

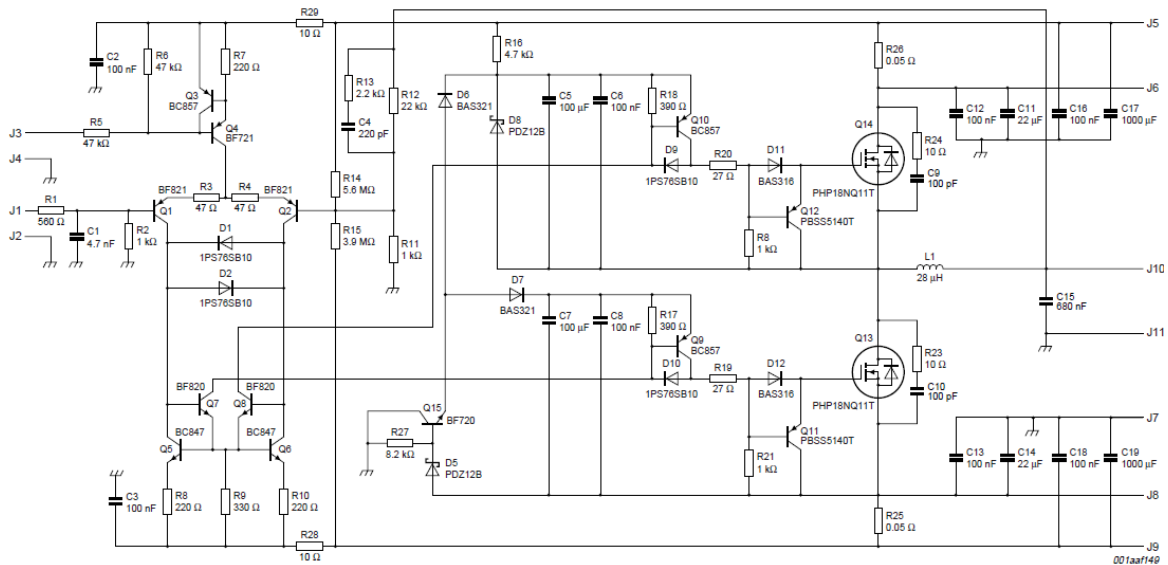
Class D Tutorial Part 2: UcD Amplifier untuk Pro Audio

Ver. 1 by kartino@yahoo.com, September 2017

1. Sejarah awal UcD Amplifier

Amplifier Class D UcD topologi dipopulerkan oleh Bruno Putzeys pada tahun 2003 sewaktu masih bekerja sebagai engineer di Philips berupa sebuah demonstration board all discrete UcD Amplifier 200W pada 4 ohm. Pada saat itu Class D hanya dikenal sebagai amplifier dengan spesialisasi sebagai subwoofer saja karena dikenal kurang bagus untuk reproduksi frekuensi full range dan hanya bagus di frekuensi rendah dan hanya memiliki keuntungan di efisiensi yang tinggi. Prototype ini membuktikan bahwa Class D amplifier bisa menghasilkan output dengan kejernihan tinggi.

Bersama Jan-Peter van Amerongen di Hypex, Bruno Putzeys mengembangkan UcD amplifier menjadi pelopor dan referensi untuk UcD Class D Amplifier. Produknya masuk kalangan Hi Fi dan Audiophile dan dijual sebagai OEM kit maupun retail dan sudah digunakan di berbagai produk hi end dunia. Produk paling mutakhir adalah Hypex Ncore yang banyak mendapatkan review sebagai the most linear amplifier.



Gambar 1. Skema Philips UcD UM10155, 200W 4 ohm

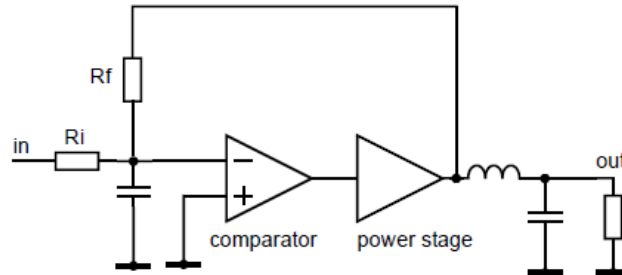


Gambar 2. Evaluation Board Philips UcD UM10155, 200W 4 ohm

2. Topologi UcD versus Non UcD

Tulisan ini tidak akan membahas dasar cara kerja dari amplifier Class D karena sudah pernah dibahas di Class D Tutorial Part 1. Pembahasan kali ini akan ditekankan khusus tentang cara kerja topologi UcD Amplifier ini sendiri. Sebagai awal, kita bahas perbedaan antara UcD dan Non UcD atau topologi yang diaplikasikan seperti pada D900 dan sejenisnya.

Topologi Non UcD bisa dilihat seperti Gambar 3. Feedback diambil dari sebelum inductor. Dengan demikian Induktor dan LPF termasuk speaker secara keseluruhan berada di luar control loop feedback.

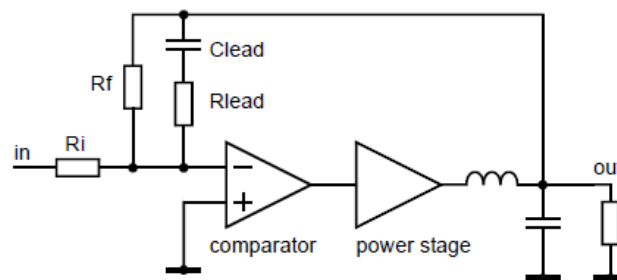


Gambar 3. Topologi Non UcD Amplifier

Kelebihan dari topologi ini adalah karena feedback loop diambil dari output switching sebelum inductor, dan bekerja pada tegangan switching yang tinggi maka topologi ini sangat stabil dan tahan terhadap gangguan dari luar.

Kelemahannya adalah karena induktor, kapasitor LPF dan speaker tidak berada di dalam loop feedback, maka amplifier harus dioptimalkan pada beban yang dikehendaki. Demikian juga induktor, kapasitor LPF juga harus disesuaikan mengikuti daya amplifier sekaligus beban agar hasilnya optimal.

Topologi UcD Class D amplifier secara sederhana adalah seperti pada Gambar 4. Bisa dilihat bahwa feedback diambil setelah inductor. Demikian juga untuk R dan C feedback terpisah untuk sonic feedback (R_f) dan switching (Clead dan Rlead). Dengan demikian Induktor dan LPF termasuk speaker secara keseluruhan masuk dalam control loop feedback.



Gambar 4. Topologi UcD Amplifier

Kelebihan dari topologi ini adalah karena feedback loop diambil dari output audio setelah LPF maka sensitifitas amplifier terhadap jenis beban sangat rendah jadi tidak tergantung jenis dan besar beban. Feedback juga lebih akurat sehingga secara keseluruhan kinerja feedback lebih baik.

Kelemahan dari topologi ini adalah feedback loop bekerja pada tegangan ripple yang rendah untuk membangkitkan switching pada comparator, sehingga terkadang ada interferensi antar channel. Bila ini terjadi maka akan keluar suara seperti nyamuk. Kelemahan ini bisa diatasi dengan mensinkronkan kecepatan switching pada kedua channel, namun cukup sulit. Alternatifnya adalah justru membuat selisih kecepatan switching kedua channel minimal 20kHz hingga kedua frekuensi switching tidak saling meresonansi.

