

Der schnell(st)e **QC-Drive-Transkonduktanzverstärker** - ein Baustein für meinen Traum von realer Musikwiedergabe im Wohnbereich - verzaubert Wohnräume in Life-Klangbühnen.

Eine 200 Watt (Stereo) AB-Endstufe zu entwickeln und dann noch den Wunsch damit zu verbinden, nicht nach Röhre, Transistor oder Mosfet zu klingen? Klang nur wie Musikinstrumente, ohne hörbare Unterschiede, ist wohl der höchste Anspruch, den man dazu äußern kann. Im Eigenbau sind noch andere Einflüsse zu beachten. Daher wird es vorausgesetzt in der Betrachtung, Empfehlungen bezüglich des Netzteiles zu beachten. Die Endstufe soll theoretisch überhaupt keinen klanglichen Beitrag leisten, sondern einfach Input zu verstärktem Output machen, ohne jegliche Veränderungen.

Hier mit kleinstem Klirrfaktor oder ähnlichen Argumenten zu werben ist zwar richtig, jedoch wird damit nicht geklärt, welche Verzerrungen damit gemeint sind. Ebenso stellt sich die Frage, bei welcher Leistung bzw. an welcher Last diese auftreten. Bei den Verzerrungen sind als Auslöser manchmal erst bestimmte klangliche Ereignisse nötig, durch (bestimmte) Musik erst hervorgerufen, welche dann bei Abweichungen der Verstärker hörbar werden, während wieder andere musikalische Ereignisse scheinbar „ohne Beanstandung durchgehen“. So war es bei meinem ersten CD-Player, welcher zwar einen sehr niedrigen Klirrfaktor in den Daten auswies, aber komplexe Streichergruppen wirkten immer „leicht stumpf“. Wie konnte es also sein? Ähnliches wird den Verstärkern nachgesagt. Der Effekt (CD-Player) lag klar an den Operationsverstärkern. Doch wenn es da diese Effekte gab oder in ähnlicher Form bei Zuspielgeräten oder Preamps auch gab oder noch gibt, dann sicher auch bei Endstufen! Doch die falschen Ansätze haben Ursachen.

Es wirken zum Einen Netzteil-Dimensionierungen auf den Klang wie auch schaltungsbedingte Eigenschaften. Die Verbraucher oder Zubehör werden mitverantwortlich gemacht. Dann wird oft genug diesen eine „Mitschuld“ angedichtet. Unterschiedliche Kabel und Cinch-Leitungen werden dann „klanglich unterschieden“. Was aber, wenn plötzlich der Einfluss der Kabel kaum noch eine Rolle spielt? Obwohl sie unterschiedlich sind und preisliche Größenordnungen damit verschwinden? Zauberei? Sicher nicht, aber die Frage des „wie“ beim steuern komplexer Lasten schon.

Eine Endstufe zu haben, ohne TIM-Verzerrungen, war mein Wunsch. Aber dennoch straff gegengekoppelt, wegen der „allgemeinen“ guten Eigenschaften. Klanglich nicht möglich? Das sei klar voran gestellt, dann hätte ich diese Endstufe nicht gebaut oder darüber dieses hier berichtet.

Die Tests, Aussteuerung mit Sinus, Rechteck, mit oder ohne Last(widerstand), auch mit einem Breitbänder, der aber nicht allzu stark belastet werden darf, gehören dazu. Frequenzgang und natürlich auch der Vollaussteuerungstest, mit und ohne Last und der Übersteuerungstest, ebenfalls mit oder ohne Last, und als absolute Brutalität der Kurzschluss an den Lautsprecherklemmen,

auch mit Vollaussteuerungstest gekoppelt. Allerdings ist dieser Test nur sehr kurz (mit elektronischer Stromversorgung durchgeführt) - in der Praxis einer aufgebauten Endstufe mit eigener Stromversorgung soll dann die Sicherung die Höchstbelastung sofort durch ihr Durchbrennen beenden, und die Schaltung damit sicher schützen. Denn der Fall, doch mal unter Betriebsbedingungen die Leitungen kurz zu schließen sollte nicht unterschätzt werden!

Die Hauptfrage zum Schaltungsdesign: Wie kann ein Verstärker absolut TIM-frei bleiben, wenn er komplexe Lasten treiben muss, und jeder noch so einfache Lautsprecher ist eine komplexe Last?!

In der Konsequenz führte diese Forderung zur dann logischen Schaltung als Leistungs-Operationsverstärker, ohne Emitterfolger oder Sourcefolger. Und sie hat eine Über-Alles-Gegenkopplung. Eine Über-Alles-Gegenkopplung ist jedenfalls nicht pauschal der Grund für TIM, wenn die Konzeption richtig gemacht ist. Sehe ich mir aber einige Schaltungen an, „kann ich die TIM-VERZERRUNGEN regelrecht hören“. Und es wird auch noch so gelehrt! Einfach falsch. Vielleicht sollten diese Entwickler mal ins (klassische) Konzert gehen...

Um frei von Phasendrehungen zwischen tiefsten und höchsten Audio-Frequenzen zu bleiben, wurde auch auf eine weit über den Hörbereich hinaus gehende Bandbreite geachtet. Die Membran-Vorkorrektur verlangt sehr schnelle Anstiegsgeschwindigkeit, damit die Überschussenergie bei Impulsen - welche künstlich dem eigentlichen Musiksignal aufgeprägt wird durch TPS - nicht durch zeitliche Verschleppung in der Endstufe „verpufft“, bevor sie noch maximal wirken kann.

Deshalb soll die Endstufe mindestens die Anstiegsgeschwindigkeit haben, wie der Entzerrer, schneller ist erwünscht. Als Grenzwert nach oben sollte $< 1 \mu\text{s}$ gelten. Das dürfte aber überhaupt kein Problem darstellen. Gemeint ist hier aber hinter der Filterung (an den Lautsprecherklemmen) mit Last gemessen. Das dabei derart schnelle Impulsantworten möglich werden, ist schon bemerkenswert.

Die Ruhestrom-Einstellung erfolgt nach den Kriterien für AB-Betrieb. Der Kühlkörper wird über den Kühlwinkel, welcher fest mit der Platine und den Endmosfets verschraubt ist, mit $0,4 - 0,6 \text{ K/W}$ bemessen und sollte je nach Anforderung ausgelegt werden, er ist besser größer als zu klein zu bemessen. Wenn weniger Leistung nötig ist, genügt ein höherer Wert für die Wärmeleitfähigkeit um $0,85 \text{ K/W}$. Diese Angaben sind für eine Mono-Endstufe bemessen.

