



À la recherche du sonperdu...

FUNK LPA-2A

KHV-SET

Ein Hörbericht

In diesem Artikel geht es um ein weiteres im Produktportofolio eher unauffälliges Gerät der Firma Funk Tonstudioteknik aus Berlin. Betrachtet wird das [LPA-2a Kopfhörerverstärker-Modul](#) inklusive dazu passendem [Netzteil](#) und [SIA-5 V2](#) Platine desselben Anbieters. Die [Referenzliste](#) dieses Anbieters exquisiter analoger Tonstudioteknik der Extraklasse ist lang. Bei Produkten zur professionellen Abhörkontrolle geht es im Wesentlichen um Neutralität, Verzerrungsfreiheit und Linearität bei der Wiedergabe. Weder ein warmer Kuss der Mitten, ein Roll Off der Höhen noch eine künstliche „Aufdickung“ des Tieftonbereiches wäre für eine sichere Klangbeurteilung von Tonmaterial am Ende hilfreich. So birgt nennenswert eigenklingendes Wiedergabeequipment bei der Tonproduktion immer die Gefahr, ein fehlerbehaftetes Erzeugnis zu produzieren, welches in letzter Instanz beim Kunden zu kontroversen Diskussionen führen kann. So zeigte sich der Funk LPA-2a vorbildlich als äußerst neutraler Vertreter seiner Gattung.

Ein Kopfhörerverstärker mit Herausforderungen

Besonders für die älteren Hörer, deren Wurzeln bis in die Analogzeit der Audiotechnik zurückreichen und deren zeitliches Erleben von einem stetigen höher, weiter und schneller geprägt war, stellt insbesondere dieser Kopfhörerverstärker auch eine geistige Herausforderung dar. Er verdeutlicht geradezu exemplarisch, dass jede ernsthaft und seriös betriebene Entwicklung auch einmal an einem Punkt angelangt ist, wo ein hörbares besser im Sinne von Klangtreue, kaum noch möglich zu sein scheint. Die [Messwerte](#) und akustischen Leistungen sind im Sinne einer neutralen Tonwiedergabe - auch Draht mit Verstärkung genannt - auf einem qualitativ wünschenswerten Punkt dazu angelangt. Der LPA-2a bringt genau das zu Gehör, was als Signal ihm gereicht wird. Nicht mehr aber auch nicht weniger. Das bedeutet jedoch in der technischen Praxis und Umsetzung aller-

dings eines nicht zu unterschätzenden Aufwandes an Entwicklung und Fertigung. linealgatter Frequenzgang und Verzerrungswerte über Frequenzgang betrachtet die im 1000tel Prozentbereich liegen, stellen auch Heutzutage eine Hausnummer dar! Der realisierte Dynamikumfang des LPA-2a-Designs beträgt beeindruckende 142 dB(A) bzw. 138 dB BW 20 Hz..20 kHz unbewertet gemessen bei einer Last von 47 Ω ! Wir erinnern uns, dass 24 Bit an tatsächlich auch realisierter Digitalauflösung einem Dynamikumfang von 144 dB entsprechen. Einen Wert, den auf Linepegelniveau bezogen, alle Audio-Digitalwandler des Marktes auch heute noch nicht erreichen. Am Rande: Der von Dr. Jahne entwickelte Stagetec True Match AD Wandler erreicht auf für den LPA-2a vergleichbaren Linepegelniveau einen Dynamikumfang von bis zu 133 dB(A). Erst unter Einbeziehung des Mikrofonpegelniveaus erreicht der True Match AD-Wandler am Ende eine Dynamik von ca. 155 dB(A)! Allerdings passiert in diesem auch mehr mit dem Signal als bei einem Kopfhörerverstärker.

Bei der Musikproduktion ist der Einsatz derart hochwertiger „State of the Art“ Digitaltechnik - auch heute - bei Weitem nicht der Regelfall! Dem Autor dieser Zeilen ist somit weltweit kein weiterer Kopfhörerverstärker bekannt, der derart exzellente Messwerte erreichen würde! Zu den Messwertbetrachtungen im Einzelnen später mehr. Bei derart extrem hochwertigen Gerätequalitäten handelt es sich in der Praxis schon lange nicht mehr um die zahlreich am Markt vertretenen und typisch aufwandbegrenzten Commercial Designs. In diesem Fall haben wir es mit hoch spezialisiertem Equipment sehr spezialisierter Hersteller zu tun. So wie es sich beim [True-Match AD-Wandler](#) der Firma Stagetec aus Berlin, um ein absolut technisches Topdesign mit Ausnahmecharakter handelt, so kann das auch bruchlos auf den Funk LPA-2a im KHV-Bereich übertragen werden. In beiden Fällen ist dem Autor nur sehr wenig Equipment bekannt, das in puncto Signaltreue einen Vergleich vollends zulassen würde. Genauer betrach-

tet erhält man in beiden Fällen ein technisches Design, das ein Ausmaß an Signal-treue und Perfektion weit jenseits der grundsätzlichen Fähigkeiten des menschlichen Hörsinnes besitzt. Um an dieser Stelle vorbeugend Missverständnissen aus dem Weg zu gehen: Es gibt durchaus eine große Anzahl von Audioequipment, welches weitaus schlechtere Messwerte und damit auch oft klangliche Eigenheiten aufweist. Im Sinne einer mehr subjektiven Betrachtung können derartige Geräte aber trotzdem insgesamt durchaus wohl**klin-****gende** Eigenschaften aufweisen.

Halten wir aber an dieser Stelle wissenschaftlich belegt fest, dass zusätzliche Verzerrungen nichts anderes darstellen als eben Signalabweichungen vom angelieferten „Originalsignal“. Das ist in vertraglichen Grenzen nicht per se schlecht oder stellt kein grundsätzliches K.O. Kriterium dar, sondern liegt ganz im vorgesehenen Verwendungszweck und Anspruch des jeweiligen Anwenders begründet. Wer jedoch schnelle klangliche Entscheidungen treffen muss, sei angeraten dabei auf möglichst neutrale Technik ohne nennenswerten „Fingerabdruck“ zu setzen. Primär für diesen Zweck wurde der LPA-2a von Thomas Funk entwickelt. Selbstredend weiß so ein Gerät nicht „nur“ die eigentliche Beschaffenheit einer Tonaufnahme sehr genau aufzuzeigen, sondern deckt in gleicher Weise natürlich auch mögliche „klangliche Eigenarten“ des vorgeschalteten Quellen- und Verteilerequipments auf! An dieser Stelle sei noch einmal hervorgehoben: Bei Gehörtem, welches über den LPA-2a mit klanglichen Fragezeichen daherkommt, sollte zunächst beim vorgeschalteten Equipment, dem verwendeten Kopfhörer und bei der jeweiligen Aufnahme nach der möglichen Ursache geschaut werden. Langjährige Eigenbeobachtungen des Autors bestärkten dessen Eindruck, dass man keinesfalls qualitative Mängel des Quellen- und Verteilerequipment durch akustisch verdeckend wirkende Folgegeräte versuchen sollte zu „reparieren“! Weitere technische Daten des LPA-2a