3. Skema Dasar UcD Amplifier untuk Pro Audio

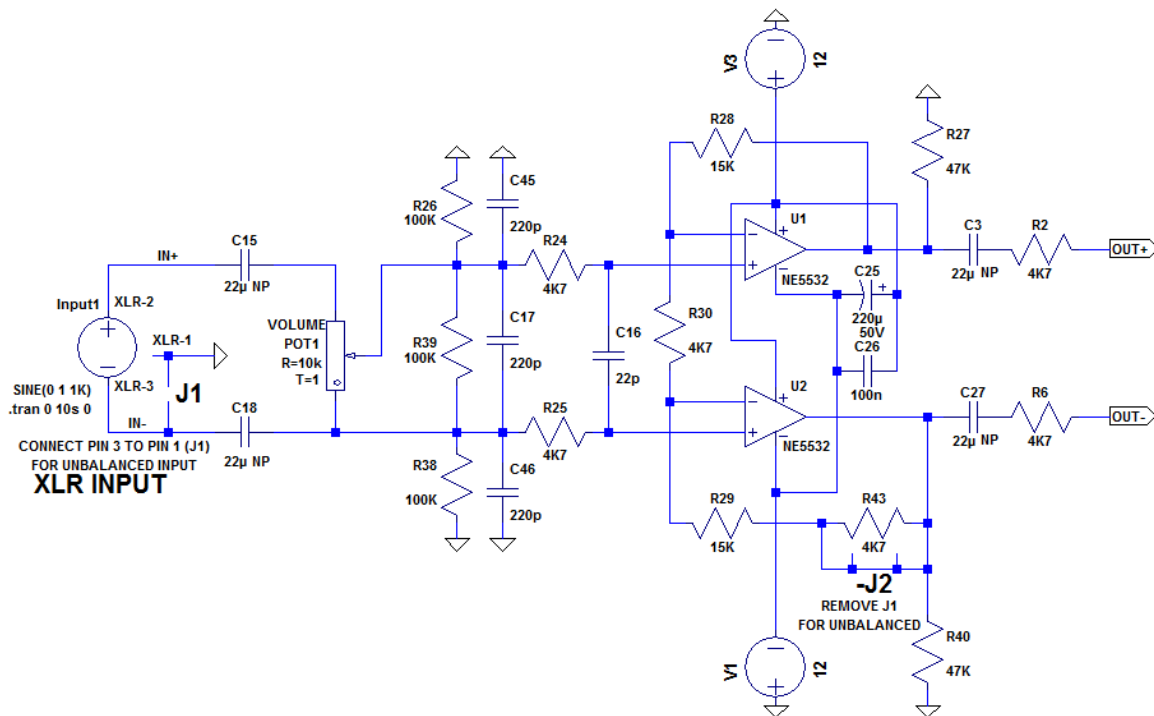
Karena permintaan amplifier untuk Pro Audio sangat tinggi maka direalisasikan topologi UcD ini dalam bentuk amplifier Pro Audio. Tantangan dari realisasi amplifier ini adalah mengembangkan design dari aslinya yang hanya 200W 4 ohm menjadi rated power lebih kurang 1000W 8 ohm / 2000W 4-ohm half bridge. Perkembangan selanjutnya dinaikkan lagi outputnya dengan design fullbridge, 1500W 8 ohm / 3000W 4 ohm untuk low/sub. Dengan output sebesar itu maka UcD Amplifier sudah bisa memenuhi kebutuhan live musik, baik fullrange, mid, high, low dan subwoofer.

Yang akan kita bahas adalah tutorial UcD Xlite v.3, versi UcD Pro Audio yang paling sederhana, yaitu tidak dilengkapi dengan Overcurrent dan DC failure protection. Untuk memenuhi kekurangan ini maka dalam pemasangan UcD Xlite wajib ditambah eksternal DC Failure protection dan supply harus ditambahkan fuse.

Seperti pada skema terlampir, dari skema dasar Philips UcD UM10155, disain dikembangkan agar amplifier bisa dipergunakan untuk kalangan Pro Audio. Diantaranya adalah selain agar dapat menghasilkan output yang cukup besar juga bagian input ditambahkan balanced input agar kompatibel dengan peralatan input output sinyal audio aksesories. Lalu daya mosfet diperbesar dan demikian juga gate driver. Dan ditambahkan snubber agar amplifier handal dan tahan terhadap kondisi lapangan yang penuh dinamika dan pembebanan tinggi yang kontinyu (heavy duty).

3.1 Input Stage

Bagian awal UcD Xlite Amplifier adalah **Input Stage** yang berfungsi sebagai input buffer. Untuk bagian input dipilihlah dual Op Amp differential agar bebas dari ground reference. Model ini dikenal dengan Op Amp instrumentasi. Input dan output adalah fully differential. Karena tidak menggunakan ground sebagai signal path maka lebih akurat dan bebas dari hum.



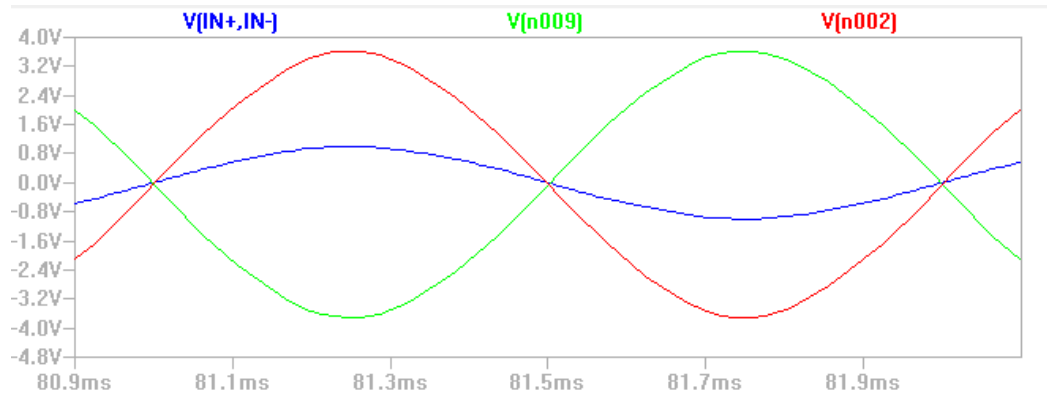
Gambar 5. Input Stage UcD Xlite ver.3

Seperti pada Gambar 5, input stage ini menggunakan dual Op Amp U1, U2. Type yang cocok adalah semua type dual Op Amp seperti TL072, TL082, JRC4558, LM4562 dan lain lain. Op Amp ini mendapatkan supply dari supply utama melalui shunt resistor 10K 5W, dan diregulasi dengan Zener 12 Volt 1W. Supply Op Amp harus dijaga kesimetrisannya agar outputnyaimbang antara Out+ dan Out-.

Input masuk menggunakan standard tegangan 0.77V sampai dengan 1.5 Volt. Gain dari input stage ini diatur melalui R24, R25, R30 yang untuk mempermudah perhitungan dibuat sama nilainya yaitu 4K7, berbanding R28, R29 yaitu $15K/4.7K = 3.2x$. Karena Class D mempunyai gain yang rendah maka sebelum masuk ke amplifikasi class D stage, tegangan butuh cukup tinggi sehingga mudah dilakukan pencacahan melalui komparator.

Impedansi input adalah $4K7 \times 2 = 9.4K$. Volume potensio dipasang di In+ ke In- tanpa ground tersambung. Oleh sebab itu bila ada satu input yang putus maka volume tidak berfungsi dengan baik. Nilai tahanan potensio adalah 10-20K.

Gambar di bawah memperlihatkan input dan output dari UcD Xlite input stage. Dengan input 1Vpp output differential maka outputnya adalah 10 Volt. Nilai ini sebenarnya dipersiapkan untuk tegangan main supply amplifier sampai dengan 125 Vdc. Bila tegangan supply hanya 90Vdc bisa dipasang R28/R29 cukup 10K atau 15K agar dapat sensitifitas input yang dikehendaki.