Die Gründe für die TIM-Verzerrungen sind u. a. im PDF „TIM“ beschrieben, und gelten auch hier. Kurz zusammen gefasst sind es die Probleme, wenn z. B. eine Induktivität (Schwingspule(n)) für phasenverschobene Spannung sorgt und damit die Abnahme der Leistung von Emittern der Endstufen-Transistoren (gilt genau so für Abnahme an den Sources bei Mosfets) wegen der Probleme der Signal „Streckung oder Stauchung“. Denn wenn am Emitter die Spannung nicht im gleichen Verhältnis steigt oder fällt wie an der

steuernden Basis, hat der Transistor „Stress“. Es entstehen Verzerrungen und diese sind dann auch noch das Maß für die Über-Alles-Gegenkopplung mit entsprechenden TIM-Verzerrungen. Deshalb erfolgt im QC-DRIVE-TRANSKONDUKTANZVERSTÄRKER die Signalabnahme an den Drains (entspricht Kollektoren) und erklärt die Transkonduktanz in etwa. Wie nachfolgend gezeigt wird, soll die Endstufe eben nicht sein! Eine zu mehr oder weniger starken Verzerrungen führende Signalabnahme am Emitter (oder Source) ist damit erklärbar, wenn man die Halbleitergrundsaltung betrachtet.

Als leicht verständliches Beispiel soll eine kapazitive Last am Output wirken, als RC - Last. Hier befindet sich am Arbeitswiderstand vom Emitter nach Masse parallel die Kapazität. Bei Ansteuerung der Basis würde die Basisspannung gegenüber der Emitterspannung ca. 0,7 V höher sein. Jetzt fließt der Basisstrom als Steuergröße und mit der vorhandenen Stromverstärkung ein entsprechender Kollektorstrom, welcher auch dem Emitterstrom zuzüglich Basistrom entspricht. Dieser Emitterstrom würde im Lastwiderstand einen Spannungsabfall erzeugen. Logischerweise ist die gemessene Spannung am Emitter gegenüber Masse dann 0,7 V niedriger als die Spannung an der Basis. Doch der ungeladene parallele Kondensator (oder Kapazität) würde mit der wirkenden Aufladung die Spannung am Emitter (kurzzeitig) kurzschließen! Auch wenn diese Wirkung bei geringen Kapazitäten möglicherweise kaum nachweisbar scheint, weil es in kürzester Zeit zur Nachladung oder Aufladung kommt, so wäre es zumindest in der sehr kurzen Zeit der Aufladephase so, dass der ansonsten richtige Spannungsunterschied von 0,7 V zwischen Basis und Emitter gestört wäre. Denn auch die Erhöhung oder Verringerung der Emitterspannung von außen zieht die Basis höher oder niedriger. Diese erhält aber durch den Steuerstrom eigentlich den Wert, der der normalen unbelasteten (durch die kapazitive Komponente am Emitter) Spannung entspricht. Anders gesagt entsteht kurzzeitig u. U. je nach Größe der kapazitiven Last eine Streckung oder Stauchung der Spannungsverhältnisse Basis-Emitter.

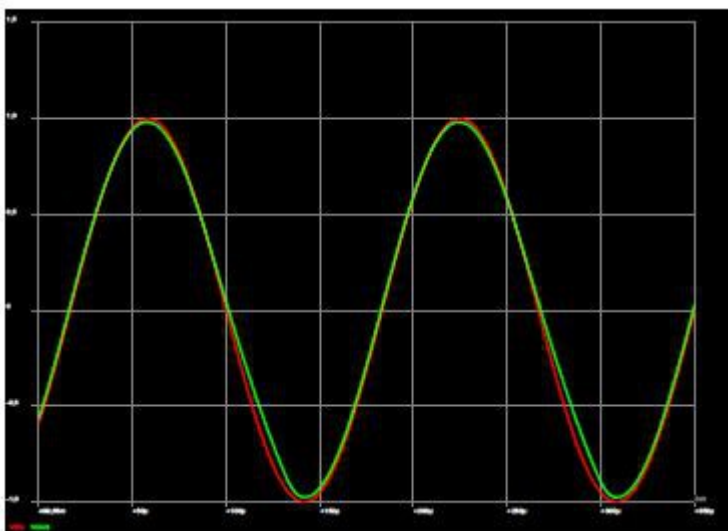


Bild 1 zeigt die verzerrte (grün) Ausgangsspannung am Emitterfolger mit komplexer (kapazitiver) Last (Einzelstufe simuliert, rot Input)

Übertreibt man die Werte deutlich, weil erst dann richtig am Scope sichtbar, kann man z. B. einen Sinus als deutlich verzerrt am Emitter erkennen. Doch würde er kurzzeitig verzerrt sein, hätte man schon Probleme bei der Hörbarkeit bzw.

Erkennbarkeit. Deshalb waren viele Verstärker mit sehr geringem Klirrfaktor bei komplexer Last auffällig. Nicht alle Verzerrungen

sind sofort augenfällig. Die Hörbarkeit der so verzerrten Obertöne macht sich in einer Art bemerkbar, die man als leicht „stumpfen Klang“ bezeichnen könnte. Die im Bild gezeigte Abweichung würde folglich mit rein ohmscher Last nicht auftreten (nur ist dieser Fall nie vorhanden bei Lautsprechern oder Kopfhörern). Da in voll gegengekoppelten Schaltungen die (kurzzeitig verzerrte) Ausgangsspannung als Gegenkopplungsgröße auf den (invertierenden) Eingang zurück geführt wird, entsteht für extrem kurze Zeit eine Gegenkopplungsgröße, die nicht korrekt ist. Damit wird aber die dann gestörte Originalschwingung kurzzeitig verändert und der Klang negativ beeinträchtigt.

Bei induktiven oder teilinduktiven Lasten ist es umgekehrt, die Störung basiert damit auf Phasenverschiebung zwischen Strom und Spannung nicht als Kurzschluss wie bei der Aufladung, sondern als Spannungsüberschuss infolge der Induktion. Damit würde der Emitter ein falsches Potential annehmen und die Basis zwingen, ebenfalls im Potenzial zu steigen. Da würde dann die Steuergröße nicht wirken, weil sie nicht mehr eingreifen kann, und kurzzeitig ins „Leere“ gehen.

Wird dagegen der Ausgangsstrom von den Kollektoren (oder wie hier Drains) abgenommen, kann eine phasenverschobene Stromabgabe nicht auf die Basis (Gate) zurück wirken. Einfaches Beispiel: Eine Änderung der Kollektorspannung (Kollektorstrom) durch Änderung am Arbeitswiderstand ändert an der Basis die eingestellte Spannung nicht.

