

Standardkrav och schemaförslag

Till vår förstärkare behöver vi alltså en nätdel som har följande viktiga data.

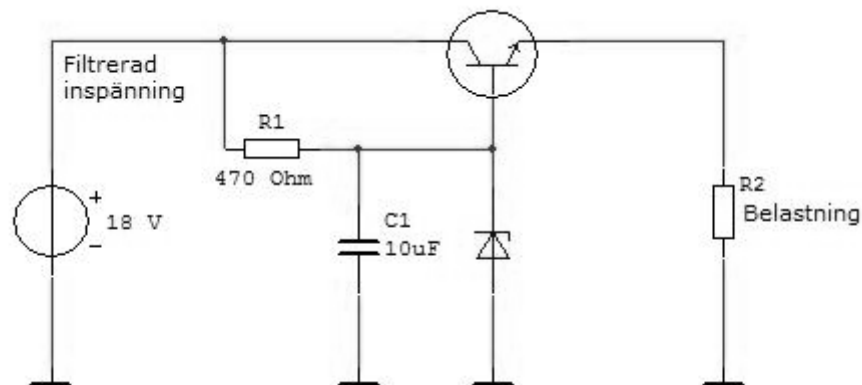
Låg brumspänning.

Lågt brus.

Bra reglering.

Låg ESR.

Låg brumspänning åstadkommer vi genom att använda en regulator som effektivt kan dämpa alla försök att släppa ut brum på vår matningsspänning. Ett enkelt sätt att åstadkomma detta är att ansluta en bra kondensator på basen för en seriereglerande transistor, här använder vi transistorn som strömförstärkare och vill då inte ha något ”brum” på transistorns bas.



En mycket vanlig regulator med serietransistor och en zenerdiod, hela kopplingen funkar så att U_{be} är konstant och då får vi konstant utspänning. Den ”viktigaste” komponenten är C1, den kondensatorn kan mycket väl bestå av 2-3 parallellkopplade kondensatorer av fallande värde. För att kretsen skall fungera så måste spänningen över zenerdioden vara så fri från brum som möjligt, och R1-C1 bildar ett lågpasfilter som dämpar brumspänningen.

Denna enkla regulator fungerar i de flesta fall mycket bra med fullt tillräcklig reglering och dämpning av brum. För beräkningar av de enskilda komponenterna finns det utmärkta exempel i diverse handböcker och datablad där denna krets är väl utredd. Glöm bara inte C1, det finns flera exempel där man utelämnat denna kondensator med klart sämre prestanda som följd.

Vi får ännu bättre reglering genom att välja en integrerad regulator i serien 78XX eller 79XX för negativa spänningar. Dessa regulatorer har ofta en så bra reglering att brummet dämpas med upp emot 100 dB.

Nu är allt inte enkelt här i världen dock, dessa fina regulatorer har ofta väldigt mycket brus som modulerar vår brumfria likspänning. Ofta kan detta brus variera stort mellan olika tillverkare och även mellan olika partier från samma tillverkare.

Vill vi ha lågt brus så bör vi välja en regulator ur serien LM317 och LM337 eller motsvarande kretsar från andra tillverkare, dessa är inte fasta i utspänning utan vi behöver tala om vilken spänning som vi vill ha ut från regulatorn genom att koppla in två motstånd med rätt förhållande. Dessutom finns en variant LM317HV som medger utspänning upp till 57 volt.

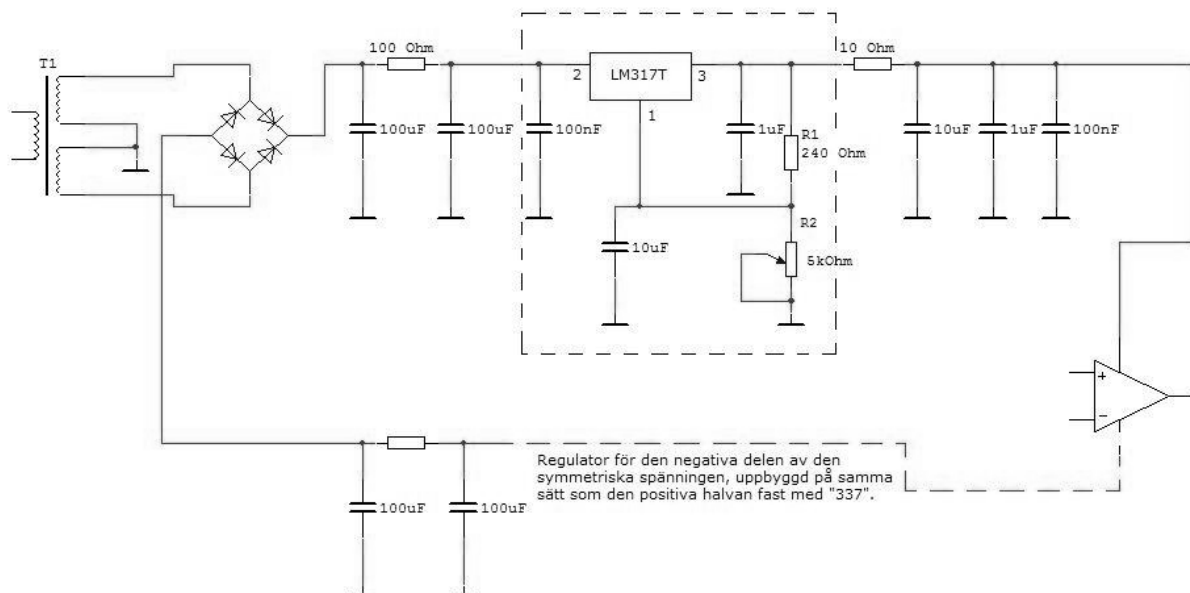
Det finns olika mätningar som redovisar att vissa varianter skall vara ytterligare brusfattiga, något som jag inte helt entydigt bekräftat, utan det är säkert en viss spridning mellan fabrikat och tillverkningsomgång även här.