Gambar 6. Tegangan input dan output dari Input Stage UcD XLite ver.3

3.2 Comparator Stage

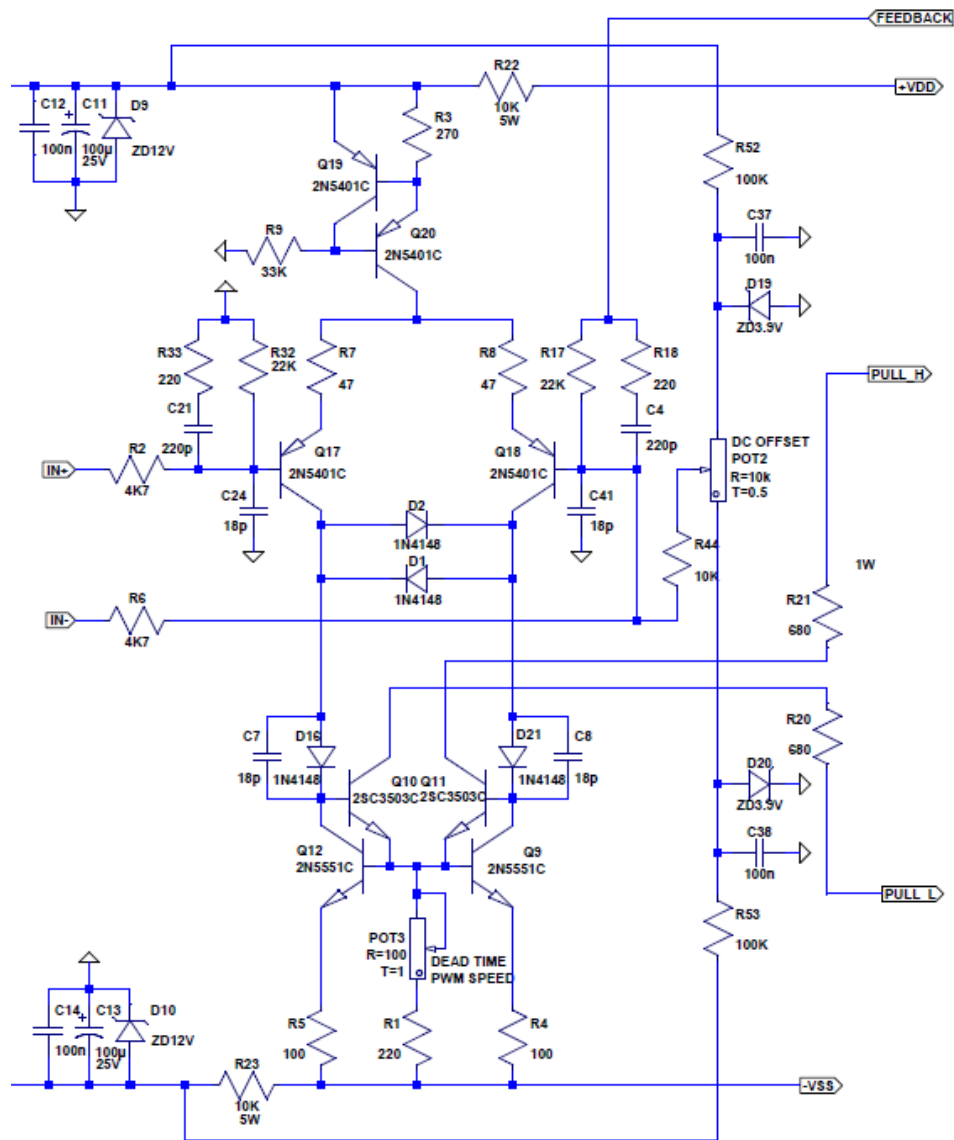
Output dari Input stage ini lalu diumpungkan ke **Comparator Stage**. Dari mulai komparator sampai power stage, semua menggunakan “all discrete” alias bipolar atau FET saja, tidak ada integrated circuit. Tujuan pemilihan all discrete ini adalah agar leluasa melakukan setting dan optimalisasi. Dikarenakan skema UcD class D ini bekerja pada arus satuan milliampere maka perubahan nilai nilai resistor yang dikenakan pada setiap transistor dapat sangat mempengaruhi kinerja amplifier secara keseluruhan. Oleh sebab itu baik nilai maupun jenis resistor dan juga kapasitor kompensatornya sangat penting. Resistor yang terbaik dalam aplikasi ini adalah metal film dan kapasitor kompensator adalah keramik single layer.

Comparator Stage pada UcD Xlite Amplifier mirip sekali dengan Long Tailed Pair (LTP) pada Class AB input stage, tetapi output dari Comparator Stage ini bukan sinyal linear melainkan sudah sinyal switching. Desainnya menggunakan bipolar transistor yang difungsikan sebagai Operational Transconductance Amplifier (OTA), atau Omp Amp yang inputnya adalah tegangan namun outputnya adalah arus. Dari stage ini sampai mosfet gate, amplifier bekerja pada mode arus. Keuntungan mode ini ada nilai arus minimum yang dibutuhkan sehingga walaupun ada interferensi dari luar selama tidak membangkitkan arus sebesar arus yang dibutuhkan untuk bekerja maka interferensi tidak mempengaruhi kinerja bagian ini. Sehingga sangat stabil.

Seperti terlihat pada Gambar 7, Komparator menggunakan sepasang LTP transistor 2N5401 yaitu Q17 dan Q18. LTP ini mendapat supply dari constant current source (CCS) Q19, Q20, sebesar 2.2mA. Sinyal audio dari Input Stage masuk melalui R2 dan R6. Rangkaian feedback audio bekerja simetris masuk basis Q17 dan Q18 melalui R17 dan R32.

Lalu feedback ripple untuk menghasilkan PWM melalui self-oscillation melalui R18, dan C4, serta R33 dan C21. Sehingga C4 dan C21 dapat digunakan untuk mengatur kecepatan switching dari amplifier. Kapasitas yang kecil berarti kecepatan lebih tinggi dan sebaliknya, namun jika terlalu tinggi dapat menyebabkan amplifier gagal beresilasi, jadi harus dicari nilai yang optimal.

Q9 dan Q12, NPN 2N5551 berfungsi sebagai current mirror yang menjamin bahwa antar kaki-kaki LTP arusnya seimbang dan juga mengatur kecepatan OFF dari Q10 dan Q11. Sedangkan fungsi dari Q10 dan Q11 adalah untuk menghidupkan dan mematikan gate Mosfet dengan jalan menarik arus dari gate driver. Ketepatan ON dan OFF dari Q10 dan Q11 harus diatur dengan tepat agar kedua mosfet high-side dan low-side tidak ON secara bersamaan karena akan menyebabkan mosfet cross-conduction hingga menyebabkan mosfet terbakar, dan juga tidak terlalu lama jeda ON dan OFF antar mosfet atau istilahnya “**dead time**” agar tidak terjadi cacat clarity yang terlalu tinggi. Oleh sebab itu pengaturan jumlah tahanan seri antara R1 dan POT3 harus tepat.

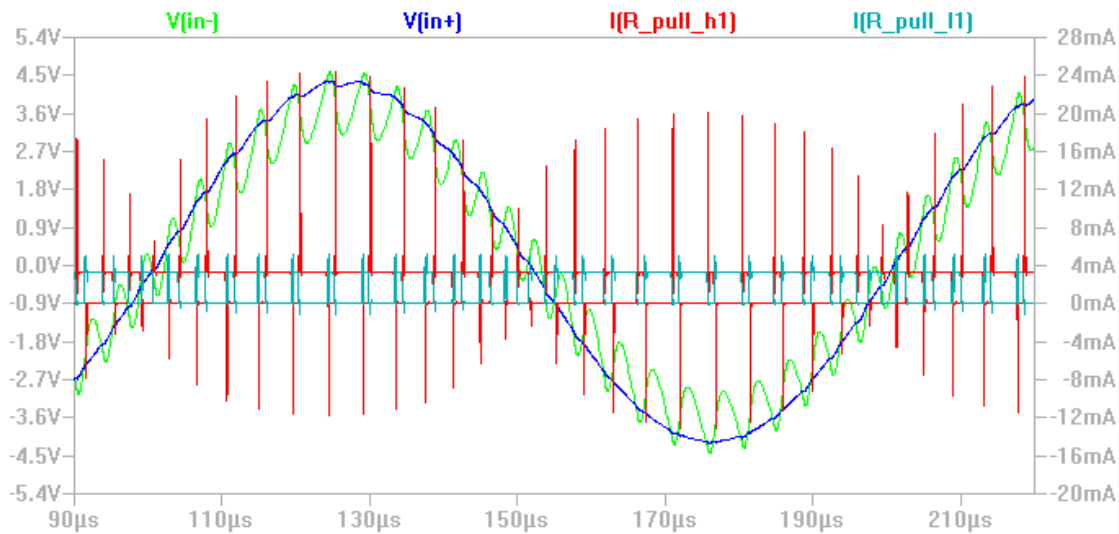


Gambar 7. Comparator Stage

Tahanan seri antara R1 dan POT3 juga mempengaruhi kecepatan switching dari amplifier, dimana semakin besar semakin cepat kecepatan switching tetapi juga menyebabkan dead time yang lebih tinggi. Jadi, tahanan seri R1 dan POT3 harus diatur agar:

1. Dead time cukup hingga tidak menyebabkan cross-conduction mosfet.
2. Clarity terjaga.
3. Kecepatan switching terpenuhi agar clarity saat reproduksi suara high terpenuhi.

Jadi disini ada trade-off antara clarity, reliability, stability dan kecepatan switching yang optimal. Kecepatan switching yang tinggi walaupun bagus untuk suara high tetapi menyebabkan switching losses akibat berkurangnya duty cycle mosfet karena dead time hingga menjebak switching losses dan power output menjadi kehilangan tenaga yang ditandai output mudah clip sebelum waktunya. Pengaturan bagian ini bisa dipermudah dengan pemilihan mosfet yang baik yaitu mosfet cepat dan ringan.



Gambar 8. Sinyal pada Comparator Stage

Dari Gambar 8, diperlihatkan $V[in-]$ yaitu campuran feedback dari output amplifier berupa ripple dengan tegangan dari $IN-$ sehingga hasilnya berupa gelombang sinus ber-ripple. Sedang $V[in+]$ adalah output sinus yang lebih linear. Kedua sinyal ini lalu dikomparasi oleh LTP, Q17 dan Q18. Sehingga kaki-kaki LTP menghasilkan arus. Arus inilah dipakai untuk mengaktifkan Q10 dan Q11 yang berfungsi mengaktifkan gate driver mosfet, dengan menarik arus sebesar 4mA secara bergantian antara high side dan low side yang ditunjukkan pada grafik $I[R_pull_h1]$ dan $I[R_pull_l1]$.

Pemilihan tipe transistor Q10 dan Q11 sangat krusial karena transistor ini pada high side mengalami stress tegangan paling tinggi dari seluruh bagian amplifier yaitu tegangan penuh supply plus ke minus ditambah tegangan bootstrap 12 Volt dan harus bekerja sangat cepat dan presisi sangat tinggi. Jadi transistor tersebut sangat mempengaruhi kinerja amplifier secara keseluruhan dan pilihannya sangat terbatas. Setelah melalui serangkaian percobaan dan test lapangan, dipilihlah transistor terbaik untuk aplikasi ini adalah: 2SC3503, 2SC3790 yang bisa diaplikasikan untuk tegangan supply sampai 125Vdc. Untuk tegangan supply 90Vdc atau lebih rendah bisa menggunakan 2SC3788 dengan harga lebih murah.

Untuk mengatur DC offset dari output amplifier maka ditambahkan fitur DC Offset control terdiri dari regulated tegangan simetris dan trimpot untuk mengatur DC Offset agar mendekati nol. Fitur ini harus dipasang karena bila tidak terpasang maka dapat berakibat input reference voltage floating yang bisa menyebabkan DC offset pada amplifier output tidak terkontrol yang dapat menyebabkan pumping pada tegangan supply yang menyebabkan tegangan supply tidak simetris hingga menyebabkan elco overvoltage bahkan elco bisa meledak.

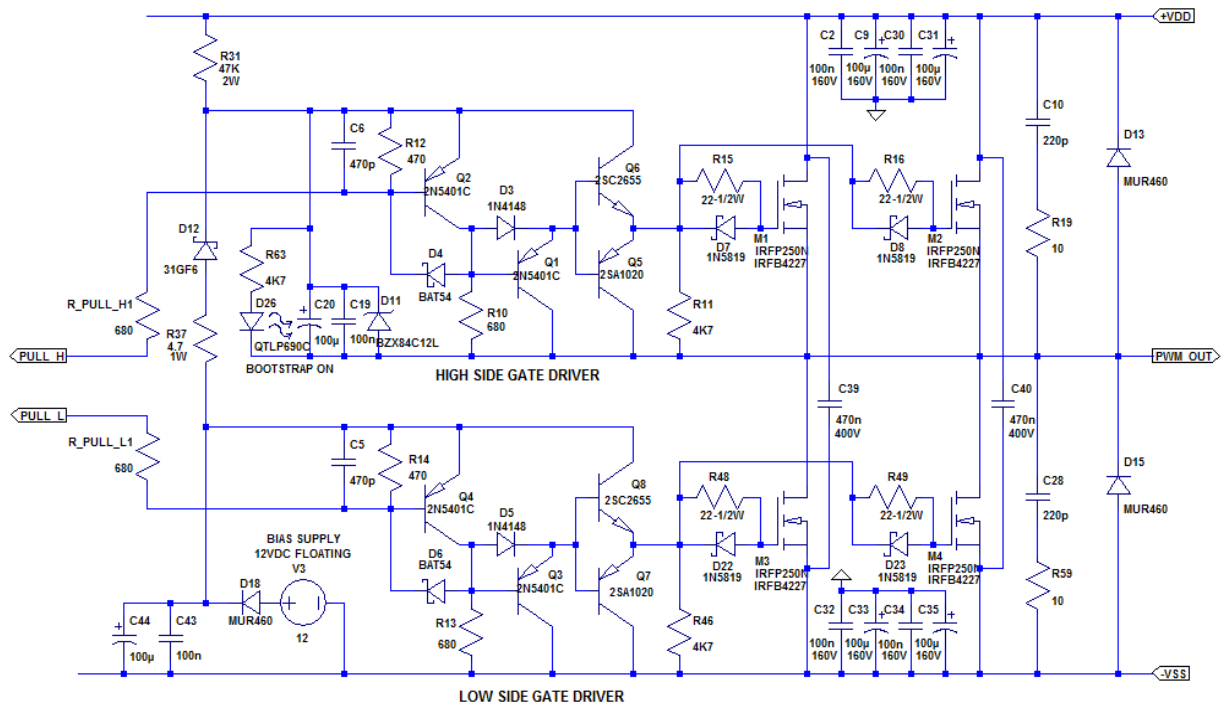
3.3 Power Stage

Power stage terdiri dari Mosfet beserta gate driver. Gate driver diperlukan untuk menyalakan dan mematikan mosfet secepat mungkin dengan jalan mengisi dan mengosongkan muatan gate dari mosfet. Baik mosfet high-side dan low-side masing-masing dikontrol oleh gate driver terpisah.

Gambar 9, charging gate driver mosfet low side M3, M4, diatur dengan menyalakan Q4 dengan jalan menarik arus dari basis Q4. Sedang untuk discharge gate dengan self-discharge dengan Q3 seketika saat Q4 arus basisnya dihentikan dengan tenaga dari muatan gate itu sendiri. Agar mampu menyalakan dan mematikan mosfet yang cukup besar maka ditambahkan totem-pole Q7 dan Q8.

Hal yang sama berlaku untuk high side mosfet M1, M2. D26 adalah LED indicator yang akan menyala bila bootstrap terisi. Artinya amplifier sudah berhasil start.