Mit Spannung aus einem highendigen Netzteil - es hat knapp über ± 50 V DC und wird zum Test benutzt - konnte die Aussteuerung mit ca. $99 V_{ss}$ ohne Lastwiderstand erreichen. Unter Last mit $4,1 \text{ Ohm}$ ergaben sich knapp 220 W . Der Grund ist die nicht stabile Schienenspannung des Elkonetzteiles, welches zwar von einem sehr leistungsfähigen Ringkerntrafo versorgt wird, jedoch ist eine gewisse Spannungsabweichung unter voller Last dann wieder völlig normal. Die 200 W - Marke wurde deutlich überschritten. Der Grund liegt dabei auch in der Z-Dioden-Begrenzung, welche den Kurzschlussstrom und die Leistungsbegrenzung festlegt. Weil hier noch etwas Steigerung der Leistung möglich ist, jedoch auch damit der Kurzschlussfall noch höhere Belastung bedeutet, soll die Leistung nicht unnötig nach oben getrieben werden. Für den Hifi-Bereich bedeutet es ja nicht unbedingt nur „Leistung ohne Ende gleich Qualität ohne Ende“. Eine Erinnerung der Leistungsbedeutung sei erwähnt: Um die Lautstärke um den Wert von 3 dB zu steigern, muss die Leistung verdoppelt werden! Daher ist es eher untergeordnet und nur ein kleiner Einfluss, ob 220 oder 250 W entstünden. Damit ist eine maßvolle Entwicklung realisierbar. Hier wurden insgesamt 4 Endmosfets verwendet, jedoch kann auch auf 6 Endmosfets (weiter unten beschrieben, jedoch nicht auf höhere Leistung getestet wegen Netzteilfrage) erweitert werden, auf der Platine ist es vorgesehen. Ob damit $250 - 300 \text{ Watt}$ möglicherweise erreicht werden, soll perspektivisch bleiben. Will man weniger als 100 Watt , genügt es einen kleineren Netztrafo zu benutzen, mit

gleichen Spannungen ist von Vorteil.

Fein-Optimierung der Rechteckflanke mit einem Breitband-Chassis als Last

Bei 10 - 20 kHz Rechteckflanke zeigen sich Abweichungen deutlicher als bei niedrigen Frequenzen, daher wurde dieser Wert als Bezug benutzt. Eine Optimierung in mehreren Schritten brachte den Effekt, dass die Flanke im Leerlauf ganz geringfügig höher als das Dach schwingt, mit der extrem schnellen Zeit von ca. 0,18 μ s. Der Effekt war gut in stark gedehnter Darstellung erkennbar. Mit dem einfachen Breitband-Chassis als Last war dann erstmals die Steilheit im oberen Bereich der Flanke steiler als ohne Last, jedoch mit leichtem Überschwingen. Die Zeitmessung ergab <0,2 μ s.

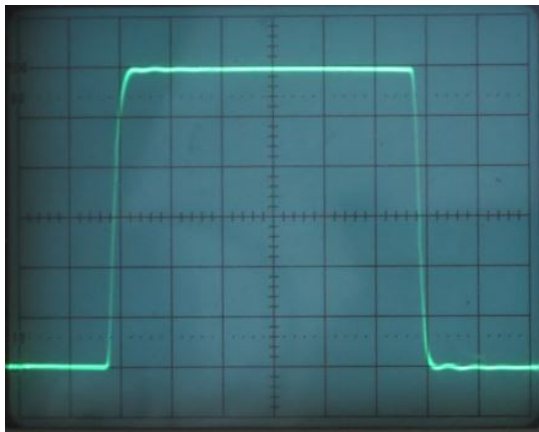


Bild 2
Rechteck 100 kHz mit Breitband-Chassis

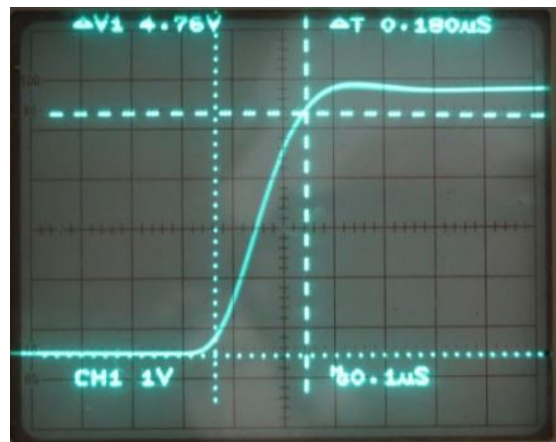


Bild 3
Flanke 90 kHz mit Breitband-Chassis

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der induktive Widerstand der Schwingspule wesentlich höher ist bei 100 kHz als im normalen Audio-Bereich. Bei 1 mH Induktivität (Beispiel) würde bei 100 Hz der induktive Widerstand ca. 0,69 Ohm betragen, bei 20 kHz bereits 125,6 Ohm und bei 100 kHz ganze 628,3 Ohm! Ein Anstieg um 910 fach für die Beispiele - Beleg auch für die Impedanzbreite der Schaltung. Indirekt kann man auch ableiten, wie wichtig eine deutlich niedrigere Induktivität der Schwingspule damit ist. Denn eine homogenere Impedanz kann eine homogenere Leistungsabgabe sichern.

Würde die Flanke noch schneller ansteigen oder wie im Bild 4 zu sehen, abfallen, entstünde jedoch merkliches Überschwingen.

Bild 4 zeigt mit 0,14 μ s die Anstiegsgeschwindigkeit, welche nur als Demonstration der Grenzwerte versucht wurde und nicht realisierbar ist, ohne Überschwingen in Kauf nehmen zu müssen.

