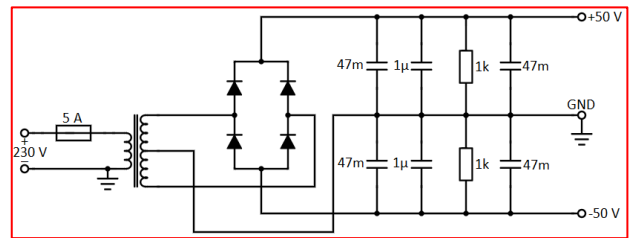


1.8 - Linjära likriktare

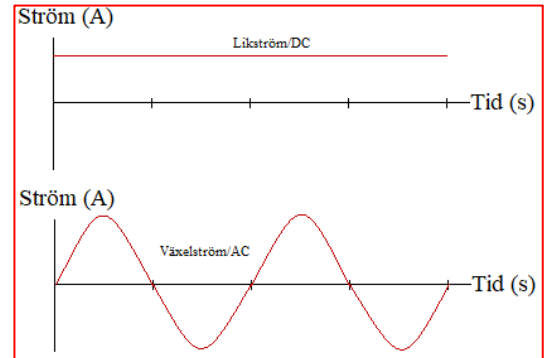
1.8.1 - Likriktarens funktion

- Till vardagen behöver ett stort antal komponenter matas med likström, såsom datorer. Däremot så förekommer det komponenter, som inte tål likström, såsom högtalare; dessa skall istället matas med växelström, såsom ljudsignaler.



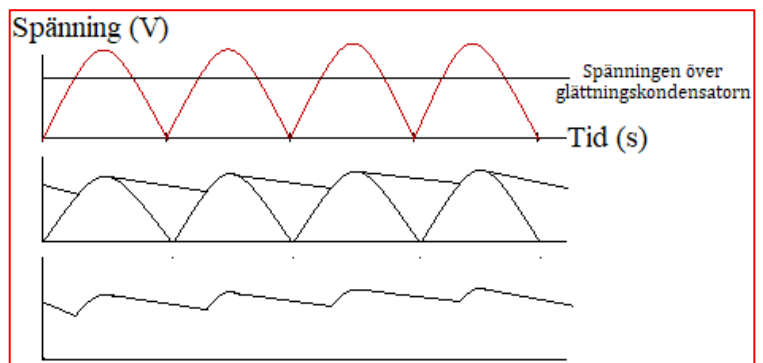
Enkel likriktare för audioapplikationer.

- Spänningen (och strömmen) från våra eluttag är växelström. För de komponenter som måste matas med likström så måste därför denna växelström omvandlas till likström. För detta ändamål används så kallade likriktare.
- I en klassisk likriktare så används kondensatorer för att jämna ut strömmen. Ju större kondensatorer, desto bättre jämnas strömmen ut. Dock återstår alltid lite ojämnheter (ripple), vilket kan elimineras med en spänningsregulator placerad direkt efter kondensatorn, seriellt med strömmen.
- Likriktare används för att likrikta växelströmmar, alltså få strömmen att flöda i endast en riktning. Likriktarbryggan (dioderna) omvandlar växelströmmen till höger till en ojämn likström som får samma form som spänningen i den översta figuren nedan. Resultatet av likriktningen är alltså en mycket ojämn likström, med stora toppar och dalar.



Likström och växelström över tid. Som synes så är likström konstant över tid, förutsatt att likriktningen blev lyckad, medan växelström varierar till storlek och riktning över tid.

- Därefter placeras kondensatorn parallellt med likriktaren. Denna kondensator arbetar som Robin Hood, den tar från de rika och ger till de fattiga, men istället för att ta guld så tar han energi från de rika och lagrar detta. Detta medför att topparna i figuren till höger elimineras.
- Sedan släpper kondensatorn ut den lagrade energin och ger till de fattiga, vilket medför att dalarna till stor del elimineras.
- Hur högt spänningsfallet är över kondensatorn påverkar när den lagrar energi och när den släpper ut det. Eftersom vi har växelström så har vi också växelspänning. När strömmen har blivit likriktad så har också spänningen blivit det. Denna spänning är lika ojämn som den likriktade strömmen och har därför samma form som den översta figuren ovan.



Glättning (utjämning) av växelspänning. Oavsett storlek eller antal kondensatorer som används så kommer alltid små ojämnheter (ripple) återstå, som kan elimineras via en så kallad spänningsregulator.