I respektive datablad står det utförligt hur motstånden som styr utspänningen skall beräknas, vanligtvis är det flera termer med vars summa bildar utspänningen. Flera av termerna är olika "felbidrag" som vanligtvis går att bortse från om vi inte behöver extremt väl bestämd spänning. Normalt använder vi termen $1.25 (1+R2/R1)$ för att bestämma lämplig utspänning, eller så löder vi in en trimpot som vi sedan kan byta ut mot lämplig resistor om vi nu tycker att det är jobbigt att räkna. Fabrikanten brukar rekommendera att $R1$ är mellan 120 - 240 Ω .

Räknar vi på fasta motstånd så behöver vi ca. 2 k Ω för att få 12 volt. Det är ofta inte den exakta spänningen i volt som är intressant, utan mer att den är perfekt symmetrisk, alltså lika mycket plus som minus.

I praktisk koppling väljer vi $R1 = 240 \Omega$ och $R2 = 2 \text{ k}\Omega$, har vi bara E12-serien så kan vi ta $R1 = 470 // 470 = 235 \Omega$, och $R2 = \text{två seriekopplade } 1 \text{ k}\Omega = 2 \text{ k}\Omega$.

För "337" blir, enligt databladet, utspänningen $-1.25 (1+R2/R1)$ med rekommenderat värde på $R1 = 240 \Omega$. Det innebär att $R2$ blir samma som vi beräknade för den positiva regulatorm "317".



De komponenter som finns inom den streckade arean bör monteras så nära inpå regulatorm som bara är fysiskt möjligt. Övriga delar kan monteras lite friare, dock så måste alla jordar samlas i EN punkt. Innan monteringen bör man rådgöra med manualen för att kontrollera eventuellt behov av kylfläns.

Motståndet på 10 Ω efter regulatorm kan ge en ytterligare marginal mot brus etc, men normalt har vi inget motstånd efter regulatorm, varierar strömuttaget så kommer även utspänningen att variera. Men på en applikation där vi har samma strömförbrukning över tiden kan den sista LP-länken ge ytterligare dämpning av brus. OBS, notera att benkonfigurationen skiljer sig mellan "317" och "337", kontrollera mot datablad.

Jag brukar löda "337:an" först, mäta spänningen, och sedan korrigera motstånden runt "317", mest för att benkonfigurationen gör att jag brukar komma åt att löda lättare på den benordningen som 317 har, annars går det naturligtvis lika bra att göra tvärt om. Det viktigaste är igen att spänningen blir symmetrisk. Vid denna mätning kom spänningarna endast 0.017 volt ifrån varandra! Det är OK om spänningarna är inom 0.5 volt.

Fantomspänningen fixades med en LM317HV som klarar upp till 60 V inspänning. Motsvarande resistorer valdes $R1 = 220 \Omega$, och $R2 = 8.2 \text{ k}\Omega$. Utspänningen blev där 47 volt vilket inte justerades.

Lågt ESR får vi av att fördela de kondensatorer som behövs längs matningsspänningen, så att det sitter lite mindre elektrolytkondensatorer på flera ställen istället för en stor kondensator vid likriktaren. Dessutom bör varje kondensator bestå av två eller tre kondensatorer med en dekad emellan kondensatorernas värde som alla sedan kopplas parallellt (se exempel längre ned i texten).

Lågt brum säkerställer vi med att vara extremt noga med att bara ha EN (1) jordpunkt. Detta låter kanske banalt, men är extremt viktigt när man letar varje millivolt av störningar.