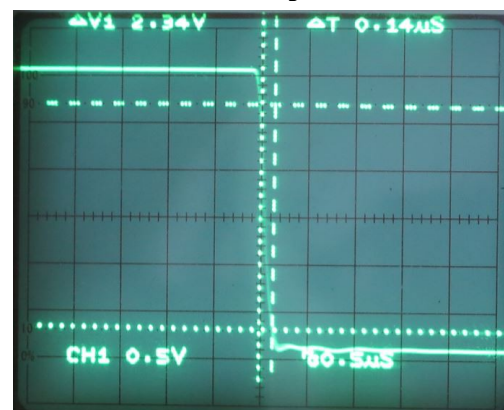


Bild 4

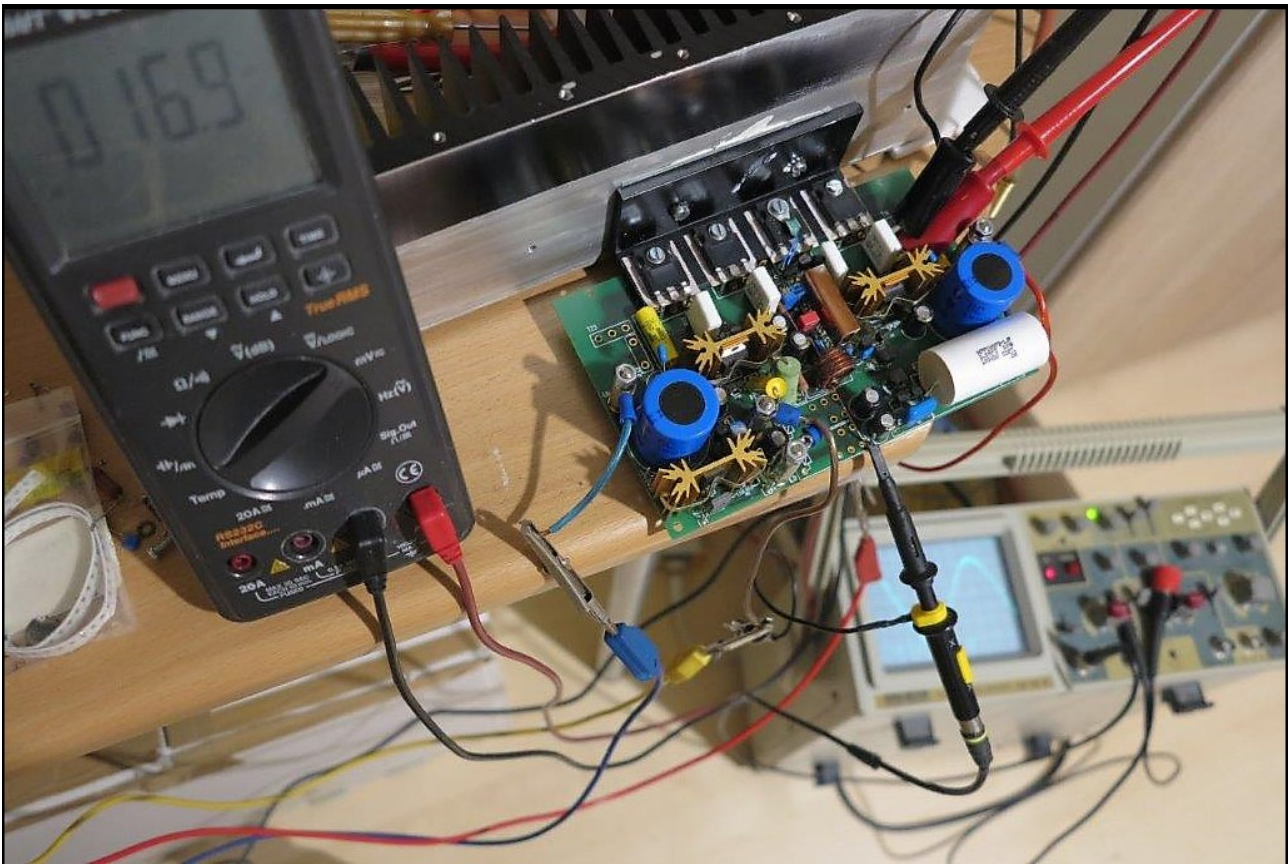


Bild 5

Praxis am Versuchsaufbau

Mit komplexer Last entsteht kein Überschwingen.

Ein Wert um $0,2 \mu\text{s}$ scheint sich als Lösung abzuzeichnen.

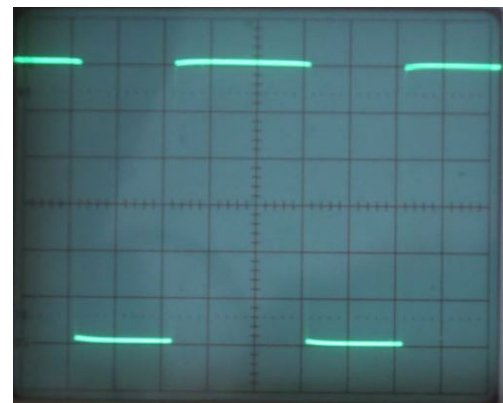


Bild 6

Bild 6 zeigt Rechtecksignal mit 10 kHz an komplexer Last (Breitband-Chassis)

Das vorläufige Fazit: TIM-VERZERRUNGEN sind nicht nachweisbar. Auch beweist der extrem schnelle QC-DRIVE-Transkonduktanzverstärker, dass er schnell genug ist, um selbst extrem aufgesteilte (durch TPS) Flanken mit Vornadelimpuls (durch TPS erzeugt für schwere schwingende Masse bei Breitband-Chassis wie das FRS-Chassis von PFLEID) sicher zu verarbeiten. Dieses Chassis wurde extra so entwickelt und kann nur mit TPS betrieben werden. Die Einmessung mit Rechtecksignalen dient der korrekten Balance des Phasenfrequenzganges - Maß für optimale Übertragungsqualität.

Der erste Hörtest - leider nur in mono, weil erst diese eine Endstufe existiert - ergab letztendlich Klarheit, im wahrsten Sinn des Wortes. Die Endstufe klingt wie erhofft nicht nach Transistor, nicht nach Mosfet, nicht nach Röhre. Weil letztere niemals derartige Leistung erreichen kann und auch den Lautsprecher nicht unter Kontrolle hält. Durchweg auch durch eine 2. Meinung scheint der Aufbau trotz provisorischem Drumherum zunächst zu bestätigen, was man hinein gibt, erhält man auch wieder verstärkt heraus. Aber ohne Verfälschung, wenn man die Boxen als solche mal „großzügig“ betrachtet. Impulse wurden klar mit Druck und Reinheit so gebracht, dass immer das Original im Raum war, Obertöne waren derart frei und luftig dargestellt, und extrem viele Streicher („Andalucia“, „La Vie En Rose“, „Charmaine“, alte Mantovani-Klassiker auf CD, immerhin aus den 50ern) kamen selbst im höheren Mitteltonbereich samt Obertönen extrem laut und eben wie „ganz früher“ im Röhren„dampf“radio, nur viel reiner, lauter, impulsiver zu Gehör, wenn man vom damaligen Eiganklang der Aufnahme-Technik absieht. Trommeln haben Fundament, sind knackig und schnell, gezupfte Kontrabässe kommen kurz und druckvoll. Eine SACD-Aufnahme vom Radioorchester des Norwegischen Rundfunks (Ole Bull) „Violin Concertos“ klang überragend. Ebenso wie verwandelt erklang die Gitarre Mark Knopflers von seiner SACD „Shangri-la“. Und selbst schnarrende Gitarren „es geht mir gut“, Westernhagen, schnarren noch frecher. Aber auch das „Blech“ strahlt mit vehementer Urkraft bei New Orleans Brass wie bei Troy„Trombone Shorty“Andrews mit „Dreamboot“. Und dies alles zunächst in mono...

Aber wie sollte es auch anders sein, betrachtet man die Meßergebnisse. Auch fiel mir sofort die dynamischere Darbietung der Kontrabässe auf, und die große Trommel schien deutlich wuchtiger auszufallen. Ob es am noch besser kontrollierten Resonanzverhalten des Chassis liegt, weil die Verstärkung der Ausgangs-Mosfets die Leerlaufverstärkung lastabhängig erhöht, wenn die Impedanz steigt? Ich vermute es. Die angenehme Frische - Klang wie Pfefferminz im Oberton? Ein kürzlich gehörtes Konzert der Magdeburgischen Philharmonie kam mir sofort in den Sinn, obwohl die dort gehörte Musik mir als CD nicht zur Verfügung steht - doch Originalklänge schienen jetzt als Konserve wieder da zu sein, wie nie zuvor. Denn „abgeschliffene Zischlaute“ oder höchste Obertöne mit „poliertem Abrundungseffekt“ sind nicht das Original, sondern falschen Ansätzen der Schaltungstechnik geschuldet, welche nicht mal eine zwitschernde Vogelstimme annähernd scharf und eindringlich wiedergeben kann.