lassen darauf schließen, dass dieser auch mit Kopfhörern niedrigen Wirkungsgrades bestens zurechtkommt. Dazu wurde die Leistung des LPA-2a mit einem aktuellen Netzteil PWS-04a.V2-1 in der Version mit ± 19 Volt gemessen. Bei Anschluss-Impedanzen von 47, 33 und 22 Ω waren **je Kanal** (THD unter 0.05% Hörgrenze) 1300 mW und 1000 mW an Ausgangsleistung ermittelbar. Für gewöhnlich weisen die meisten Kopfhörer des Marktes einen Leistungsverbrauch zwischen 0,5..50 mW auf. Betrachten wir nun einmal als Worst-Case-Szenario die sehr wirkungsgradschwachen Kopfhörer der Marke [Hifiman](#): HE 5 und HE-5 LE. Die Leistungsaufnahme bei 90dB RMS beträgt ca. 4,32 mW. Bei Annahme eines dynamischen Musiksignals mit 12 dB Crestfaktor würden Peak-Werte von ca. 102 dB erreicht. Bei einer jeweiligen Verdoppelung der Leistungsaufnahme pro 3 dB Lautstärkerhöhung und der Einberechnung, das für die Messungen Sinussignale jeweils verwendet werden, würden kurzzeitig bei 102 dB als Peak-Wert ca. 35 mW Leistungsaufnahme pro Kanal abgerufen. Deutlich höhere Leistungsaufnahmen wären bei Verwendung des Hifiman HE 6 zu erwarten. Dieser benötigt für 90dB-RMS 19,69 mW! Wiederum unter Annahme von 12 dB Crestfaktor würde kurzzeitig bei einem Peak-Wert von 102 dB eine Leistungsaufnahme von ca. 158 mW pro Kanal entstehen. Selbst der hauseigen dafür vorgesehene [Hifiman EF 6 Kopfhörerverstärker](#) leistet an 32 Ω gerade einmal 610mW. Bei dieser Leistungsabgabe produziert dieser aber schon **ein Prozent** THD!

Weitere „[Kopfhörerflugschiffe](#)“ wie der Sennheiser HD 800 liegen bei 90 dB RMS bei Leistungsaufnahmen (pro Kanal) von 0,16 mW, Audeze LCD-3 0,66mW, Beyerdynamik T1 0,18-0,28 mW, Beyerdynamik DT 880 (250 Ohm) 0,38 mW und Ultrasone Edition 10 bei 0,43 mW. Bei Verwendung eines Audiosignals mit 12 dB Crestfaktor würden je nach Kopfhörermodell bei 102 dB (Peak) rechnerisch kurzzeitige Leistungsaufnahmen zwischen 1,3 bis 5,3

mW pro Kanal entstehen. Diese Werte liegen damit sehr weit unterhalb der ermittelten Leistungsabgabefähigkeiten des Funk LPA-2a. Die Verzerrungswerte sämtlich genannter Kopfhörerdesigns liegen deutlich oberhalb der Verzerrungswerte der LPA-2a Verstärkerelektronik. Für weitere praktische Berechnungen bietet sich der Rechner auf http://www.kopfhoererverstaerker.de/rec_hner.htm an. Weitere messtechnisch ermittelte Kopfhörergrunddaten sind dazu auf <http://www.innerfidelity.com/headphone-data-sheet-downloads> umfangreich einzusehen.

Hörtest

Der praktische Hörtest wurde mit den Kopfhörern der Marke Beyerdynamik und den Modellen [T 1](#), [DT 880 Pro \(250 Ohm\)](#) und [DT 250 \(250 Ohm\)](#) durchgeführt. Dabei handelt es sich um Kopfhörerkonstruktionen, die von der Entwicklungsintention dem grundsätzlichen Anliegen und Sinn eines LPA-2a sehr entgegen kommen. Es sei dem Autor an dieser Stelle Verständnis entgegengebracht, dass eine Aufzählung bestehend aus „nur“ drei Kopfhörern natürlich nicht das Bild des ganzen Kopfhörerweltmarktes abdecken kann. Es sind aber die Modelle, die unter vielen Audioprofis eine breite Akzeptanz und Verwendung finden. Diese Auswahl wurde getroffen, da genannte Modelle klanglich äußerst nahe mit der tonalen Wiedergabe der Premium-Studiomonitore [Klein und Hummel O 410](#), [ME Geithain RL 901](#) und [KS Digital ADM 10](#) korrelieren. Besonders die beiden erstgenannten Modelle zählen unter den gut informierten Tonleuten in Deutschland zur ersten Wahl. Die Modelle sind so auch in vielen hochwertig ausgestatteten Mastering- als auch Tonstudioeinrichtungen installiert. So zeigte sich auch in den darauf folgenden Hörversuchen, dass quasi jede Art von Aufnahme und Tonmaterial profitierte: Klassik wurde klar gestaffelt dargestellt. Die Ortung von Einzelinstrumenten war mühelos möglich,

und ohne dass diese dabei aus dem homogenen Gesamtklangbild fielen. Jazz und Gesangstimmen bekamen mehr Mikro- und Makrodynamik. Kleinste zuvor überhörte Details und Nuancen wurden hörbar und integrierten sich homogen in die Akustik des Aufnahmeraums, der wiederum eine realistische Ausleuchtung erfuhr. Bei elektronischer Musik gerät der Bass wesentlich definierter und damit intensiver. Jeweilige musikalische Themen und Linien waren klar zu erkennen. Der Tiefton respektive die Bass Linie wurden klar, detailliert und sauber umrissen. Kurzum: Der Autor fand beim Hören im Sinne von Klangtreue bei der „funkschen“ Konstruktion keinen Kritikpunkt, an dem man noch anecken konnte. Traten nennenswert klangliche Kritikpunkte auf, so lagen diese in der Machart der jeweiligen Aufnahme selber begründet. Es wäre auch unrealistisch davon auszugehen, dass jeweils bei allen Aufnahmen ein so hochpräzises Abhören wie mit dem Funk LPA-2a und entsprechenden Kopfhörern grundsätzlich immer zur Verfügung gestanden hätte! Wer nun glaubt, dass dieser KHV ausschließlich für sogenannte audiophile Aufnahmen geeignet ist, der täuscht. Der Funk KHV ist für alle Arten von Aufnahmen gleichermaßen geeignet und stellt keine Musikrichtung dabei hinten an. Sehr gut Aufgenommenes klingt entsprechend gut und bei schlechten Aufnahmen bleiben die Mängel der entsprechenden Aufnahme nicht im Verborgenen. Letzteres muss dabei aber nicht unbedingt einen unglücklichen Problempunkt darstellen. Ein sehr schönes Beispiel dafür ist das Album **„Unknown Pleasures (Re-mastered) (Collector's Edition)“** der [Gruppe Joy Division](#). Auf CD 2 der Collectors Edition befinden sich gegenüber der geläufigen „Unknown Pleasures“ Ausgabe noch ein Live Konzert der Gruppe. In Manchester am 11. April 1980 mitgeschnitten hören wir daraus die Tracks 6-8 („[She's lost control](#)“ „Shadowplay“ und „Disorder“). Der Sound ist alles andere als tontechnisch perfekt eingefangen. Trotzdem weiß die authentische Machart dieser Stücke bei der Wiedergabe emotional vollends mitzureißen ... Der Funk KHV stellt perfekt den