Nilai tahanan R14, R12 harus diatur agar ON dan OFF dari Q2, Q4 akurat demikian juga mosfet. Nilai yang terlalu kecil menyebabkan mosfet terlambat bahkan tidak bisa ON. Nilai terlalu besar menyebabkan mosfet terlambat OFF.



Gambar 9. Power Stage

Supply V3 merupakan 12 Volt supply yang reference nol tegangan di -Vss merupakan supply untuk gate driver. Untuk supply high side gate driver dibuat bootstrap melalui D12 dan R37, dimana akan mengisi C20 dari supply V3 saat PWM sudah terbangkitkan. Untuk mengisi C20 saat sebelum PWM start maka dipasang R31, sehingga amplifier bisa cepat start. D12 harus dipilih yang memiliki nilai transient reverse recovery (TRR) maksimal 30ns agar tidak panas. Karena tugas diode ini sangat berat maka harus dipilih diode dengan spesifikasi tinggi.

C39, C40, wajib dipasang untuk mencegah mosfet osilasi saat switching karena arus yang besar. C10, R19 dan C28, R58 adalah switching snubber untuk mosfet agar stabil. R11 dan R46 sangat penting untuk mencegah mosfet ON dengan sendirinya saat sebelum starting karena floating voltage dari gate mosfet yang menyebabkan gate charging dari induksi hingga dapat menyebabkan mosfet ON kedua sisi dan akhirnya terbakar. Jadi R11 dan R46 akan mengosongkan gate mosfet saat mosfet tidak bekerja.

Mosfet harus dipilih dari jenis yang ringan dan cepat. Ringan disini artinya kapasitif gate dipilih yang paling kecil agar tempo pengisian dan pengosongan muatan bisa berkecepatan tinggi. Lalu cepat disini adalah cepat ON dan OFF. Untuk memudahkan kita ambil referensi adalah mosfet IRFP250N yang merupakan pilihan paling minimum untuk kualitas. Sehingga mosfet lainnya dapat mudah dibandingkan parameternya dengan IRFP250N. Jika parameternya lebih bagus maka hasilnya juga tentu akan lebih bagus. Kriteria minimum yang perlu dilihat dari data sheet adalah:

1. Rated continuous current (ID) pada 70C atau 100C
2. Breakdown Voltage (BR)DSS
3. Resistansi saat Mosfet ON penuh (RDSon)
4. Total Gate charging (Qg)
5. Delay ON (Ton + TDon)
6. Delay OFF (Toff + TDoFF)

Rated Continuous Current (ID) mengikuti itungan umum watt output. Sedang breakdown voltage (BDV) minimal adalah tegangan plus ke minus. Gambar 10, memperlihatkan parameter IRFP250N.

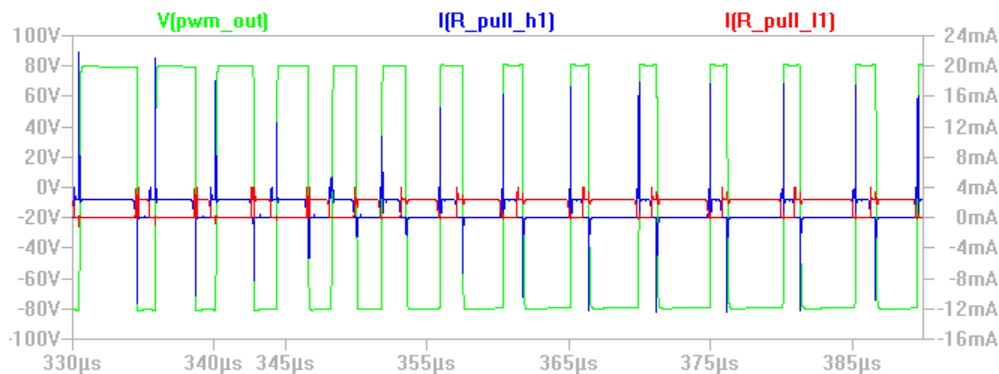
Absolute Maximum Ratings

	Parameter	Max.	Units
I_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} = 10\text{V}$	20	A
I_D @ $T_C = 100^\circ\text{C}$	Continuous Drain Current, $V_{GS} = 10\text{V}$	21	A
I_{DM}	Pulsed Drain Current	120	A
P_D @ $T_C = 25^\circ\text{C}$	Power Dissipation	214	W

Electrical Characteristics @ $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise specified)

Parameter	Min	Typ	Max	Units	Conditions
$V_{(BR)DSS}$	200	—	—	V	$V_{GS} = 0\text{V}$, $I_D = 250\mu\text{A}$
$\Delta V_{(BR)DSS}/\Delta T_J$	—	0.20	—	$\text{mV}/^\circ\text{C}$	Reference to 25°C , $I_D = 1\text{mA}$
$R_{DS(on)}$	—	—	0.075	Ω	$V_{GS} = 10\text{V}$, $I_D = 18\text{A}$ ①
$V_{GS(th)}$	2.0	—	4.0	V	$V_{DS} = V_{GS}$, $I_D = 250\mu\text{A}$
g_{fs}	17	—	—	S	$V_{DS} = 50\text{V}$, $I_D = 18\text{A}$ ②
I_{DSS}	—	—	25	μA	$V_{DS} = 200\text{V}$, $V_{GS} = 0\text{V}$
I_{GSS}	Gate-to-Source Forward Leakage	—	100	nA	$V_{GS} = 20\text{V}$
	Gate-to-Source Reverse Leakage	—	-100	nA	$V_{GS} = -20\text{V}$
Q_g	—	—	123	nC	$I_D = 18\text{A}$
Q_{gs}	—	—	21	nC	$V_{DS} = 160\text{V}$
Q_{rd}	—	—	57	nC	$V_{GS} = 10\text{V}$, See Fig. 6 and 13 ③
$t_{d(on)}$	—	14	—	ns	$V_{DD} = 100\text{V}$
t_r	—	43	—	ns	$I_D = 18\text{A}$
$t_{d(off)}$	—	41	—	ns	$R_G = 3.9\Omega$
t_f	—	33	—	ns	$R_D = 5.5\Omega$, See Fig. 10 ④

Gambar 10. Mosfet Selection Guide



Gambar 11. Output Power Stage

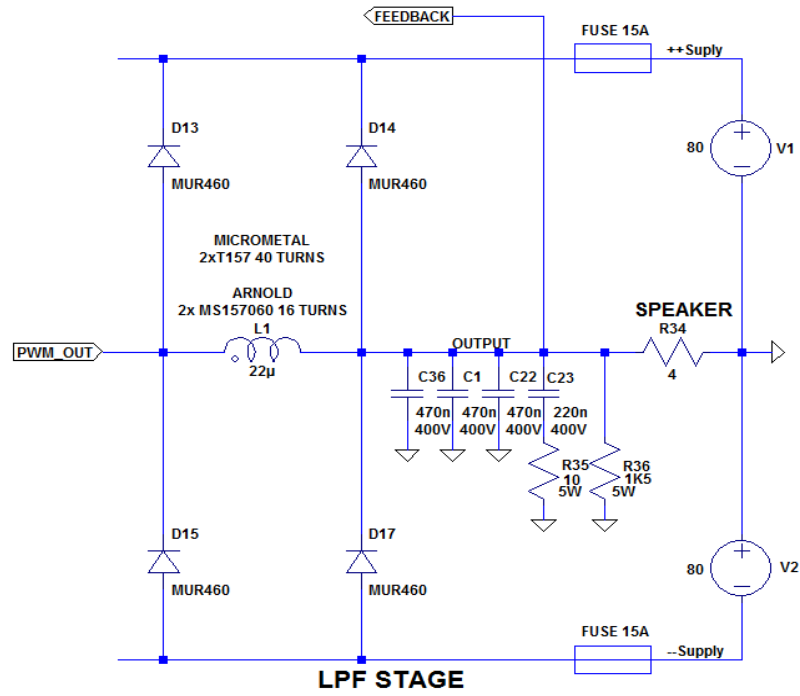
Dari Gambar 11, diperlihatkan output dari Power Stage yaitu sinyal PWM atau gelombang switching yang termodulasi. Lebar dan sempitnya slope mengikuti penarikan arus gate Q2 dan Q4 yang diperlihatkan pada arus $I_{[R_pull_h1]}$ dan $I_{[R_pull_l1]}$. Gelombang switching ini lalu dimasukkan ke dalam low pass filter atau LPF.