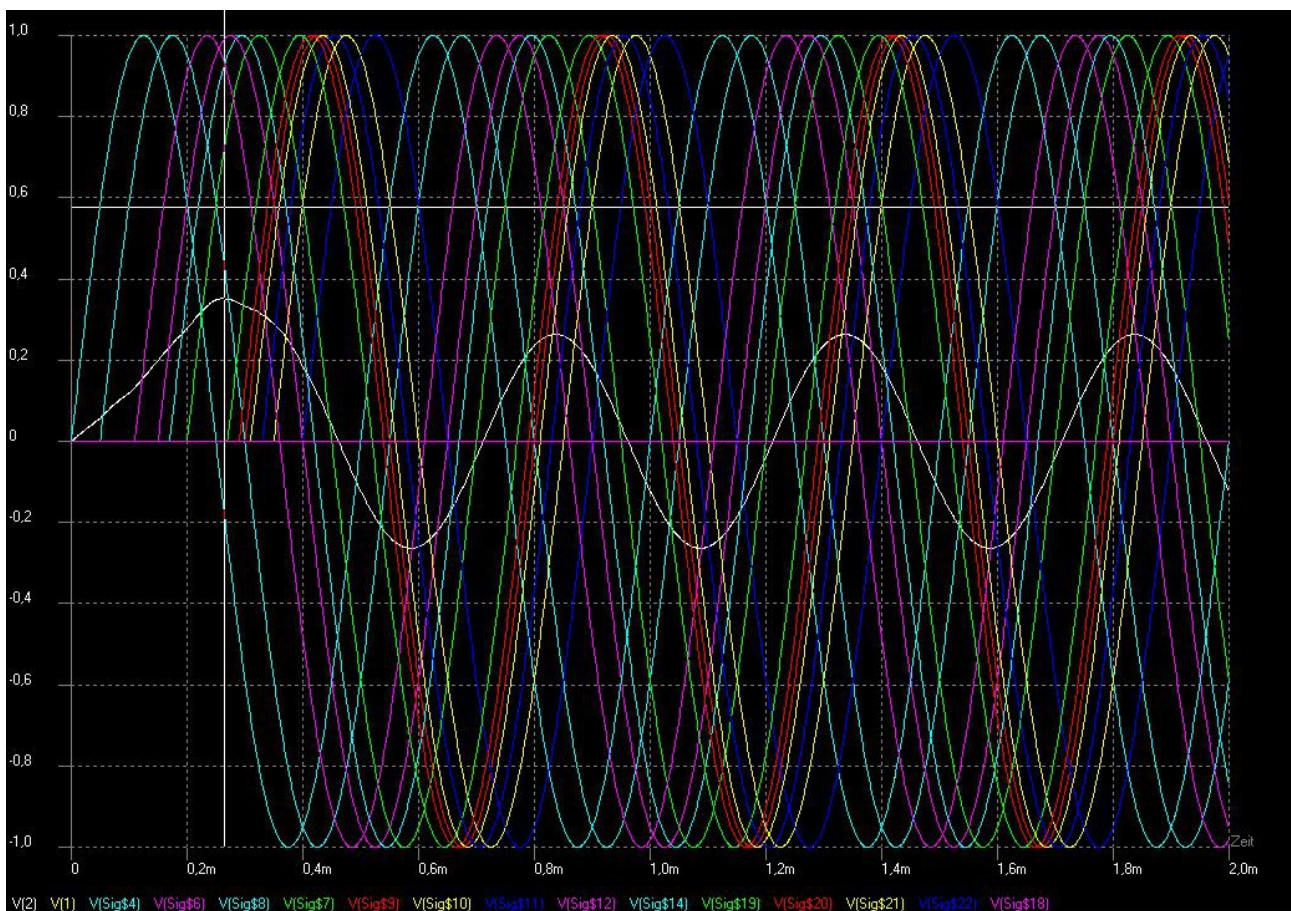
Bei neueren Aufnahmen wird sehr deutlich, jetzt steht ein neuer Qualitätssprung bevor! Mir kommt es so vor, als hätte ein unsichtbarer Vorhang, nicht besonders durchlässig, sich gehoben und die Musik erreicht endlich ohne Einschränkung den Raum und der Klang ist völlig unangestrengt.

Im Konzertsaal (ohne Lautsprecher) bei lauten, gleichzeitig spielenden Streichern kam mir aber manchmal der Eindruck von Obertonschärfe. Sicher ein Effekt, welcher nicht immer dominiert. Doch genau die Frage, ob es so sein kann oder ob ich es nur so

empfinde, wollte ich beweisen.

Deshalb in der Grundüberlegung die Annahme von vielen (hier mal 21) gleichen Obertönen. Da die Geiger logischerweise alle immer nebeneinander bzw. hintereinander gruppiert sind, entsteht ein unterschiedlicher Laufzeiteffekt zum Hörer. Deshalb wurde natürlich zwar immer die gleiche (praktisch vielleicht nicht ganz so, aber annähernd möglich) Lautstärke angenommen. Daher haben alle 21 Töne die gleiche Frequenz und Amplitude, jedoch sind alle mit unterschiedlichen Startzeitpunkten bzw. zueinander zeitlich verschoben. Interessant in der elektrischen Addition - simuliert mit 21 Generatoren und einer Widerstands-Addition auf einen gemeinsamen Teilerwiderstand - sind die Werte ab der Zeit, wo alle Generatoren zeitlich betrachtet Signale liefern bzw. noch nicht alle beteiligt sind. Nur in der Addition während der Zeitspanne, wo noch nicht alle Generatoren die komplette Sinusschwingung erreichen, ergeben sich verzerrte Additionsschwingungen. Daher steht fest, dass die Einschwingzeit insgesamt auch dann mit verzerrten Werten weitere Obertöne erzeugt, die weit höher sind!