damals für die Joy Division Konzerte typisch rohen Sound dar. Mit diesem für die Musikrichtung faszinierend wirkenden Sound hatte man die Gruppe als Live-Ereignis erstmalig kennen und schätzen gelernt. Der zeitliche „Flash back“ der viele Erinnerungen weckt gelingt. Viele Jahre später hat der Autor eine kurze und genial treffliche Kritik des Albums auf Amazon gelesen, die als Zitat Eingang in diesen Artikel finden soll.

So schrieb ein Autor mit Namen „bug-fix303“ am 26. Oktober 2001: *„[Joy Divisions](#) Musik ist sicher nicht Jedermanns Sache und man muss möglicherweise ein wenig Geduld mitbringen, bis sich einem die Magie von *Unknown Pleasures* erschließt. Ich weiß noch genau wie ich damals in den 80ern *Unknown Pleasures* zum ersten Mal hörte und zunächst ziemlich enttäuscht war von dieser völlig untheatralischen und scheinbar amateurhaft produzierten Musik. Es dauerte ein paar Tage bis zum Kick-In, dann jedoch wurde *Unknown Pleasures* zu einem meiner persönlichen Lieblingsalben und das ist es bis heute. *Unknown Pleasures* ist die vertonte Katharsis. Dunkel, metallisch und voll von aufwühlender Energie. [Ian Curtis](#) Lyrics und Vocals reflektieren das innere Aufbegehren einer isolierten Seele, getragen und vorangetrieben von brachialen Gitarren-Riffs, trockenen Bass-Melodien (sic!) und peitschenden Drum-Sequenzen. Einen wesentlichen Anteil an *Joy Divisions* Sound hatte Produzent [Martin Hannett](#), der mit völlig unorthodoxen Frequenzspektren eine extrem intensive, düstere Atmosphäre schuf. *Joy Divisions* Musik wird oft mit dem Attribut "depressiv" umschrieben. Die Wesensverwandtschaft ist sicher vorhanden, dennoch wird *Unknown Pleasures* nicht durch Verzweiflung bestimmt, sondern eher durch unemotionale Abgeklärtheit. Die Reise ins Innere der Seele endet in genialer Weise mit "I Remember Nothing". Das Tempo wird reduziert, es kehrt Ruhe ein. Die Abkehr vom Gewesenen ist vollzogen.“*

An dieser Stelle sei die [Verfilmung](#) der Geschichte von Joy Division „Control“ aus dem Jahre 2008 noch einmal empfohlen.

Für die Freunde der elektronischen Musik seien nochmal die Stücke „Da Funk“ und „Around the World“ der 1993 gegründeten französische House-Formation Daft Punk in Erinnerung gerufen. Die Formation bestehend aus Guy-Manuel de Homem-Christo und Thomas Bangalter veröffentlichte das erste Studioalbum „Homework“ am 17. Januar 1997. Das Album gilt als der wesentliche Einfluss für die Housemusik der Jahre 1997-2001. Die Basswiedergabe des LPA-2a wird bei den Stücken besonders gefordert und weiß dabei absolut zu überzeugen. Es ist eine wahre Freude zu erleben, wie hart und sauber der Beat sich über den DT 880 Pro in die Gehörgänge schraubt! So wäre es dann auch ein Ammenmärchen zu glauben, dass selbst die eher als wenig audiophil geltenden Freunde der House-Musik schwammig-weiche oder brutzelnde Bässe abweichend zur Tonträgermachart bevorzugen würden...! Bei derartiger Musik ist der DT 880 Pro der persönliche Favorit des Autors. Für die Freunde eher audiophiler Klänge zum Ende noch ein interessanter Hörvorschlag: [Puccinis La Boheme](#) in der Decca Einspielung mit Herbert von Karajan. Im Oktober 1972 wurde diese Aufnahme in der hervorragenden Akustik der [Jesus-Christus-Kirche, Berlin-Dahlem](#) von Ray Minshull und James Mallinson aufgezeichnet. Im Speziellen auf CD 2 Track 11 „Gavotta“ 01:00—01:40 die Szene mit dem Säbelkampf dazu angespielt. Über eine regie-taugliche Installation abgehört beginnt der Säbelkampf ca. 50 cm außerhalb der Basisbreite des linken Lautsprechers. Dieser wandert im Verlauf der Szene bis ca. 35 cm außerhalb der Basisbreite und etwa 35 cm unter das akustische Zentrum des rechten Lautsprechers. Exakt diese Ausdehnung wird auch über genannte Kopfhörer mit dem Funk LPA-2a hörbar. Bei Klassik greift der Autor übrigens gerne zum Beyerdynamik T1 und DT 250 (250 Ω).