3.4 Low Pass Filter (LPF)

Gambar 12, diperlihatkan bagian akhir dari UcD Xlite Amplifier yaitu Low Pass Filter atau LPF stage. Gelombang Switching termodulasi dari Power Stage dirubah menjadi gelombang suara. Di dalam induktor L1 terjadi **store and release** energi mengikuti besar energi yang masuk dan dikeluarkan kembali. Jadi tidak semata-mata filterisasi melainkan ada **energy converter** dari gelombang PWM menjadi gelombang suara. Perbedaannya dengan bandpass filter biasa adalah filter biasa memfilter gelombang dengan menahan atau mem-bypass gelombang tertentu agar hanya frekuensi tertentu yang diteruskan tanpa merubah bentuk gelombang.

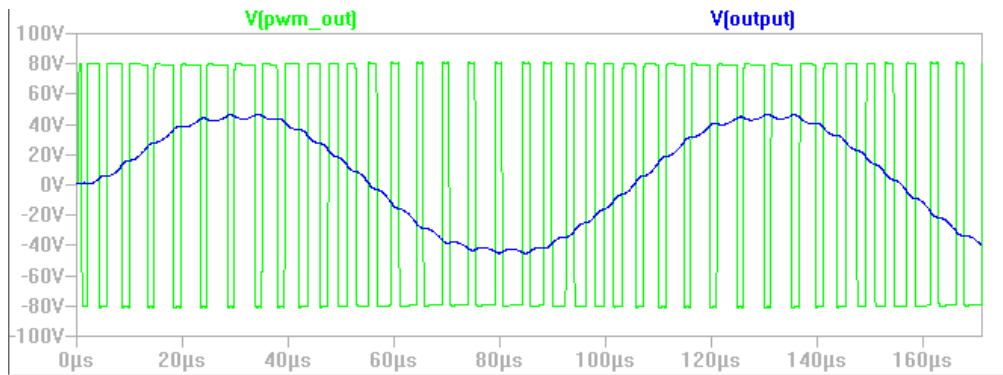
Karena induktor sebenarnya adalah energy converter maka harus dipilih dari jenis yang losses-nya rendah dan sesuai untuk energy converter pada frekuensi actual amplifier bekerja. Pemilihan induktor bisa dilihat dari Part 1, Class D Tutorial sebelumnya. Besar induktansi mengikuti kecepatan switching dari PWM.

D36, C1, C22 berfungsi untuk meredam ripple output sisa dari PWM. Ripple harus didesain tidak boleh lebih dari 3Vpp karena bila lebih dapat menyebabkan kerusakan speaker dan tweeter, terutama tweeter Piezo. Untuk UcD amplifier, kapasitor LPF lebih besar dari Non UcD Amplifier agar didapat ripple yang dikehendaki karena ripple ini justru dipakai untuk feedback untuk membangkitkan **self-oscillation** PWM.



Gambar 12. Low Pass Filter (LPF) Stage

C23 dan R35 adalah Zobel Network standar yang biasa ditemukan di ampli lain yang berfungsi untuk meredam tegangan induktif dari speaker. D13, D14, D15, D17, berfungsi untuk anti paralel, membuang daya yang berlawanan dengan daya supply, juga untuk membuang tegangan osilasi dari induktor dalam keadaan speaker tidak ada beban. R36 adalah dummy load agar tegangan output tetap stabil meski tidak ada speaker. Namun demikian R36 tidak boleh dibebani tanpa speaker terlalu lama karena akan panas dan kemungkinan juga bisa putus. Jadi bila tidak ada speaker sebaiknya volume ditutup.



Gambar 13. Low Pass Filter (LPF) Stage gelombang

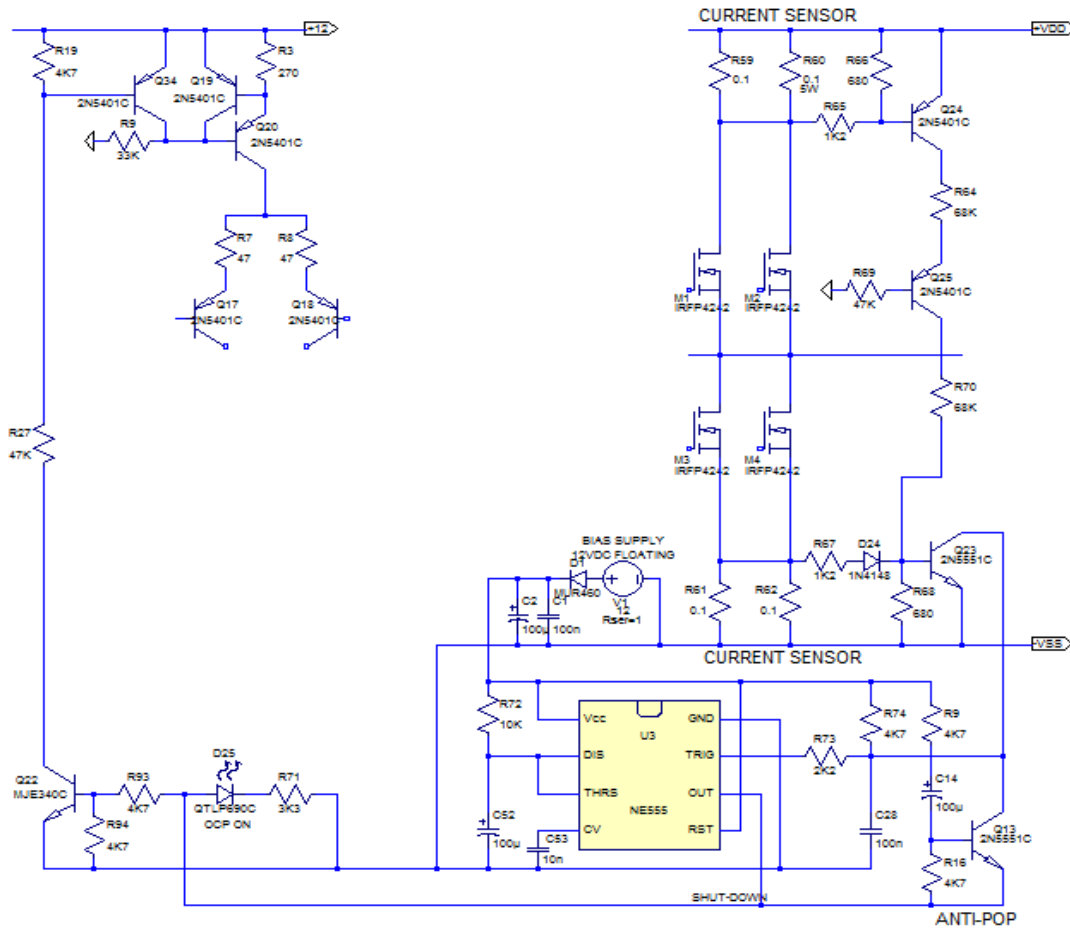
Gambar 13, memperlihatkan gelombang PWM masuk dan keluar dari LFP berupa sinyal sinus yang mengandung ripple. Harap diingat, ripple ini tidak akan terdengar oleh telinga karena jauh diatas frekuensi suara. Jadi sebetulnya menapis ripple ini tujuannya bukan untuk memperbaiki clarity tetapi agar tidak merusak speaker dan mengotori jaringan dengan gelombang elektromagnetik liar (EMI).