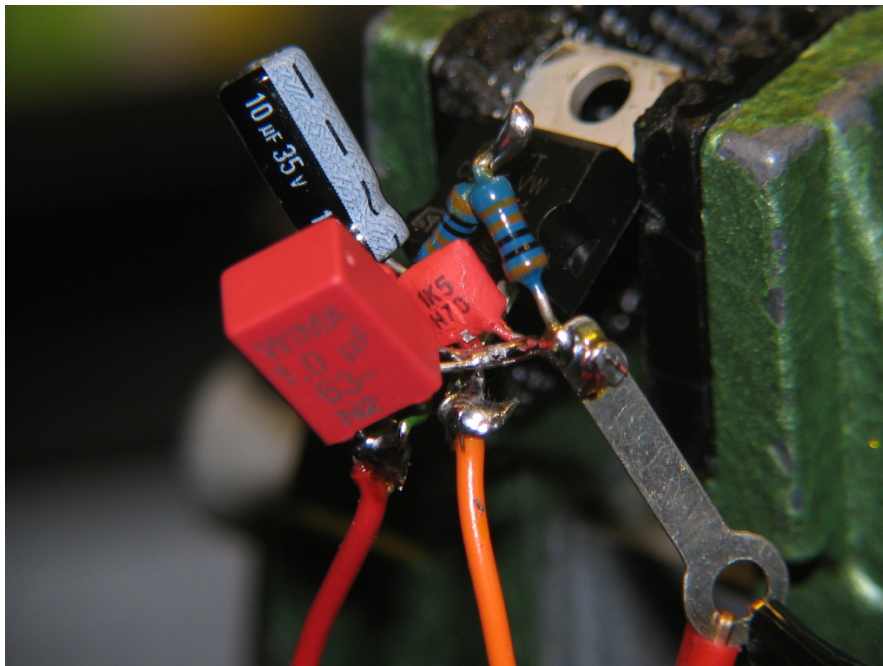
Viktigt är också att tänka på var det går stora pulsformade strömmar, runt en likriktare och genom den första filterkondensatorn kan det lätt gå över 10 A i pulsström, är det en stor nätdel på flera hundra VA så kan strömmen genom likriktardioderna gå upp till flera hundra amper i pulsström. Denna pulsström genererar lätt en brumspänning på flera mV som sedan förstärks i vår koppling.

Denna pulsström låter inte som ett ”brum”, övertonshalten är så hög att det oftast låter som ett envist ”surr”. De som byggt en HIFI-effektförstärkare där nätdelen oftast bara är en likriktarbrygga och stora elektrolytkondensatorer har säkert hört verkningarna av denna pulsström som ett ”surrande” som finns i bakgrunden hela tiden.

Som synes är det viktigt att både kretsval och byggsätt är väl avvägt. När vi sedan kan vad de olika delarna innebär kan vi välja bort olika delar för att vi t.ex. inte störs av bruset, eller att lite brum inte spelar så stor roll.

Byggsätt

Om ”luftbyggen” inte funkade så bra vid bygge av mikrofonförstärkaren så kan det vid nätdelsbyggnad vara ett mycket bra byggsätt, kanske det bästa byggsättet.



Den positiva regulatorn LM317T ”up and running”, vid så här kompakt bygge slipper man mycket problem, om man nu inte råkar kortsluta allt med för mycket lödtenn ...

Enligt databladet skall denna koppling med 10 µF på Vadj ge minst 80 dB rippeldämpning mellan 100 Hz – 1 kHz.

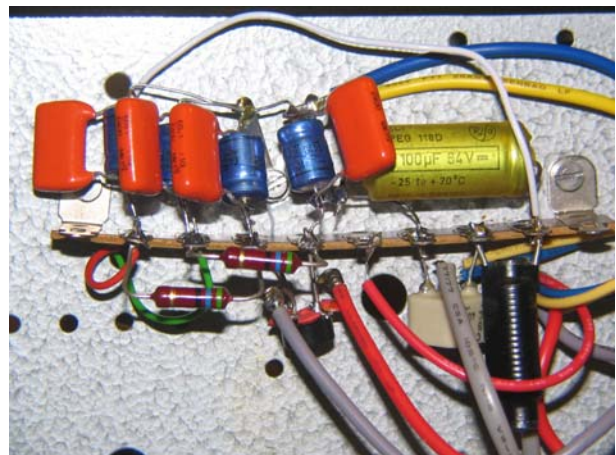
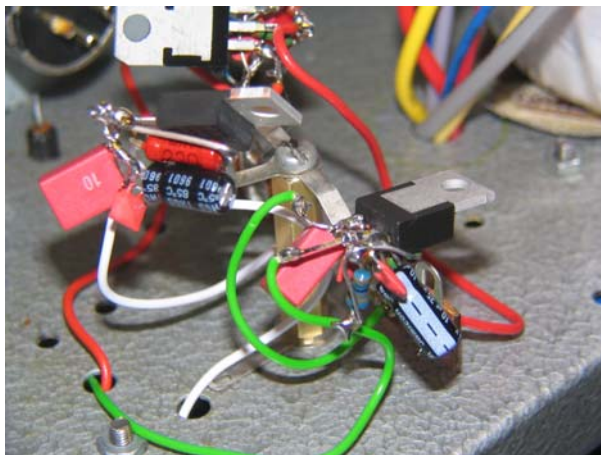
Notera lödorat för jordanslutning.