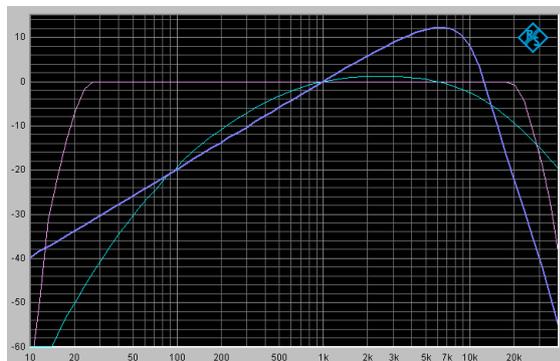
Resümee und Meßwerte

Das Kopfhörerverstärker-Modul LPA-2a kann inklusive Netzteil als Set bei Funk Tonstudioteknik erworben werden und sollte von jedem zusammengesetzt werden können, der in der Lage ist Kabelverbindungen an Stecker und Buchsen sauber zu verlöten. Per Jumper auf der Platine kann der Verstärkungsfaktor zwischen 0 ... +12 dB (-6...+18 dB mit SIA-5) auf die jeweiligen Bedürfnisse angepasst werden. Sollten trotz Bauplan noch Fragen aufkommen, wird auch telefonisch geholfen. Der Kopfhörerverstärker bietet den Anschluss eines asymmetrisch geführten Kopfhörers an. Besonders in den letzten beiden Jahren sorgten diverse neue Kopfhörerverstärker für den symmetrischen Kopfhörerbetrieb ausgelegt, immer wieder für kontroversen Diskussionsstoff. Klärend wäre dazu gesagt, dass ein symmetrischer Ausgang für einen Kopfhörerverstärker klanglich an sich nichts bringt. Technisch kann durch den symmetrischen Betrieb allerdings mit nur halber Betriebsspannung die gleiche Leistung (bei gleichem Strom) erzielt werden. Trotz geringerer Versorgungsspannung als im asymmetrischen Betrieb wäre auf diese Weise eine höhere Leistungsabgabe möglich, bis zum 4-fachen bei entsprechender Stromlieferfähigkeit und gleicher Versorgungsspannung wie im asymmetrischen Betrieb. Durch welche dieser beiden Methoden (symmetrisch oder unsymmetrisch) ein Hersteller eine bestimmte Leistungsabgabefähigkeit erzeugt ist klanglich, wenn jeweils ordentlich technisch ausgeführt, völlig irrelevant. Die Technikidee dahinter ist schon über 30 Jahre alt und wird hauptsächlich im professionellen Bereich bei Hochleistungsendstufen eingesetzt. Eine getrennte Zuleitung für beide Kopfhörerkapseln würde theoretisch eine gegenseitige Beeinflussung über eine gemeinsame Masseleitung verhindern. Wenn allerdings der Masse-Referenzpunkt im Kopfhörerverstärker optimal gelegt werden kann, sind auch bei einem ansonsten einwandfreien Schaltungslayout, kaum auditiv relevante Übersprechprobleme zu erwarten. Der Rest der teilweise lustigen

Geschichten wäre wieder einmal findigen Kauf- und Marketingleuten zuzuschreiben, die heutzutage immer mehr die Führungsetagen auch technisch orientierter Firmen stellen. So trifft man aktuell auch dort immer stärker auf Werbekampagnen, die sich mehr denen für Modeartikel und Wunderdrogen annähern. Investitionen und Gewinn mit virtueller Substanz. Scheinbar ganz wie bei den Leerverkäufen nach dem Vorbild der Finanzwelt. Ganz anders die Philosophie und das Vorgehen bei der Firma Funk Tonstudioteknik. Die Firma wird von einem technischen „Oberhaupt“ der auch der Eigentümer ist geführt und Produktfortschritte werden dort rein technisch über Begrifflichkeiten wie Frequenzgang, Rauschabstand und Verzerrungen definiert. So findet man dort auch keine ruinösen Bestände an Edelmetallen vor, sondern investiert besser in „State of the Art“ Messtechnik. Die Entwicklung derart technisch perfekter Produkte wie u.a. der LPA-2a wäre ohne diese auch gar nicht möglich. So stellen sich die Messwerte der hier beschriebenen LPA-2a-Modul-Konfiguration auch als wirklich über allen Zweifeln erhaben und absolut vorbildlich heraus. Es dürfte schon eine äußerst schwierige Aufgabe sein, auf dem Weltmarkt weitere Kopfhörerverstärker zu finden, die sich besser messen – und schon gar nicht auf Preisniveau dieser Testkonfiguration. Die mit diesem technischen Design erreichten Messwerte liegen sehr weit unterhalb der akustischen Rezipierbarkeit des menschlichen Hörapparates. Alle Messmethoden und Messbedingungen wurden nach IRT 3/5 Pflichtenheft oder vergleichbar erstellt. „Geschönte“ Messergebnisse durch Messungen nach Hi-Fi-Norm DIN 45500 die nach A-Bewertungskurve (dBA) gemessen und effektiv bewertet werden, als auch bei der Angabe von Störpegeln diese auf Pegel von +6 dBu - oder noch höher - anstatt 0 dBu zu beziehen, wurden an dieser Stelle nicht angewandt. Die A-Bewertungskurve bildet dabei die Eigenschaften des menschlichen Gehörs nur unzureichend ab. Die professionelle Studiotechnik arbeitet teilweise auch mit der sehr kritischen [CCIR 468qp-Bewertung](#). Hier wird eine gute Überein-

stimmung mit unserem Gehör erreicht, wobei der mittlere Frequenzbereich deutlich angehoben und alles mit Quasi-Peak-Bewertung gemessen wird. Oft auch auf den in Europa überwiegend genutzten Arbeitspegel von + 6 dBu bezogen. Die sich durch die [CCIR 468qp-Bewertung](#) ergebenden Messwerte sind typ. 9..12 dB schlechter als bei linearer Messung und Effektivwert-Bewertung. Zum Abschluss des Artikels noch ein Zitat von Herrn Sengpiel: „Audiogeräte zeigen in ihren Datenblättern häufig A-bewertete Störabstände – nicht weil das etwa mit unserem Gehör gut übereinstimmen würde- sondern weil damit beispielsweise Brummkomponenten versteckt werden können, die sonst ein Datenblatt schlechter aussehen lassen. Worte an helle Köpfe: Immer fragen, was ein Hersteller wohl zu verbergen hat, wenn nur die A-Frequenzbewertung angegeben wird.“

Unterschiedliche Bewertungsfilter



Rosa – CCIR468 ungewichtet (Fremdspannung)

Blaue – CCIR 468qp gewichtet (Geräuschspannung)

Grün – A-gewichtet

Sehr schön zu erkennen wie bei CCIR 468qp gewichtet (blaue Kurve) die Frequenzbereiche zwischen 1 kHz und 12,5 kHz kritischer bewertet in die Messung einfließen.

Bei der ungewichteten Fremdspannungs-Messung (rosa) fließen ungedämpft das Störverhalten der Audioelektronik im Tieftonbereich wie eventuelle Brummstörungen mit in die Messungen ein.

Bei der A-Bewertungskurve (grün) ist zu erkennen wie gegenüber der CCIR 468qp gewichtet Kurve diese unzureichend den Bereich zwischen 1 kHz-12,5 kHz bezogen auf die tatsächliche Empfindlichkeit des menschlichen Hörsinnes nach der [40 Phon-Kurve gleicher Lautstärkepegel](#) gerecht wird.