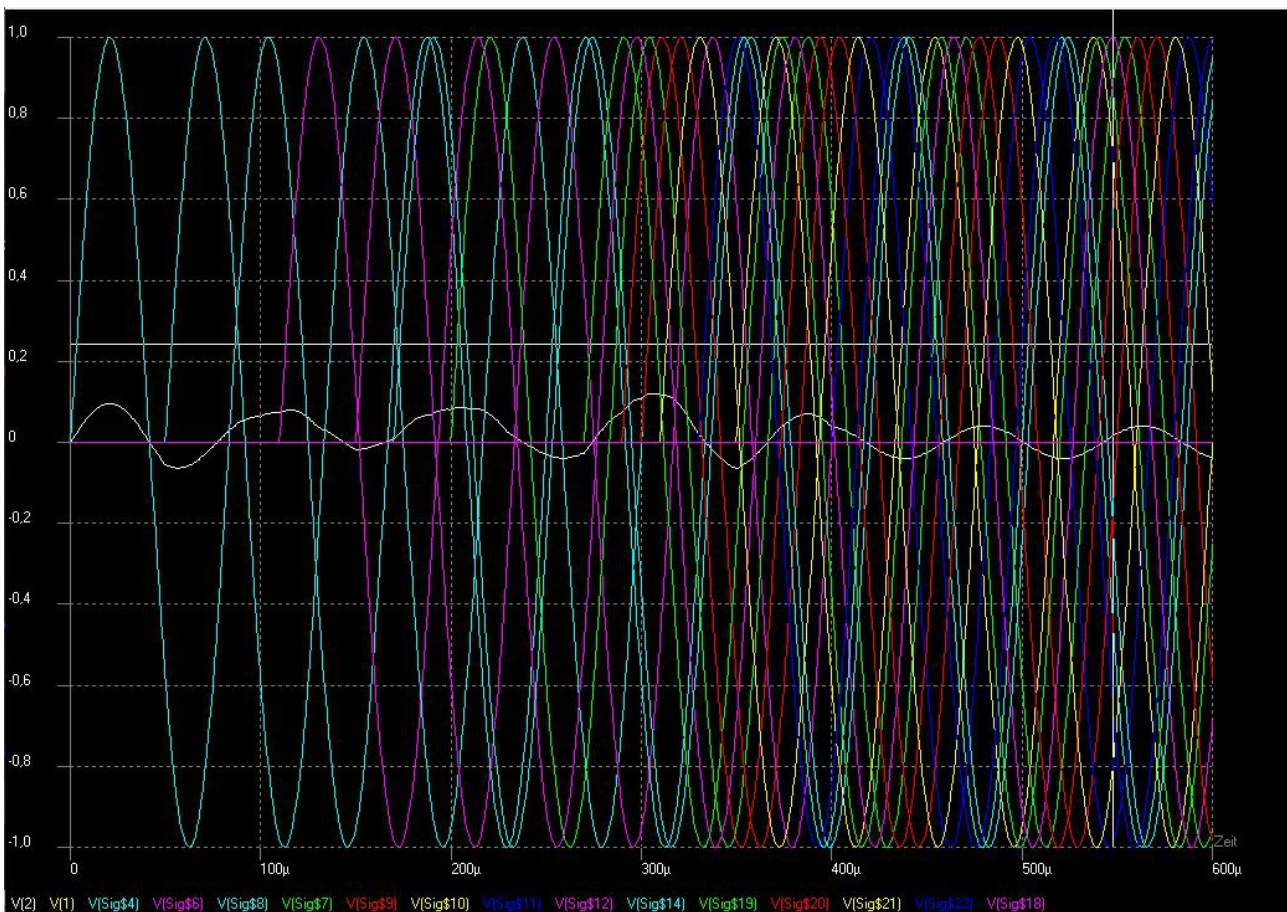
Bild 7: Hier 21 Töne mit 2 kHz und Zeitversatz aller Töne zueinander



Deutlich sichtbar sind die Einschwingverzerrungen der Summe (weiß) innerhalb der 1. 0,4 ms (diese Zeitangabe bezieht sich nur auf das simulierte Beispiel).

Bei 12 kHz und den gleichen Zeitverschiebungen wie bei 2 kHz, da die Klangerzeuger immer am gleichen Platz auf der Bühne bleiben, also wieder 21 Töne, sieht es schon anders aus. Auch hier sind die Einschwingvorgänge deutlich verändert, bzw. ganze Schwingungszüge. Bis die Marke von etwa 0,4 ms erreicht ist (nur als Beispiel in der Simulation). Der Gesamteinschwingvorgang ist also bei höheren Obertönen über mehrere Perioden unterschiedlich verteilt. Die weiße Summenkurve zeigt auch erst nach ca. 0,4 ms die normale Sinusform (Bild 8).

Bild 8 zeigt 21 zeitversetzte Töne (gleicher Zeitversatz wie bei Bild 7) mit 12 kHz und über mehrere Obertonperioden werden neue Obertöne erzeugt durch Verzerrungen - natürlicher Klang bleibt daher manchmal „rätselhaft“