Anledningen till att detta byggsätt fungerar så bra är att de flesta (alla) regulatorer vill ha en kondensator på in respektive utgång som hindrar att självsvängning uppstår samt att visst brus dämpas. Dessa kondensatorer och de två motstånden som eventuellt behövs för att få lämplig utspänning skall alla anslutas med korta trådar nära kapseln till regulatorn. Dessutom behöver regulatorn i regel kylas och behöver därför skruvas i någon plåtvägg eller kylfläns. Ofta räcker det med två regulatorer och ett par lödstöd för att på en liten yta montera en komplett stabilisering.

Då vi i denna nätdel inte skall förbruka så mycket ström kan vi montera ett RC-filtrer efter likriktaren, vi låter helt enkelt den andra elektrolytkondensatorn laddas via ett motstånd, och på så sätt reducerar pulsströmmen. Den första elektrolytkondensatorn kan därmed vara lite mindre i kapacitans då minskas strömpulserna ytterligare. Dessutom är ofta dioderna så snabba att koppla om mellan icke ledande och ledande tillstånd, så vi behöver dämpa de snabba förloppen med en kondensator över varje diod, annars uppstår ett brus från dioderna.

Se separat schema över transformator och likriktare längre fram.

Och igen poängterar jag att när vi nu börjar bygga den fysiska kopplingen så är det en sak som måste vara extremt noga med, vi måste få ALLA jordanslutningar att löpa samman i EN punkt. Ren fysiskt är detta nästan omöjligt, men strävan måste ändå vara att uppfylla detta. Tittar vi på bilderna så ser vi hur kopplingen växer fram med fokus på kompakt bygge med korta trådar och gemensam jordpunkt.



För att visa att byggsättet inte behöver vara ”snyggt” för ögat byggde jag denna nätdel med fokus på att alla jordpunkter skall anslutas till EN punkt. Jag valde att bygga nätdelen på två sidor om en chassieplåt och fick på så sätt en naturlig uppdelning mellan filterdel med likriktare på ena sidan, och regulatordelen på andra sidan av plåten. Den mässingsstolpe som alla regulatorerna är skruvade i har jordpunkten gemensam med filterdelen, som är skruvade i andra änden av stolpen.

Här har jag två filterlänkar efter likriktaren, sedan regulator, och därefter en filterlänk på kortet där förstärkaren är byggd, detta för både ± 10 V och fantomspänningen 48 V,

Regulatorerna saknar kylflänsar för att förlusteffekten är så låg att extra kylning ej är nödvändig, detta förenklar montaget högst betydligt då man slipper isolerbrickor etc,

Det skall villigt erkännas att byggsättet är tämligen extremt, men trots det ”risiga” utseendet så mäter denna nätdel otroligt lågt, rippet är mindre än 0.01 mV, och bruset ligger mer än 10 dB under mikrofonens egenbrus, det senare räknat som ekvivalent utsignal från förstärkaren inom frekvensområdet 22.5 Hz – 22.5 kHz.

Komponenter

Om vi tittar på vilka komponenter vi använder så börjar vi först med en strömbrytare som bryter båda ledarna till transformatorn. För att hindra knäppar och brus att nå förstärkaren via nätkabeln monteras de störskyddskomponenter som finns inritade, notera även drosslarna.

Därefter kommer transformatorn, i detta bygge så behöver den inte vara på mer än ett fåtal VA, men som vanligt kan man "ta vad man har", bara storleken känns "rimlig".