ABBILDUNG 1

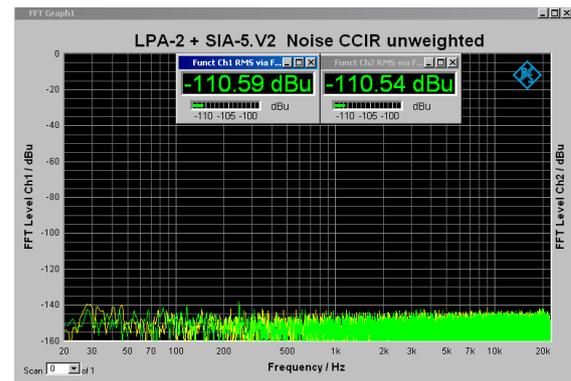


ABBILDUNG 2

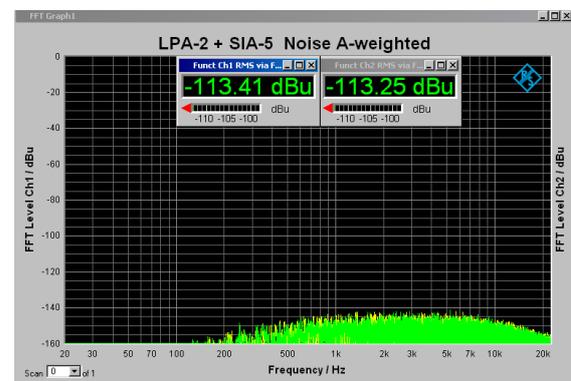


ABBILDUNG 3

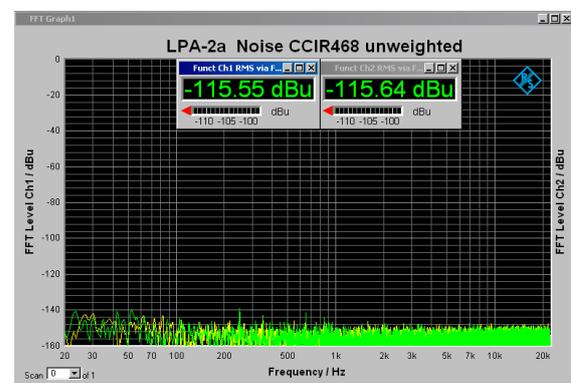
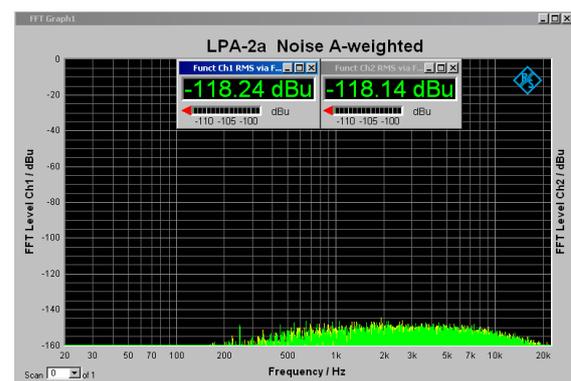
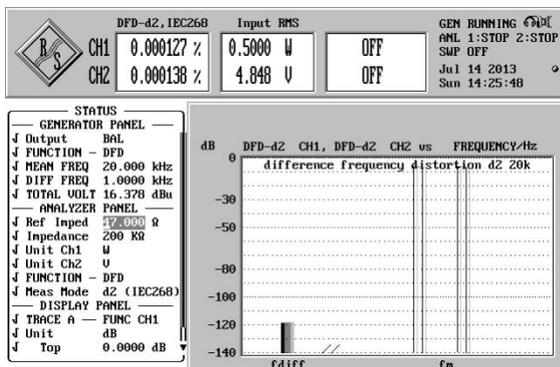


ABBILDUNG 4



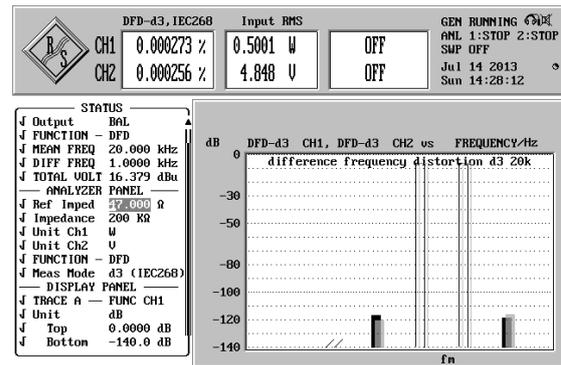
Die Noise-Messungen (Abbildung 1-4) am LPA-2a bzw. LPA-2a + SIA-5.V2 mit jeweils 47 Ω Last am Ausgang und dem PWS-04a.V2 als Stromversorgung gemessen. Volumen voll auf (0 dB Gain) und niederohmigen Eingang von typ. 10 Ω . Zu beachten ist, dass die Messwerte nicht ganz dem Datenblatt entsprechen. Die Datenblattwerte wurden mit dem [AP2722](#)-Analyzer gemacht, der noch mal 2 dB weniger Eingangsrauschen hat. Das Eigenrauschen des [Rohde&Schwarz UPV](#) liegt CCIR468 unbewertet bei ca. -118 dBu und A-bewertet bei ca. 120,5 dBu. Bei den Messungen ohne SIA-5.V2-Karte ist der Hauptanteil des Rauschens durch den UPV verursacht. Der UPV ist aber in der Lage ein feiner aufgelöstes Spektrum darzustellen. Daher die Messungen mit dem UPV und 64k-FFT-Auflösung. Sehr exemplarisch ist bei den Abbildungen 1-4 auch hier die Wirkung zwischen A-weighted und CCIR 468 unweighted gemessen zu sehen. Die A-Wertungskurve bildet die durchschnittliche Empfindlichkeit des menschlichen Gehörs nur unzureichend ab. Überall wo ganze Geräteketten zum Einsatz kommen sollte aber nach CCIR 468 unbewertet gemessen werden. Bei den in Abbildung 1-4 dargestellten Werte handelt es sich um RMS-Werte (Effektivwerte).

ABBILDUNG 5



Differenzfrequenzverzerrungen d2 bei 2x 500 mW an 47 Ω , Testfrequenzen : 19 + 20 kHz.

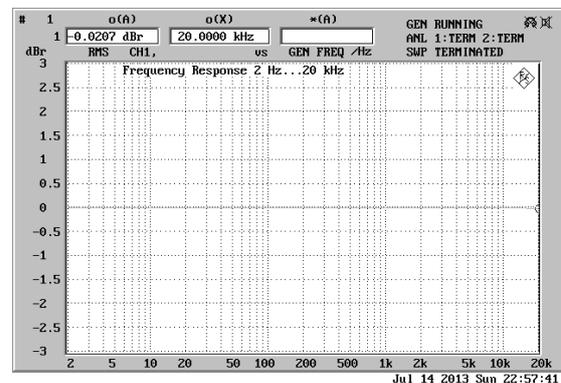
ABBILDUNG 6



Differenzfrequenzverzerrungen d3 bei 2x 500 mW an 47 Ω , Testfrequenzen : 19 + 20 kHz.