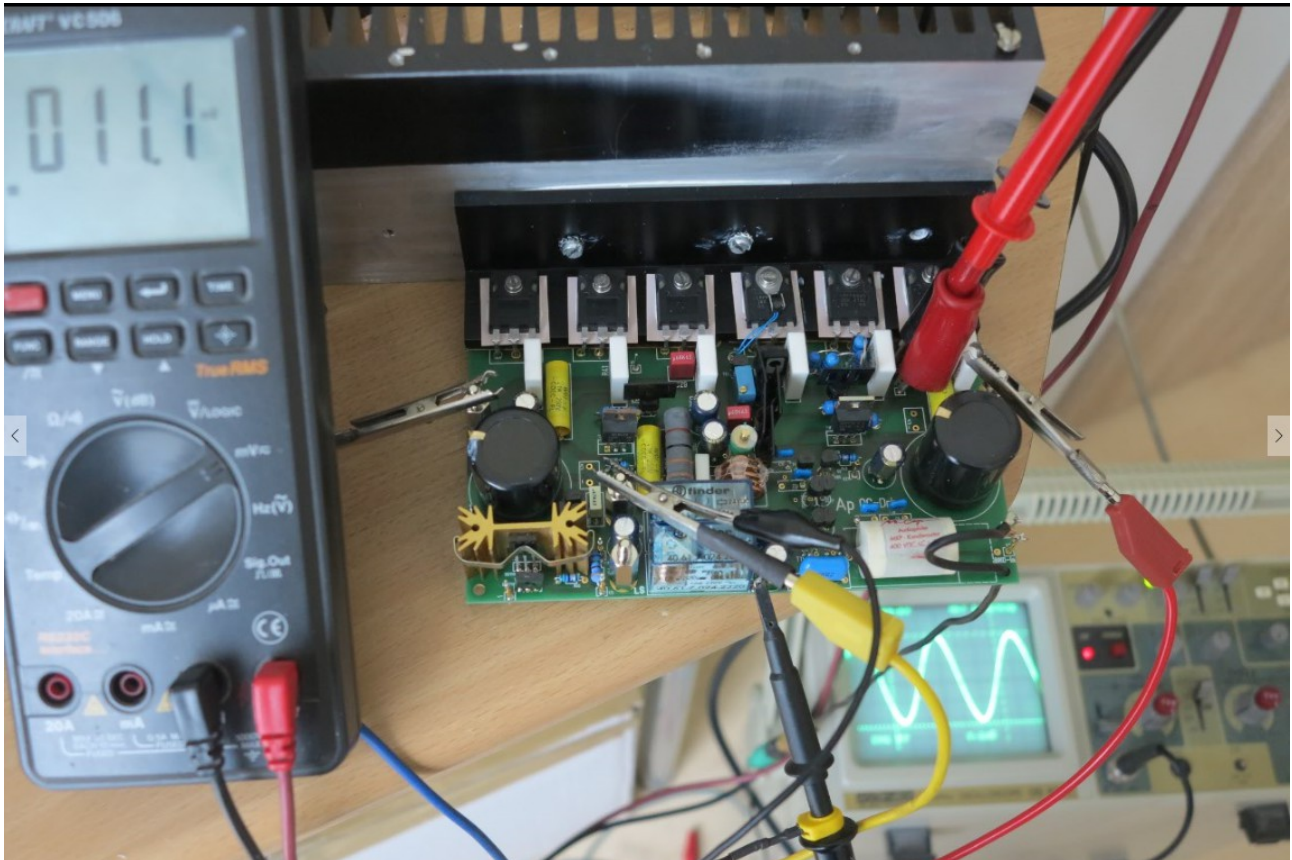


Der Grund ist klar, die Zeit bei 12 kHz ist viel kürzer, und die Verzögerungszeit daher viel länger im Verhältnis. Man sieht bei genauer Betrachtung die einsetzenden Töne mit der 1. Halbwelle deutlich immer weiter rechts verteilt, mit zunehmender Laufzeit. Habe ich also doch richtig gehört? Es scheint logisch zu sein. Natürlich kann die Simulation nicht die tatsächlichen Klangeffekte aufzeigen, diese sind mir nicht bekannt oder in ihrer Gesamtheit viel komplexer - und nicht alle Musiker spielen gleich oder sollen gleich spielen. Doch wenn ein Verstärker dann entsprechend klingt, kann man diesen Effekt hören und verstehen. Hier scheint auch die

Frage sich zu entzünden: MP3, CD, SACD, Blu ray? Letztere Formate sind da im Vorteil, weil höhere Audiofrequenzen als 20 kHz möglich werden!

Der Traum nimmt endlich Form an! Audiophile Hochgenüsse warten...

Bild 9: die vorläufige Version mit 6 Endmosfets im ersten Test



23.02.2016:

Jetzt in stereo erklang erstmals eine dynamischere, feinfühlige und extrem aufgelöste Musik, die dem „Parallel-Welt-Gedanken Röhrenverstärker“ ein Ende in meinem Gedanken-Bereich setzt.

Und auch das wird deutlich: Silvester-Konzerte von Arte HD sowie ZDF HD von HDD waren ein Fest für Augen und Ohren! Vor allem hatte mich die drastische Klangverbesserung schon bei MP3 (Radio, TV) überrascht! Wenn manche Beschreibungen Worte wie „Klavierläufe perlten nur so dahin“ oder ähnliche Kommentare zu irgendwelchen Geräten als Statement und Kaufweckruf verwenden, kann ich nur konstatieren „jetzt klingen alle Instrumente und Stimmen wie Perlen“. Jedoch hört man trotz überragender Musiker dann bei einer Ole Bull SACD die absolute Reinheit und die Überlegenheit der SACD, speziell bei Streichergruppen - ein Ohrenschaus mit unbeschreiblicher Echtheit, wie ich nicht nur allein finde. Jetzt mit dem QC-DRIVE-TRANSKONDUKTANZVERSTÄRKER war ich fast im Konzertsaal dabei...

Ich hatte mich zuvor echt angestrengt! Und dafür der Lohn: es klingt völlig unangestrengt.

Messwerte: Je nach Spannungen ergeben sich unterschiedliche Leistungen. Bei Sourcewiderständen mit 0,1 Ohm konnte wie schon zuvor beschrieben an 4,1 Ohm knapp 220 W gemessen werden. An einem Labor-Scope in einer großen professionellen Werkstatt, von mir mit besonderem Dank vermerkt, und einem Neutrik-Audio-Messplatz wurde mit der gleichen Stromversorgung (als kompletter Stereo-Endverstärker mit eigenem Netzteil) ein Wert mit 0,22 Ohm Widerständen an ca. 4,4 Ohm Last von 182 W gemessen.

Die einsetzende absolut symmetrische Begrenzung oberhalb der Leistung war relativ sanft. Diese Leistungsgrenze ist aber der Z-Dioden-Begrenzung anzurechnen und könnte noch durch eine weitere Diode oder (und) eben mit nur 0,1 Ohm Widerständen erhöht werden.

Damit ist eine weitere Steigerung der Leistung möglich, wenn erforderlich.

Bei der normalen Messung mit 25 Watt-Sinus ergab sich bei 1 kHz ein THD+N von 0,038% bzw. im anderen Kanal von 0,04%. Der Sweep bei 10 W und von 20 Hz bis 22 kHz verlief auf dem LCD-Display knapp oberhalb des untersten Teilstriches ebenfalls beginnend um 0,038% und begann mit leichtem Anstieg bei ca. 5 kHz bis 22 kHz und erreichte bei 22 kHz noch nicht die 0,2% Marke. Bei 10 kHz erreichte der Wert ca. 0,09%.

Damit stellt sich die Frage, ob der geringfügig noch vorhandene und nur direkt an der Membran und absolut ruhiger Umgebung leicht hörbare Brumm die Messwerte beeinflusst hat. Denn THD+N entspricht nicht einem Laborstromversorgungs-Messaufbau, sondern hier wurde der typische Geräte-Wert praxisbezogen gemessen. Vielleicht kann der Test später wiederholt werden und durch geänderten Aufbau zu noch besseren Ergebnissen führen. Eine Verbesserung ist bereits erfolgt, weil leider sogenannte DC-Störungen des Stromnetzes dafür verantwortlich zu sein scheinen. Vor dem Ringkerntrafo wurde ein in ein Kunststoffgehäuse eingebautes DC-Filter vorgeschaltet. Diese Schaltung wurde übernommen aus Bauvorschlägen und besteht im Wesentlichen aus Elkos in Reihe (Minus-Plus-Plus-Minus) und einer Diodenbegrenzung parallel zur gesamten Kapazität mit parallel geschaltetem KP-Kondensator (hochwertige Ausführung als FilmFoil). Die dadurch vermiedenen Sättigungseffekte im Hystereseverlauf des Trafos können verantwortlich sein für magnetische Störeffekte.

In einem anderen Aufbau (Doppelmono) wurde absolut keine Störenergie (Brumm) direkt an der Lautsprecher-Membran hörbar.

Zur bisherigen klanglichen Beurteilung wurden unabhängig 4 Meinungen gehört, welche die überragende Klangdarbietung voll bestätigen und begeistert reagierten, gerade auch bei Grenzlautstärke. Ein weiterer Punkt kann hervorgehoben werden: Die PFLEID-Recording - Aufnahme-Technik. Weil ziemlich direkt

aufgenommen und ohne den Raumhall dazu zu mischen, wirkten diese im Vergleich immer noch ein wenig zu direkt. Doch der Grund scheint auch klar zu sein. Denn wenn die TIM-VERZERRUNGEN wie eine Schwingungsbremse die Saiten zu dämpfen scheinen - jedenfalls in der akustischen Wirkung - fühlt sich der Klang eben nicht „frei“ an. Jetzt jedoch habe ich den Eindruck, dass die Theorie von Herrn Pfeleiderer aufgeht. Ein äußerst beeindruckender Klang entsteht - der sich aber keine „Verfälschung“ in der gesamten Kette leisten darf! Und wenn die Kette irgendwie „stumpf“ in den Obertönen daher kommt, klingt es nicht und die Darbietung wird nicht dem Anspruch gerecht. Wenn aber feinste Schwingungen ungebremst zu hören sind, klingt es wie im Konzert. Speziell bei Zymbal-Klängen kommt diese Stärke besonders deutlich zum Hörer. Und wenn Geigen schrille Klänge erzeugen, bisweilen, muss es auch so in den Lautsprechern erklingen. Musik so zu verstärken, wie sie ist. Und kein „glattfeilen“ der Obertöne ist damit gemeint. Oder anders ausgedrückt heißt diese Tatsache einfach Obertöne mit klarer Kraft! Meine Katzen fielen auch darauf herein. Ein Film im TV über Spatzen! Meine Lieblinge kamen herein gestürmt, doch suchten sie diese vergeblich im Wohnzimmer...