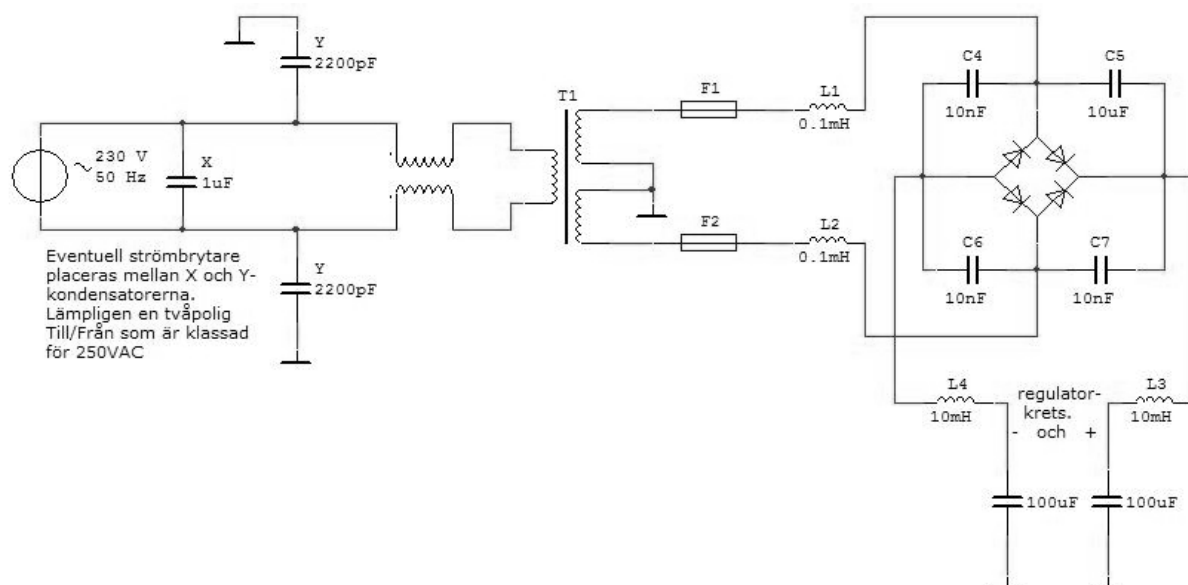
E-kärna eller toroid likaså, även om toroid är klart att föredra pga lågt störfält.

Spänningen bör vara minst 2 lindningar om 10 VAC, men det gör inget om vi har 2 X 20 VAC heller. Regulatorerna tar hand om spänningar mellan 35 volt ned till knappt 3 volt över utspänningen, det måste finnas minst några volt för regulatorn att jobba med, kontrollera mot datablad för aktuell typ. Visserligen blir det lite mer förlusteffekt i form av värme, men det är så lite ström så det blir ändå inte någon betydande värmeutveckling.

Vi behöver även en lindning för fantommatningen, men där räcker det med en filtrering i flera steg med en zenerdiod som bestämmer spänningen till ca 48 volt. Det är så lite ström som flyter från den lindningen så det gör inget om den är upp mot 100 volt eller så, värmeutvecklingen i motstånden innan zenerdioden blir ändå väldigt liten. Jag valde två toroidtransformatorer från Velleman, 1512 och 1530, de räcker även för framtida utbyggnader av förstärkaren och kan mata flera mikrofoner.

Här kan man också använda den tidigare beskrivna regulatorn LM317HV om man vill prova regulatorer på alla spänningar. Anpassa i så fall transformatorns lindningar så att regulatorn inte får för hög inspänning.

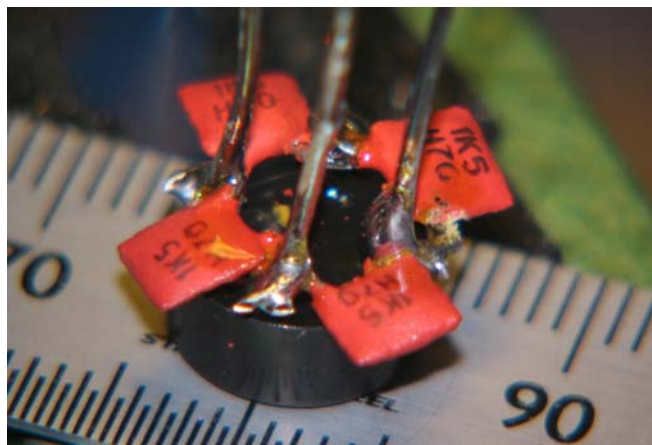
Tänk på hur transformatorn skall monteras, den är oftast den absolut tyngsta komponenten och behöver monteras stadigt.



Transformator och likriktare. Som synes är det är ganska många komponenter som behövs för att få en högvärdig nätdel, och i många applikationer klarar man sig med mindre antal. Filterdelarna på primärsidan reducerar "knäppar" och brus etc som kommer från nätet högst märkbart, enklast är att köpa ett filter integrerat med nätbrunn mm. Efter T1 sätter jag alltid säkringar för att förhindra att T1 brinner upp om likriktaren etc. går till kortslutning.

Induktanserna och kapacitanserna runt likriktaren är viktiga om vi jagar "brum o surr" från vår nätdel.

Likriktaren är ofta okritisk med de små strömmar och spänningar vi har i vår mikrofonförstärkare, dock kan de pulsströmmar som flyter till första kondensatorn ställa till lite problem. Omkopplingen mellan positiv och negativ halvperiod orsakar ofta brus från likriktaren, bruset försvinner till stor del genom att koppla en kondensator på ca. 1-10 nF parallellt över varje diod. I extrema fall kan även små drosslar monteras i serie med alla anslutningar till likriktaren.



Det kan som synes vara tämligen ”pilligt” att montera alla avstörningskomponenter.