Künstlich produzierte [Differenztöne](#) haben die gleiche "raue" Klangqualität wie die auch im Ohr besonders ab 90 dBA Abhörpegel entstehenden Differenztöne. Die Abbildungen 5-6 zeigen das extrem niedrige und längst nicht mehr hörbare Differenztonniveau des Funk LPA-2a-Moduls! Das IRT Pflichtenheft 3/5 schreibt in dieser Disziplin einen Wert von mindestens 60 dB Differenztondämpfung vor. Die Höhe der Differenztondämpfung sollte bei großem Abstand zu den Testfrequenzen, grundsätzlich unterhalb -60 dB liegen. Der Grenzwert von -60 dB wird bereits je nach Grundfrequenz schon bei den niedrigeren Harmonischen bei THD-Messungen als höchster Grenzwert angegeben. Die niedrigeren Harmonischen wirken zudem weniger störend als die Differenzfrequenzen. Für unser Ohr sind dabei Störungen durch Differenzfrequenzen und Intermodulation deutlich besser hörbar, da sie nicht in die natürliche Harmonischen-Struktur passen.

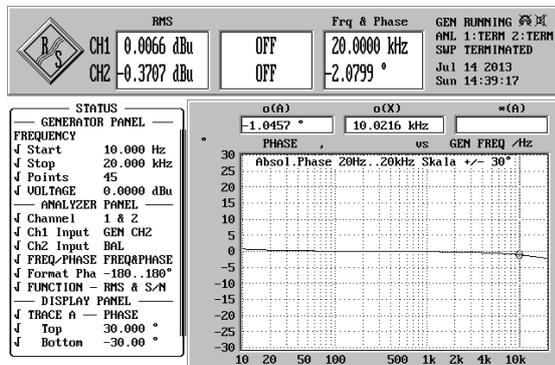
ABBILDUNG 7



Linealglatte Frequenzgang gemessen bei +6 dBu. Bei Geräten mit Röhrentechnik

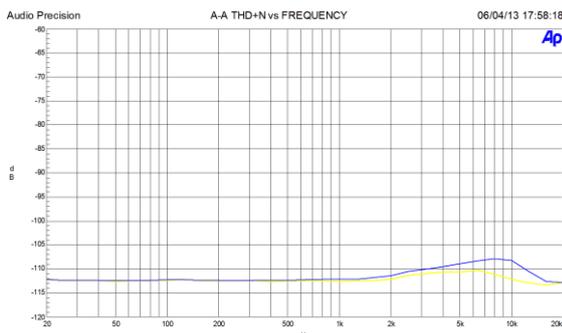
und/oder Übertragern im Signalweg müsste der Frequenzgang zwischen -54 dBu (-60 dB unter Bezugspegel) und maximalem Nennpegel zusätzlich gemessen werden. Der LPA-2a ist selbst bis 200 kHz und +22 dBu Pegel noch linear. Ein Wert, den kein dem Autor bekannter Audioanalyzer überhaupt asymmetrisch senden kann. Der LPA-2a besitzt eine max. Anstiegszeit von typ. 20 V/ μ S. Für solche Tests wird bei Funk Tonstudioteknik ein [DS360 von Stanford Research](#) verwendet. Dieser Ultralow-Distortion-Analyzer lässt Sinusmessungen mit sehr hohem Pegel bei Frequenzen bis 280 kHz zu.

ABBILDUNG 8



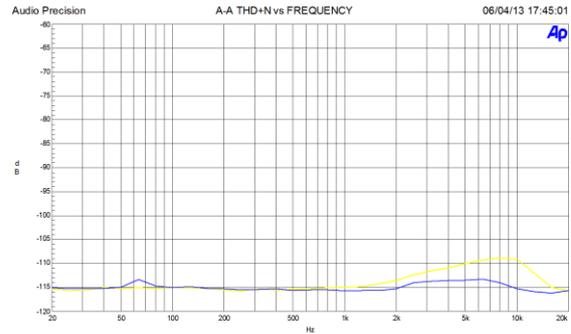
Auch der geringe Phasengang an 47 Ω Last (absolute Phase) bis 20 kHz zeigt sich auf einem rekordverdächtigen Niveau. Die Werte für die relative Phasendifferenz $L <> R$ liegen bei 10 kHz typ. unter $0,2^\circ$.

ABBILDUNG 9



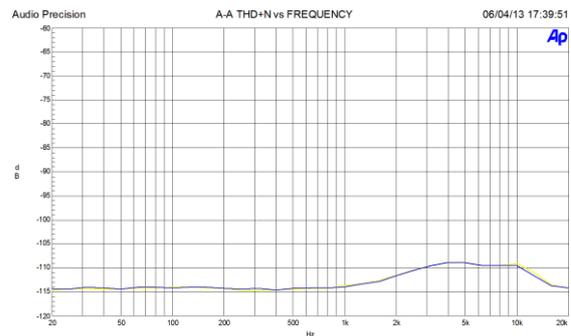
THD+N 32 Ω 2x 50 mW (Messbandbreite 20 Hz..22 kHz)

ABBILDUNG 10



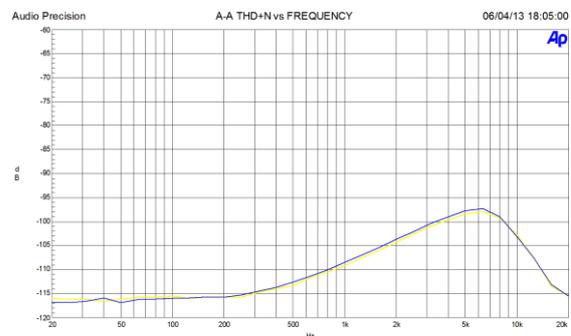
THD+N 32 Ω 2x 250mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 11



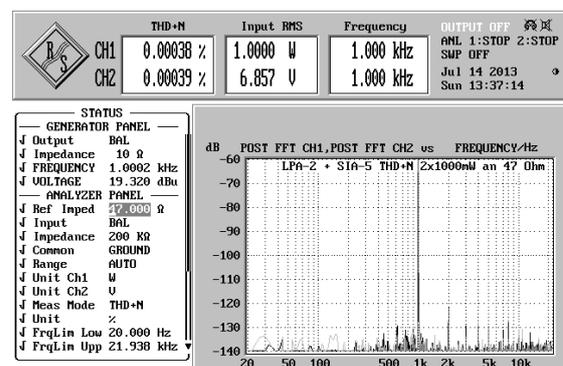
THD+N 32 Ω 2x 500mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 12