4. Penambahan Fitur Proteksi dan Signalling

Untuk meningkatkan kehandalan dan keamanan operasi amplifier, terutama karena akan dipakai untuk Pro Audio, maka perlu dipasang berbagai fitur keamanan antara lain overcurrent, DC failure dan Signalling. Type ini dikenal dengan UcD XLina.

4.1 Overcurrent Protection

Fitur proteksi Overcurrent digunakan untuk menghindari kerusakan akibat hubung singkat dari kabel output amplifier. Saat terjadi hubung singkat pada output, maka amplifier akan mati secara otomatis.



Gambar 14. Fitur Overcurrent Protection

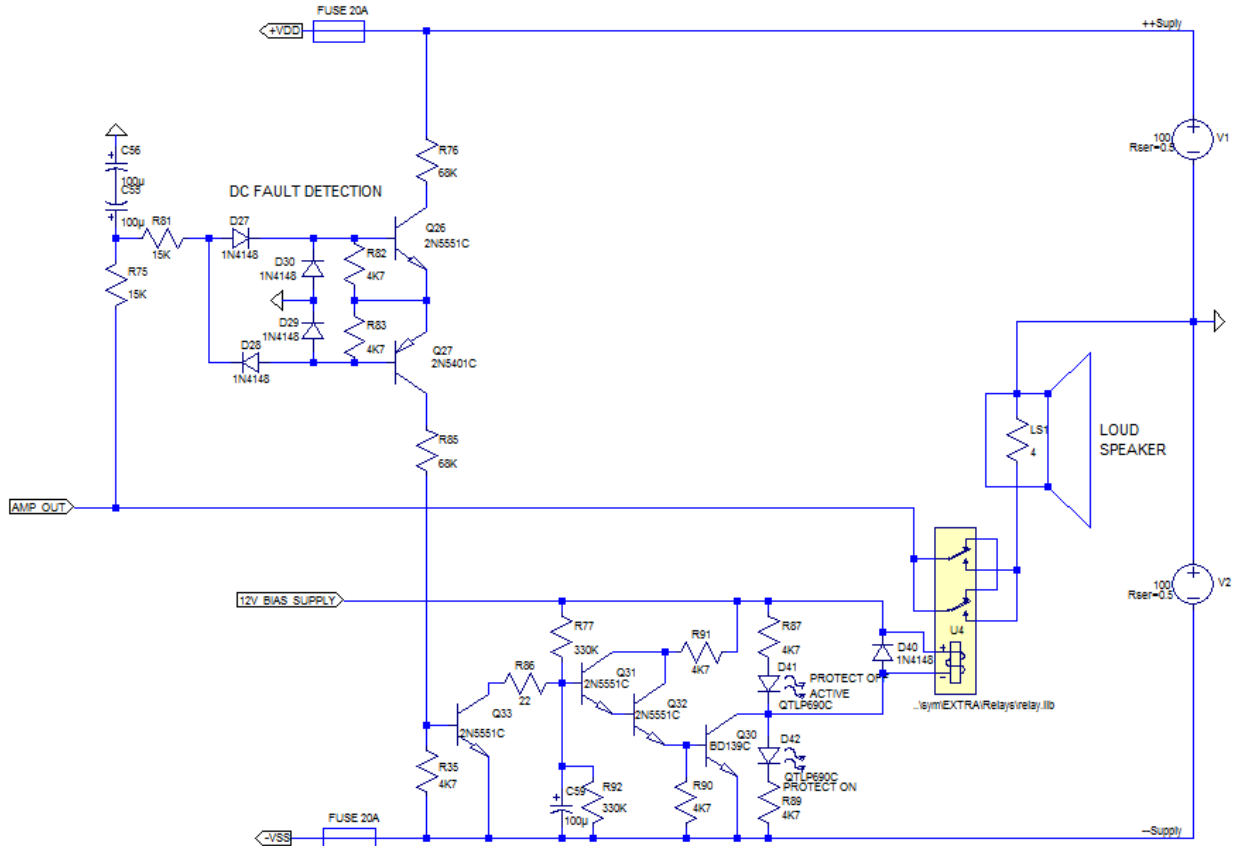
Seperti terlihat pada Gambar 14, untuk mematikan amplifier menjadi mode stand-by ialah dengan jalan memberi tegangan reverse bias pada Q20 dengan mengaktifkan Q34. Q34 akan aktif bila Q22 aktif dan menarik arus dari Q34. Q22 ini diaktifkan oleh IC 555, yang menerima trigger dan mengatur lamanya Overcurrent bekerja.

Resistor sensor arus, R59, R60, akan merasakan arus yang mengalir ke mosfet M1, M2, dan R61, R62 merasakan arus M3, M4. Saat terjadi hubung singkat output arus mosfet cukup tinggi sehingga timbul tegangan diantara resistor dan mengaktifkan Q23 dan Q24 sehingga men-trigger IC 555 untuk aktif dan outputnya bertegangan. Tegangan output ICC 555 lalu mengaktifkan Q22.

Anti-pop, dipasang untuk mencegah suara "dug" saat ampli dinyalakan dengan cara mengaktifkan IC 555 sesaat.

4.2 DC Failure Protection

DC Failure Protection wajib dipasang untuk melindungi speaker agar saat output amplifier keluar tegangan DC baik saat kesalahan operasi maupun ada mosfet yang tembus, sambungan ke speaker bisa diputus secara otomatis.



Gambar 15. DC Failure Protection

Seperti Gambar 15, Relay U4 menyambungkan speaker. Relay ini akan aktif bila C59 terisi sehingga Q31, Q32 aktif demikian juga Q30. Q33 adalah trigger untuk mengosongkan C59 dan akhirnya mematikan relay.

Tegangan DC dipantau oleh Q26 dan Q27. Saat kondisi normal tegangan AC di-by-pass oleh C55, C56. Saat terjadi output DC maka melalui diode bridge D27, D28, D29, D30, maka Q27 dan Q27 akan aktif dan mengalirkan tegangan untuk kemudian mengaktifkan Q33. Q33 akan mengosongkan C59 sehingga Q31 dan Q32, juga Q30 akan non aktif sehingga relay akan OFF dan memutus sambungan amplifier ke speaker.

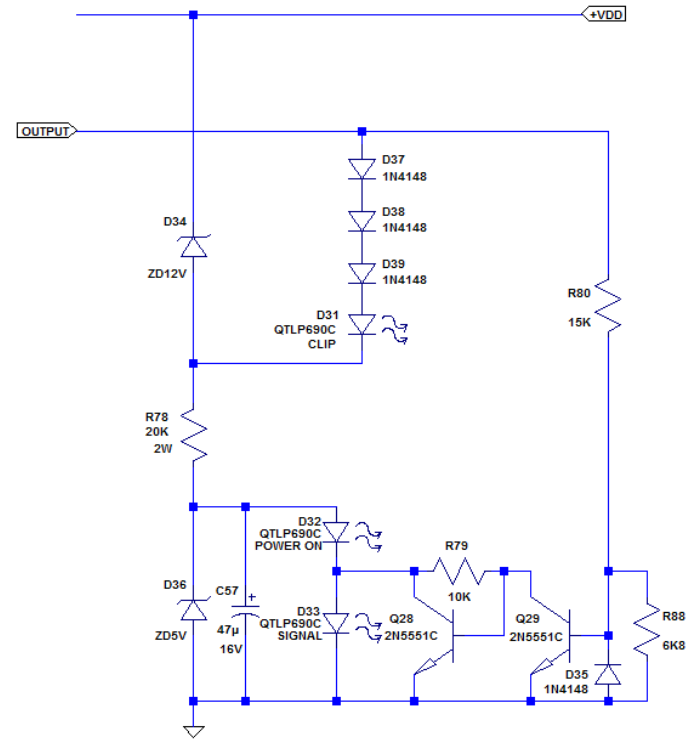
4.3 Front Panel Signalling

Fitur front panel signaling dipergunakan untuk mengetahui status dari amplifier. Skemanya seperti pada **Gambar 16**, dimana signaling terdiri dari power ON, signal output dan Clip. Ketiga signal umumnya wajib ditambahkan di setiap amplifier.