Här är det likriktaren som får kondensatorer monterade så att bruset som uppstår vid omkoppling mellan + och – inte ”slinker ut”.

Allt skall monteras med kortast möjliga trådar, och så nära komponentkroppen som möjligt. En liten lödpenna och bra förstöringsglas är alltid till god hjälp

Elektrolytkondensatorerna i nätdelar skall väljas så att ESR är lågt, och varje elektrolyt skall parallellkopplas med en pulskondensator av polypropylen med en storlek på en till tre dekader mindre än elektrolytkondensatorn, detta för att ytterligare sänka ESR.

Exempel: vi har en elektrolyt på 100 μ F, vi parallellkopplar den med en pulskondensator på ca. 1 μ F och sänker på så sätt ESR för högre frekvenskomponenter. I riktigt krävande tillämpningar kan man behöva montera en tredje kondensator på 10-100 nF för att erhålla optimala data på kondensatorn.

Regulatorn är svår att påverka annat än att vi följer tillverkarens anvisningar. Försök att få tag på tillverkarens datablad över just den typen av regulator du har, de bokstäver som finns efter siffrorna har ibland en ganska stor betydelse för hur mycket last och spänning som regulatorn tål. Databladerna är ofta fulla av nyttiga tips om allt ifrån olika kopplingar, till montering av regulatorerna, läs noga.

Tänk på hur du monterar din regulator, använd rätt isolerbricka mot kylflänsen etc. Anslut kondensatorer så nära regulatorn det går. Om du använder långa trådar (typ 5 – 10 cm) så kommer många regulatorer att självsvänga runt 5 -10 MHz med massor av störningar och brus som resultat, montera därför kondensatorerna nära komponentkroppen enligt exempel.

Kommer vi att märka skillnad på olika regulatorkretsar?

Ja, i vissa applikationer som denna kan vi märka om vi har ”brusiga” regulatorkretsar, speciellt om vi använder mikrofonen utan begränsat tonomfång med filter o dylikt.

I alla positioner där ”hög” förstärkning förekommer riskerar vi att bruset från nätdelen adderas till nyttsignalen, även om bruset är aldrig så litet blir det till slut hörbart. Det är dock viktigt att vi har kontroll på vid vilka frekvenser vi har det största energispektrumet när vi mäter, det är annars lätt att vi mäter den del av bruset som ändå inte hörs. Här som alltid gäller det att ha koll på vilken bandbredd vi arbetar med.

Andra ställen där vi tydligt kan märka bruset är i t.ex. sändare, mottagare och andra apparater som innehåller oscillatorer som helst skall vara "brusfattiga", då måste även spänningsmatningen vara brusfattig. Annars riskerar vi att bruset modulerar oscillatorsignalen och genast har en "ren" oscillatorsignal fått ett mediokert spektrum. Att fixa reglerkretsarna i spänningsmatningen är ofta en mycket bra början för att få en ren och fin oscillatorsignal.

Många tillverkare har dessutom valt bort den mindre kondensatorn parallellt över elektrolyten, en elektrolytkondensator som ofta är av "billig" modell, och efter några år har ESR blivit så stort att regulatorns funktion är mycket begränsad, plats för förbättringar.

Nät del utan regulator

Vill man bygga sin nät del utan regulator så går det ofta bra det också, vi får då en likriktad och filtrerad spänning, men då den inte är stabiliserad så kommer långsamma variationer i nätspänningen att återverka på nivån på likspänningen. I de flesta av våra projekt kan vi klara oss med ostabiliserad spänning, även om vi som här har en förstärkare med en positiv och en negativ halva så är det så att så länge som spänningarna har samma inbördes förhållande så spelar det oftast ingen eller liten roll om spänningsnivåerna rör på sig lite.

Men om vi nu inte har en regulator som hjälper till att minska brummet, hur gör vi då? För att få en bra filtrering krävs att vi filtrerar i flera steg och att det finns en mellanliggande induktans eller resistans. För en applikation som denna behövdes att jag filtrerade i fem steg för att komma till samma låga brumspänning som det aggregat jag byggt med regulatorer. Om jag fortsätter att filtrera så kan det gå att komma lägre, men frågan är om det är nödvändigt.