Wegen der Schwierigkeit der Messmittelbeschaffung bzw. deren Vorhandensein wurde jetzt simuliert: THD+N konnte zum speziell dafür im virtuell gebauten Filter ermittelt werden. Das Filter besteht aus 2 Doppel-T-Sperrfiltern höchster Güte und wird mit hochwertigen Burr Brown ICs gebildet. Da die Filterwerte höchster Präzision entsprechen wie auch der virtuelle Generator, zeigt sich ein ideales Bild. Aber eben auch unter der virtuellen Verstärkerschaltung mit idealen Betriebs-Spannungen.

Während in der Simulation an reeller Last (4 und 8 Ohm getestet, mit deutlich geringerem Klirr an 8 Ohm) ein wie bei der praktischen Messung (ebenfalls an reellem Abschlusswiderstand) als befriedigend zu sehender Klirrfaktor gemessen wurde, ist an virtueller komplexer Last ein sehr deutlich geringerer THD+N. Allerdings kann es an der nicht ganz korrekt ermittelten Impedanz liegen, welche den virtuellen „Lautsprecher“ darstellen soll. Immerhin ergeben sich an komplexer Last (alles virtuell) nur ca. 0,02% THD+N bei 1,224 kHz. Bei 10,61 kHz war der Wert mit 0,002% noch geringer (Lastimpedanz und damit Leistung nicht gleich hoch). Die bisher gemachten Erfahrungen zeigen auch, ein größerer Kühl- und Netzteilauflauf mit höherer Ruhestrom-Einstellung ist für die Verzerrungsfreiheit von Vorteil.

Eine zunächst virtuelle Schaltungsänderung und neue Simulationen ergeben jedoch völlig neue Werte, fast um eine Zehnerpotenz besser. An 8 Ohm (reell) bei ca. 120 W beträgt der THD+N nur noch 0,0037% / 1,224 kHz. Bei 10,61 kHz und gleicher Leistung liegt der THD+N bei ca. 0,043%. An 4 Ohm reell sind die Werte je nach Leistung ähnlich. Damit ist zumindest bei nur je 50 mA Ruhestrom pro Mosfet (6 Stck.) ein sehr guter Wert erreicht. Bei 4 Ohm Last reell und 240 W kommt der THD+N an die Obergrenze (10,61 kHz) um 0,15%. 200 W an 4 Ohm ergeben bei 10,61 kHz 0,047% THD+N. Bei 1,224 kHz beträgt der THD+N 0,0066% bei 200 W / 4 Ohm. Nach

weiterer Separation von k2 und k3 aus dem Klirrspektrum ergeben sich voraussichtlich für **k2 0,0030%** und **k3 0,0014%**, simuliert bei 200 W an 4 Ohm (82 Vss). Damit entspricht der Klirr aus beiden Werten ca. **0,0033% bei 200 W / 4 Ohm** bei 1,224 kHz (82 Vss).

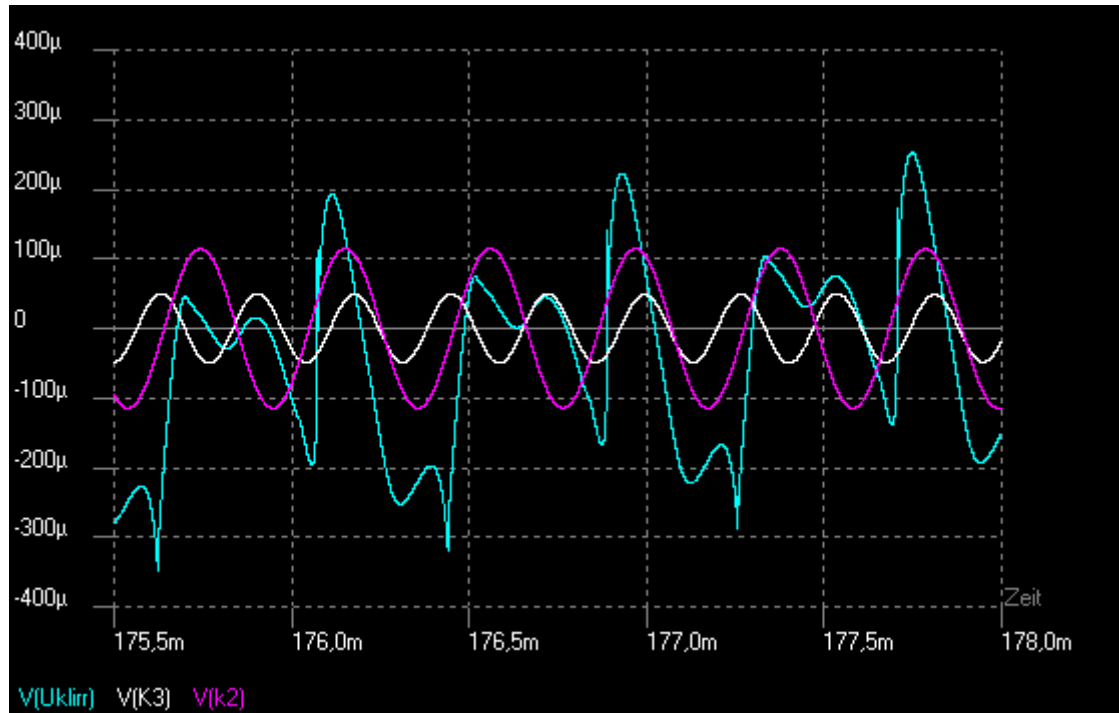


Bild 10

Im Bild 10. sieht man den mit Uklirr bezeichneten THD+N (Summe aller Klirrranteile und Rauschen auch im nicht hörbaren Bereich) sowie die K2 und K3 Anteile. Die Output-Spannung ist nicht direkt am Output, sondern über einen Teiler für die teils aktiven Klirrfilter abgenommen, damit keine Übersteuerung der Filter entsteht. Die Outputspannung ist somit ein ca. 1:10 Wert der tatsächlichen Output-Spannung und die Klirrspansungen ebenfalls. Noch ist nicht sicher, ob die Dimensionierung der virtuellen Klirrfilter so bleibt bzw. optimal ist.