Bagian penting dari fitur ini adalah clip indicator. Clip indicator penting karena bila kita tidak tahu bahwa amplifier dalam keadaan clip bila berlangsung kontinyu maka dapat menyebabkan amplifier rusak. LED D31 akan aktif bila tegangan output adalah:

$$\text{Clip ON} = V_{\text{VDD}} - V_{(\text{D34}+\text{D37}+\text{D38}+\text{D38})}$$

Atau tegangan output kurang lebih 15V dibawah tegangan supply. Indikator ini artinya LED boleh saja menyala atau clip tetap harus sangat jarang. Bila clip terus menerus terjadi maka mosfet akan mengalami kondisi linear yang cukup lama hingga mengakibatkan mosfet terbakar. Bila pun tidak terbakar maka akan timbul suara "brekk brekk".



Gambar 16. Front Panel Signalling

Indikator LED D32, adalah power ON yang menandakan +VSS bertegangan. D33 akan menyala bila output amplifier sudah keluar tegangan output dan men-trigger Q28 dan Q29.

Daftar Sumber:

<https://www.hypex.nl/>

<https://assets.nexperia.com/documents/user-manual/UM10155.pdf>

<https://masteringelectronicsdesign.com/how-to-derive-the-instrumentation-amplifier-transfer-function/>

https://www.hypex.nl/img/upload/doc/an_wp/WP_AES118BP_Simple_self-oscillating_class%20D_amplifier.pdf

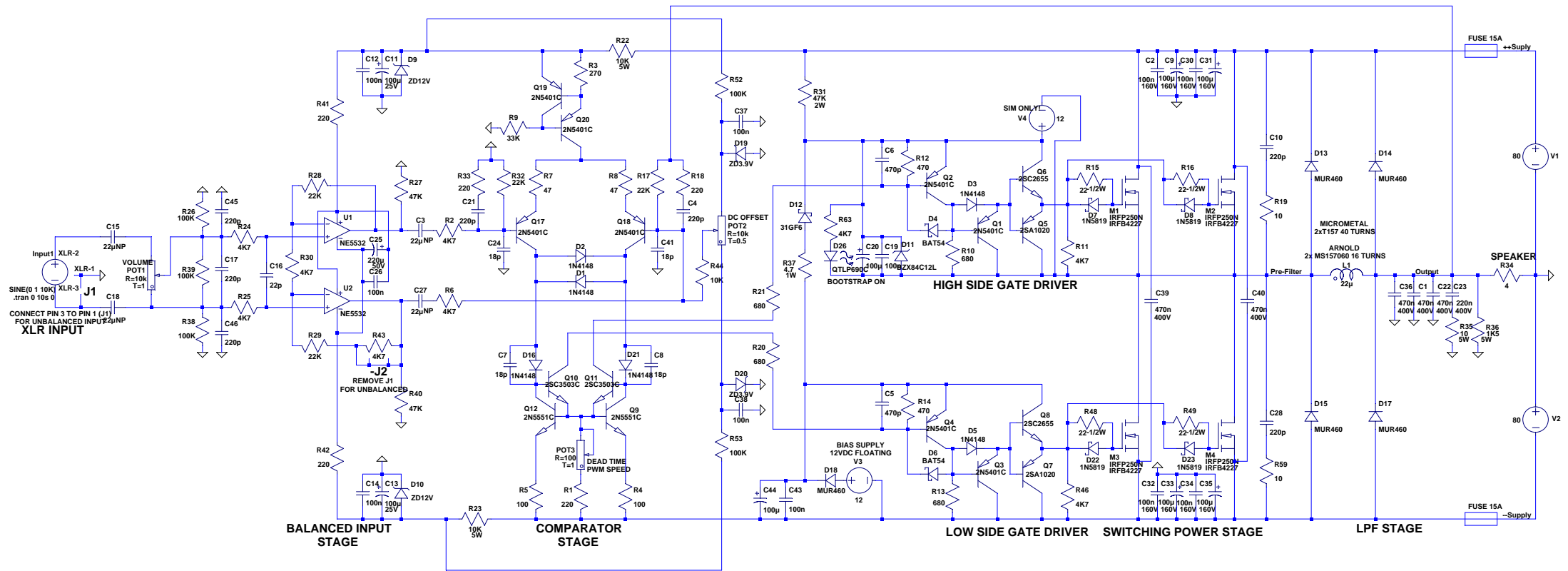
Thanks for Contributor: Dian Arif Lufianto, for PCB Layout

LAMPIRAN-1

Skema UcD XLite Amplifier v.3

UcD-XLite -- All Discrete Class D Amplifier v.3 Final

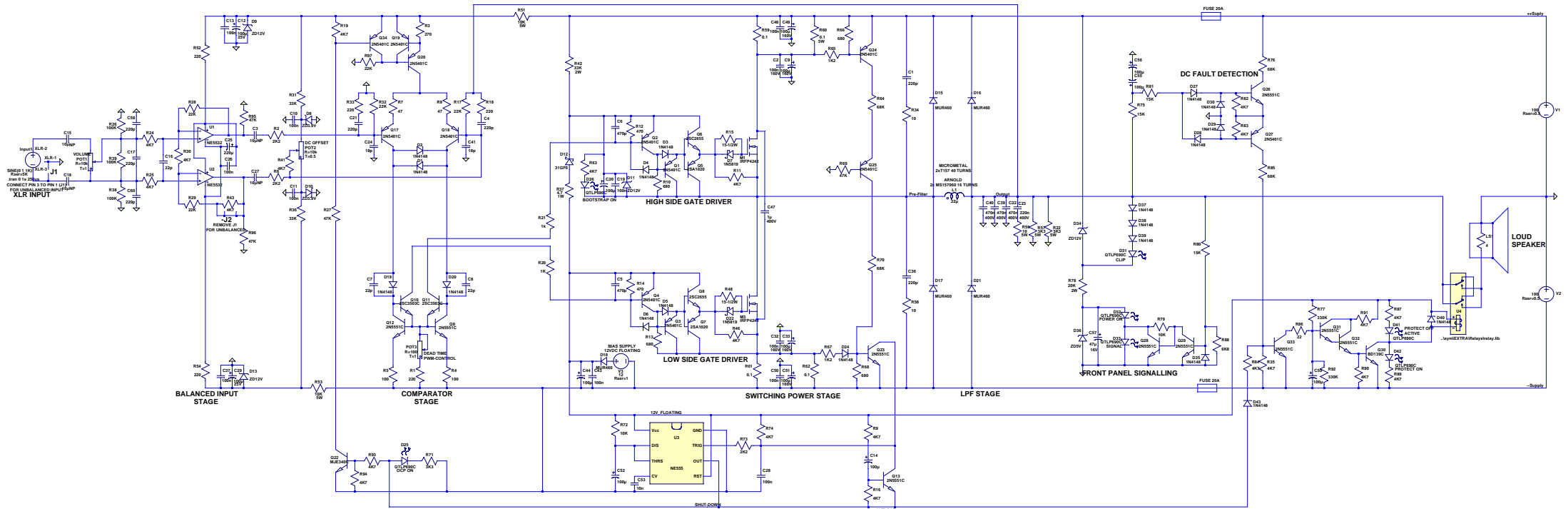
Kartino Surodipo, Dec 2016



LAMPIRAN-2

Skema UcD XLite Amplifier v.4 full version

UcD-XLITE v.4 -- UcD Discrete Class D Amplifier
 Kartono Surodipo, Sept 2017



LAMPIRAN-3
PCB UcD Xlite v.3