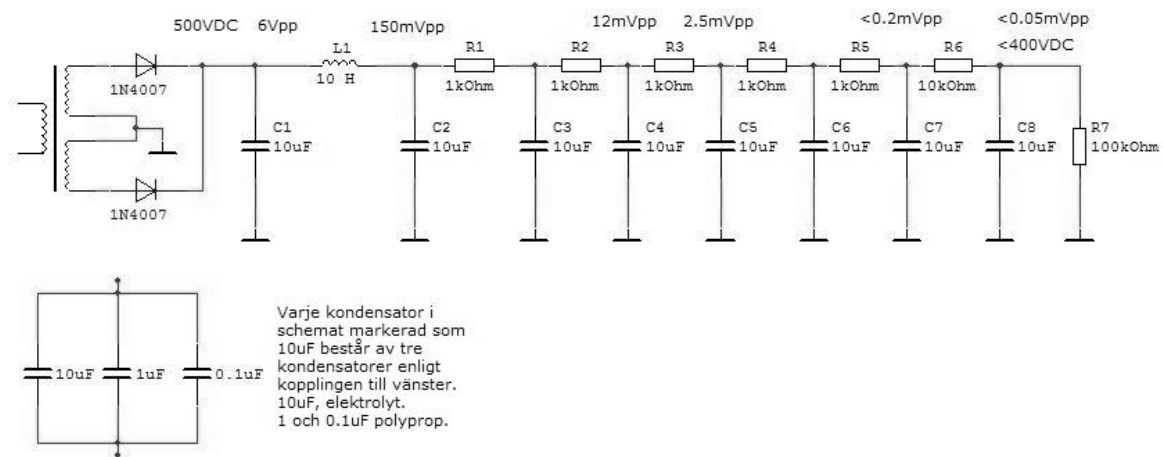
Notera att det inte är helt enkelt att mäta störningarna i ett nätaggregat, dels finns störningar hela tiden omkring oss från elnätet etc. Dels krävs det bra instrument som kan mäta ned till millivolt på AC-området någorlunda reproducerbart.

I exemplet nedan så kan de flesta "vanliga" multimetrar inte mäta någon skillnad på alla AC-spänningar efter drosseln, de störningar som kommer in i mätsladdar etc. är ibland större än den spänning vi försöker mäta. Prova gärna med att stänga av nät delen och se om avläst värde förändras. Om bara känsligheten räcker så visar den äldre analoga visarinstrumentet ofta mer "rätt" än sin moderna efterföljare, framförallt är det ofta mycket lättare att läsa av värdet, då brus ofta är en "stor" del av vår signal när vi mäter i så innebär det att mätaren är allt annat än stabil i sitt utslag.

Om multimetern har "autoranging" kan man råka ut för att på en del "billiga" mätare så byter mätaren område efter DC-spänningen, trots att vi mäter AC-spänning. Gör gärna mätningar med flera olika mätare och lär dig hur olika mätare reagerar på att mäta en liten AC-spänning blandat med en mycket större DC-spänning. Det kan lätt skilja en faktor 1000 - 100 000 ggr eller mer (!) mellan DC-spänningen och effektivvärdet på den AC-spänning vi försöker mäta, då behövs det bra kretsar i instrumenten.

Eftersom det är så svårt att mäta kvalitén på likspänningen så tvingas vi ofta att bygga vår nät del "på känsla", lär dig genom erfarenhet hur kvalificerad nät del som vi behöver. Det är helt klart lite "over kill" att bygga en högvärdig nät del till en enkel räknarkrets, medan det till en hörlursförstärkare kan behövas en nät del som är 3-4 ggr större volym än vad själva förstärkaren kräver.

I en praktisk koppling fick jag följande uppmätta värden på brumspänningen i V_{pp} .



Mätningarna utfördes med en bandbredd på ca. 400 Hz, huvuddelen av energin i ripplet ligger (som väntat) på 100 Hz. I den ström vi belastar elnätet med är övertonshalten en helt annan. Att de låga tonerna framträder i den filtrerade spänningen är kanske inte så konstigt då filtret består av 7 seriekopplade LP-filterlänkar.

Total åtgång av komponenter till filtret: 24 kondensatorer, 6 motstånd och en drossel. Volymen på filtret är avsevärd då kondensatorer som tål över 500 V (630 V märkspänning) är knappast små, samt att en drossel på 10H eller mer är både stor och tung om den skall klara lite ström.

Hittar man ingen drossel kan man ersätta den med ett motstånd, med viss försämring som följd, men ändå en tämligen tyst nätdel.

Liksom tidigare så gäller här att det måste vara olika kondensatorer som parallellkopplas för att vi skall få riktigt fina värden på ESR mm. Så totalt sett kan denna lösning bli ganska dyr om man inte är välförsedd med ”bra” kondensatorer. Men ”junkboxen” brukar inte vara översvämmad av fina elektrolytkondensatorer, och just denna komponent har ofta ett ganska kort ”bäst före” datum, använd alltså gamla elektrolyter med viss försiktighet om du inte kan mäta att ESR-värdet (och läckströmmen) är lågt.

Att använda så kallade ”supercap”-kondensatorer med kapacitanser upp emot flera farad funkar dåligt i dessa tillämpningar. Dessa kondensatorer har i regel inte sin kapacitans bestämd som en funktion av impedansen vid 1 kHz, utan endast som funktion av upp och urladdning av en (låg) ström. Detta innebär att de fungerar som reservbatteri men i regel inte som filterkomponent.