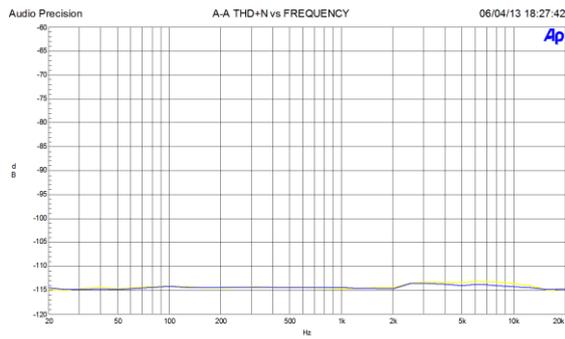
THD+N 32 Ω 2x 1000mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 13



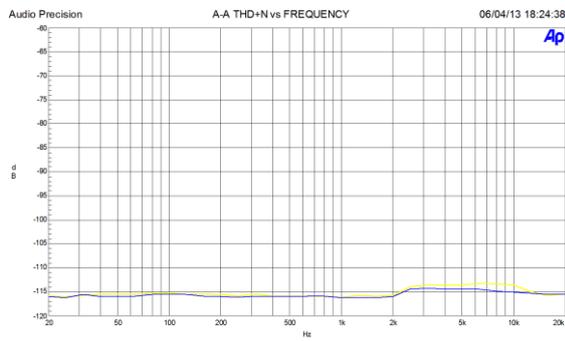
Verzerrungsspektrum bei 1 kHz und 2x 1000 mW an 47 Ω

ABBILDUNG 14



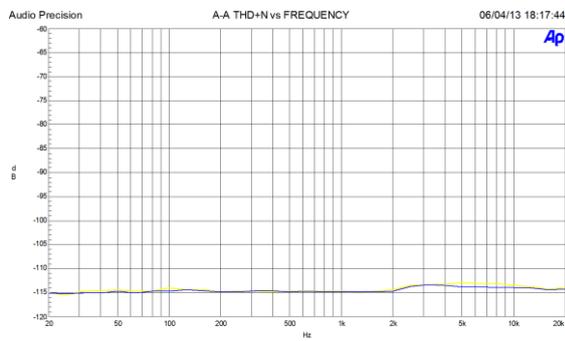
THD+N 100 Ω 50 mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 15



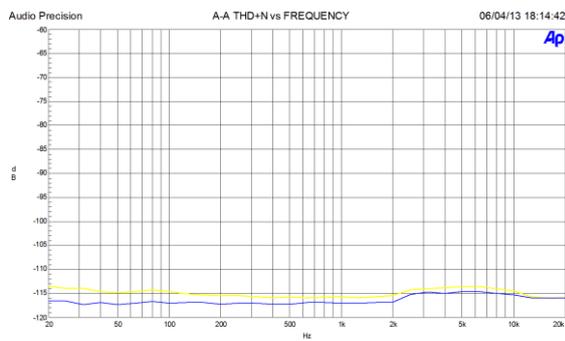
THD+N 100 Ω 2x 250mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 16



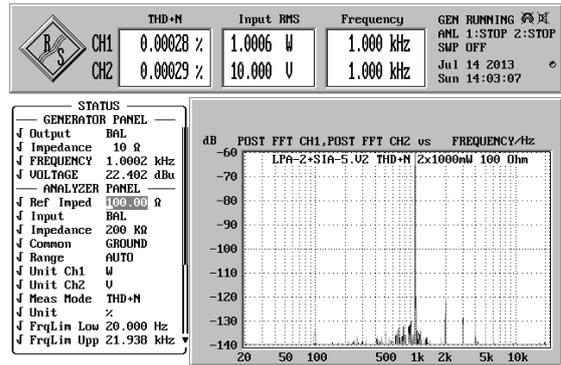
THD+N 100 Ω 2x 500mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 17



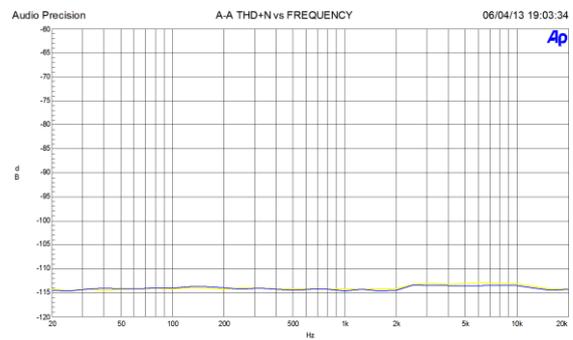
THD+N 100 Ω 2x 950 mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 18



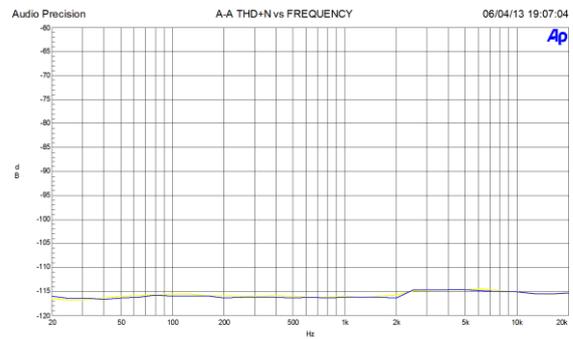
Verzerrungsspektrum bei 1 kHz und 2x 1000 mW an 100 Ω

ABBILDUNG 19



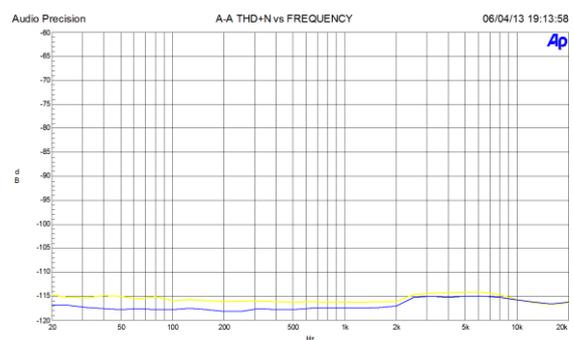
THD+N 300 Ω 2x 50mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 20



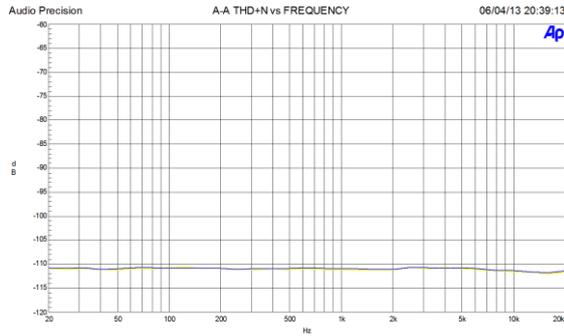
THD+N 300 Ω 2x 250mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 21



