche Signalübertragung gewährleisten. Dies belegen eindrucksvoll nachfolgende Messschriebe. Angesteuert wurde der auf 0 dB Verstärkung (Eingangssignalpegel = Ausgangssignalpegel) eingestellte MTX-Monitor mit Rechtecksignalen eines schnellen Pulsengenerators.

Testsignal Bild 1: 1 kHz bei einem Pegel von ca. 2V Spitze-Spitze an einem typ. Lastwiderstand von 10 kOhm. An der kaum sichtbaren Dachschräge ist der weite Frequenzgang im Bassbereich erkennbar.

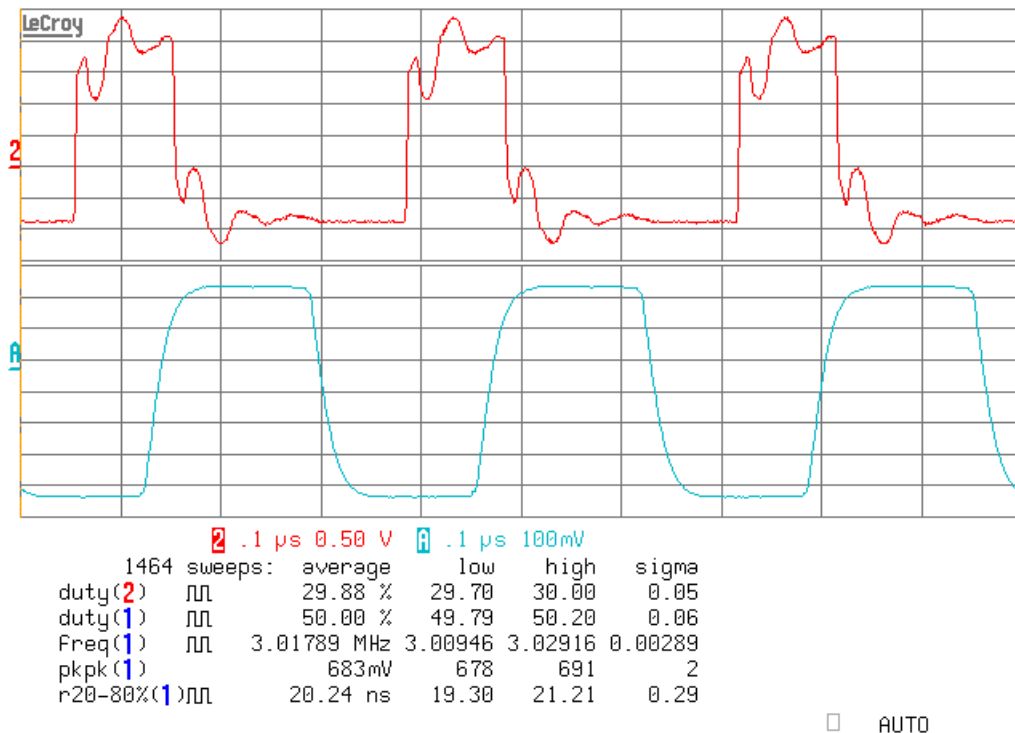


Testsignal Bild 2: 10 kHz bei einem Pegel von ca. 2V Spitze-Spitze. Lastwiderstand des Oszilloskop bei dieser Messung: 50 Ohm. Die sehr steilen Flanken zeigen den weiten Frequenzgang des MTX-Monitor im Hochtonbereich. Auch schnellste Impulse werden exakt wiedergegeben!



## EIN- und AUSGANGSVERSTÄRKER :

**AMS-2 DAR** und **PAS-8** sind nicht nur als Aufnahmesignal-Umschalter, sondern vor allem als hochwertige **Monitor-Matrix** in Verbindung mit einem externen D/A-Wandler konzipiert. Um die dafür erforderliche hohe Signalqualität zu garantieren, arbeiten alle Ausgänge dieser Router mit einer automatischen "Duty-Cycle"-Nachregelung (positive und negative Pulsweiten werden einander angeglichen). Dadurch wird die Bit-Breite (Tastverhältnis) auch bei sehr unterschiedlichen Eingangspegeln und verschiedenen Anstiegs - und Abfallzeiten des am Eingang anliegenden Signals weitgehend konstant gehalten. Dies gilt auch für den Insert (Einschleifweg) im PAS-8.



Oben stehendes Diagramm veranschaulicht die Arbeitsweise der Duty-Cycle-Regelung. Die obere rote Kurve zeigt ein stark fehlangepasstes Eingangssignal mit zusätzlich im Verhältnis 30/70 stark verschobenem Tastverhältnis (oberste Zeile der Messwerte). Der Signalpegel beträgt ca. 3,5V<sub>ss</sub>. Die untere blaue Kurve zeigt das vom PAS-8 korrigierte, saubere Ausgangssignal mit einer Duty-Cycle-Symmetrie von typisch 50 % (2...5. Zeile der Messwerte) ! Gut zu erkennen sind auch die genau definierten, überschwingungsfreien Anstiegs- und Abfallzeiten sowie die Verzögerungszeit zwischen Ein- und Ausgang.

Alle Verstärkerstufen sind auf minimalstes Jitter optimiert. Die Verzögerungszeit für den Monitorweg von einem Eingang direkt zum Ausgang beträgt ca. 60 nS (Nano-Sekunden) und ca. 70 nS für den Recordweg. Bei zugeschaltetem Insert im PAS-8 addieren sich weitere 30 nS. Durch diese extrem kurzen Verzögerungszeiten ist selbst das Einfügen in vernetzte, synchrone Studioanlagen möglich.