Till vår mikrofonförstärkare fungerar det ofta alldeles utmärkt att ordna spänningen till fantommatningen med väl filtrerad nätdel, spänningsvariationer kan enkelt regleras med en enkel zenerdiod i mitten på filterkedjan. Förslagsvis löder man in en 48-volts zenerdiod parallellt med C6 i filtret ovan, transformatorn väljes lämpligen så att spänningen efter likriktaren ligger runt 60 - 80 volt. Värdet på serieresistanserna före dioden justeras så att dioden inte går sönder utan lasten (mikrofonen) ansluten. På så sätt kommer resistanserna att fungera både som strömbegränsning och som del i ett filter.

En zenerstabilisering beräknas som, $R_S \min = (U_{in \max} - U_Z) / I_Z \max$, där $I_Z \max = P_{tot} / U_Z$. $R_S \min$ = den lägsta sammanlagda resistansen mellan likriktare och zenerdiod för att dioden skall överleva utan ansluten last (mikrofon).

Exempel: Har vi 75 volt efter likriktaren och zenerdioden är på 48 V/1 W blir $R_S \min = 1.35k\Omega$, $I_Z \max$ är då 20 mA och vi drar normalt endast några få mA till varje mikrofon varför R_S kan ökas till det dubbla eller mer, läge för lite prov med andra ord.

”S”-märkta komponenter

Det är viktigt att veta vad vi monterar för avstörningskomponenter på primärsidan på transformatorn. Vi har där nätspänning 230 VAC, och går något ”fel” så finns alltid risken för personskada. Det gäller att läsa noga på komponenterna så att de tål spänningen från elnätet.

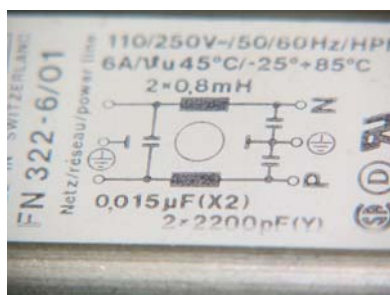
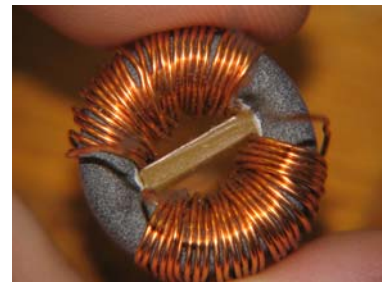
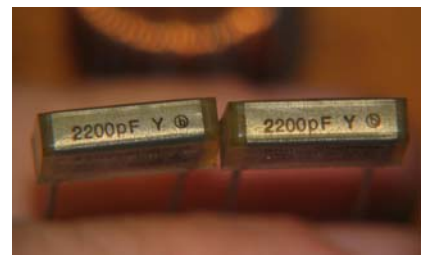
Två exempel på ”klassade” komponenter som klarar att sitta på nätsidan i vår nätdel visas här. Notera de små bokstäverna ”X” och ”Y”, samt ”SH” som betyder ”Self Healing” dvs att kondensatorn självläker vid genomslag i kondensatorlindan utan bestående kortslutning.

Kontrollera därför att de komponenter vi löder in har rätt ”klassning”, dvs ”X”-kondensator för att monteras mellan fas och nolla, och ”Y”-kondensator för fas-nolla mot jord.

Dessa Y-kondensatorer får aldrig ha kortslutning som felsymtom, då får vi kontakt mellan fas och jord, och i värsta fall får vi nätspänning i höljet. X-kondensatorn skall monteras innan ev. strömbrytare, och hindrar därmed störspikar att lämna apparaten då strömbrytaren manövreras.

Det är alltid avkopplande att linda lite spolar, tänk bara på elfaran vid lindning och montering av nätdrosseln och använd glasfiber eller backelit som isolering mot jord samt att hålla lindningarna separerade. Lite smältlim funkar bra att montera mindre drosslar med, annars kan isolerade lödstöd kan vara praktiskt att montera nätkomponenter på.

Undvik att montera på experimentkort, om det inte är den variant som saknar ledningsbanor, alla dessa ledningsbanor har lätt för att få nätspänningen att vara på ställen där den definitivt inte skall vara.



Enklast är oftast att köpa ett färdigt filter, gärna ett som är integrerat med både strömbrytare, säkring och IEC-nätbrunn.

Köper vi ett färdigt filter så får vi alla delar på transformatorns primärsida i ett paket, exemplet här med strömklassning på 6 A är väl knappast representativt för strömförbrukningen på en mikrofonförstärkare, utan här bör vi välja ett filter som är optimerat för lite mer strömsnåla apparater.

Regulatorer och transformatorer i denna artikel är köpta på www.electrokit.se, samt kompletterat med div. delar av eget förråd (junkbox).

copyright©Leif Nilsson