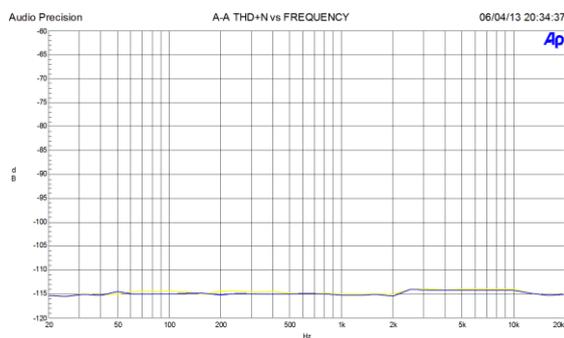
THD+N 300 Ω 2x 390mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 22



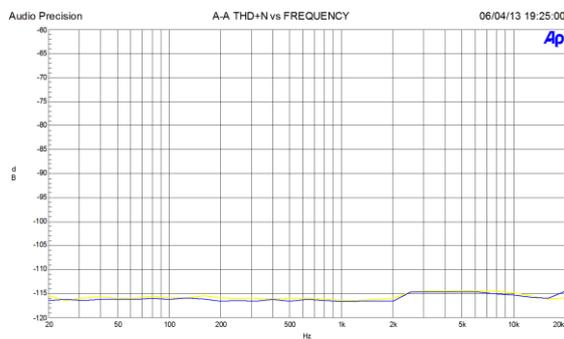
THD+N 600 Ω 2x 2mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 23



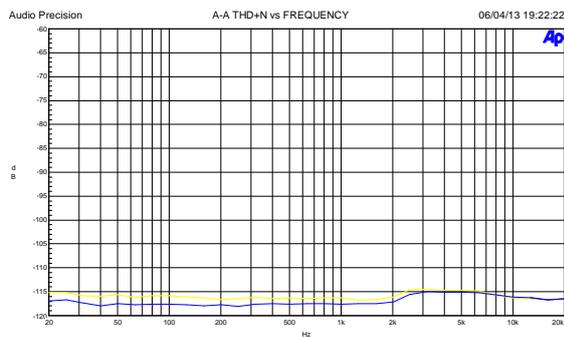
THD+N 600 Ω 2x 10mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 24



THD+N 600 Ω 2x 50mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

ABBILDUNG 25

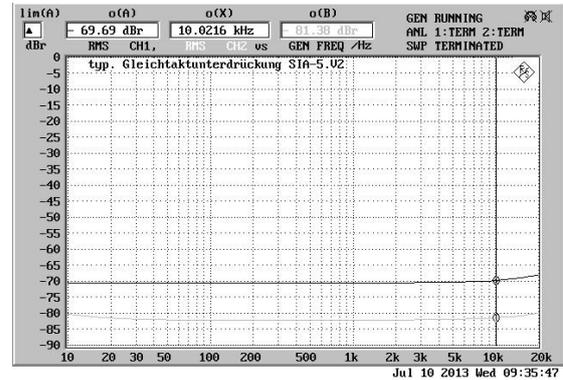


THD+N 600 Ω 2x 200mW (Messbandbreite 20Hz..22kHz)

Die in den THD+N Messdiagrammen (Abbildung 9-26) abgelesenen negativen dB-Pegel können mit dem Sengpiel-Tontechnikrechner in prozentuale Verzerrungswerte umgerechnet werden:

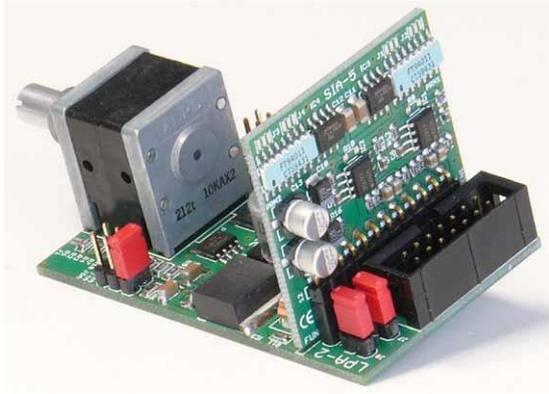
<http://www.sengpielaudio.com/Rechner-klirr.htm>

ABBILDUNG 26



Gleichtaktunterdrückung SIA-5.V2 über Audio-Frequenz bei +15 dBu anstatt +6 dBu selektiv gemessen

In der Regel ist die Gleichtaktunterdrückung bei kleinen Pegeln noch besser. Wenn ein Eingang bei +15 dBu z.B. 80 dB CMRR schafft, dann ergeben sich in der Praxis bei +6 dBu mindestens 80 dB. Eine gute Gleichtaktunterdrückung bei sehr hohen Signalpegeln zu erreichen bedeutet: Sehr lineare Eigenschaften der Eingangsstufe auf beiden (+ und -) Eingängen bis möglichst dicht an die Versorgungsspannungen heran. Je größer die Aussteuerung, umso geringer, sind hohe Werte für die CMRR anzutreffen. Die klassische CMRR-Messung nach DIN 45404 IRT3/5 wird in der Regel selektiv gemessen. Die hier angewandte Messmethode mit einer Messbandbreite von sogar 22 kHz führt durch zusätzliches Rauschen zu einer leichten Verschlechterung des Messergebnisses. In der Summe bietet die hier angewandte Messmethode einen kleinen zusätzlichen Sicherheitsabstand.



LPA-2a + [SIA-5.V2](#)

Sonderspezifiziertes niederohmiges 10 K Ω ALPS-Poti. Die niederohmige Ausführung sorgt für geringstes Rauschen und minimiert Verzerrungen, die durch die Nichtlinearität der Impedanz einer folgenden Eingangsstufe verursacht werden könnten. Mit bis zu 10 Messungen über den vollen Bereich und 4 möglichen Plätzen für Korrekturwiderstände auf der Platine, wird das Gleichlaufoptimum welches man grundsätzlich aus Potentiometern herausholen kann eingestellt.



Netzteil [PWS-04a.V2](#)

Sven Bauer

Information:

Preis Kopfhörerverstärker inklusive SIA-5 STEREO-LINE-VERSTÄRKER mit symmetrischen Eingängen und Netzteil PWS-04a.V2 ca. 245 Euro inkl. MwSt.

FUNK TONSTUDIOTECHNIK ·
GERMANY · 10997 BERLIN
PFUELSTRASSE 1a

Tel. 0049 (0) 30 38106174

Fax 0049 (0) 30 6123449

E-Mail Verkauf / Kundendienst:
Funk@Funk-Tonstudioteknik.de