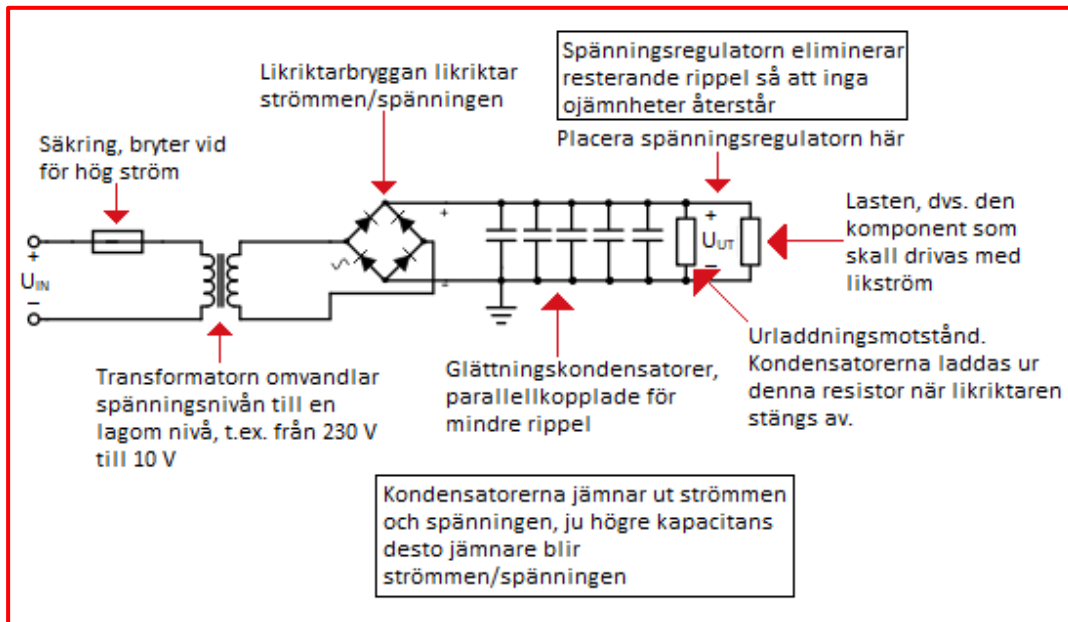
- Ju större kondensator som används, desto mindre blir ojämnheter. Men för att göra den likriktade spänningen (och strömmen) helt jämn så bör en spänningsregulator användas.

Linjära likriktare och SMPS:

- Detta avsnitt behandlar så kallade linjära likriktare, vilket är en klassisk likriktare som fortfarande används i hög utsträckning inom analog elektronik, såsom audioapplikationer, främst på grund av lågt brus samt lågt rippel (våldigt små ojämnheter i den likriktare spänningen/strömmen).
- I en linjär likriktare så omvandlas växelström till likström i följande steg:
 1. Spänningen transformeras ned till önskad spänningsnivå, exempelvis från 230 V till 10 V (effektivvärde).
 2. Växelspänningen likriktas till en mycket ojämn likspänning via en likriktarbrygga bestående utav fyra likriktardioder.
 3. Den ojämna likspänningen jämnas ut genom användningen av en eller flera elektrolytkondensatorer. Denna process kallas glättning och går till så att kondensatorerna lagrar energi från spänningstopparna och släpper ut denna energi när spänningen minskar. Resultatet blir att spänningen (och därmed också strömmen) jämnas ut.
 4. Trots att kondensatorerna har jämnat ut strömmen så återstår alltid små ojämnheter i strömmen, som kallas rippel. Detta rippel kan vid behov elimineras via en så kallad spänningsregulator. I många fall så brukar man dock inte använda en sådan, då en bra spänningsregulator oftast är mer komplex och kostar mer än hela likriktaren. Istället brukar flera mycket stora elektrolytkondensatorer användas för att minska rippet till mycket små nivåer.
- Det finns en annan mycket vanlig likriktare, så kallade SMPS (*Switched Mode Power Supply*), som har en annorlunda konstruktion, där omvandlingen från växelström till likström sker i följande steg:
 1. Växelspänningen likriktas direkt till likspänning med en trefas helvågslikriktare (utan glättningskondensatorer). Detta steg görs för att spänningen sedan skall kunna växelriktas med hög frekvens genom användandet av en så kallad växelriktare.
 2. Likspänningen växelriktas till växelspänning med hög frekvens, vanligtvis mellan 30–40 kHz. Då kan transformatorn och glättningskondensatorn/glättningskondensatorerna göras mindre än om frekvensen vore lägre, såsom 50 Hz.
 3. Spänningen transformeras sedan ned till önskad spänningsnivå, exempelvis från 230 V till 10 V (effektivvärde).
 4. Spänningen likriktas, för att sedan filtreras och glättas. För filtreringen kan ett så kallad lågpass LC-filter användas, som kraftigt dämpar återstående växelström, om sådan finns. Dessutom kan kondensatorer användas för att glätta spänningen. Återstående rippel kan sedan elimineras med en så kallad spänningsregulator vid behov.
- Användning av SMPS medför lägre effektförluster, lägre vikt samt att likriktaren kan göras mindre. Dock så tenderar SMPS att medföra högre brus, vilket är anledningen till att dessa vanligtvis inte används inom audioapplikationer.
- De flesta likriktare idag, bland annat de likriktare ni har i nätaggregaten till era datorer, är SMPS. Vi kommer inte gå igenom SMPS mer i detta avsnitt, utan endast linjära likriktare. För mer information om SMPS, se kapitel 1.10 *Switched Mode Power Supplies*.

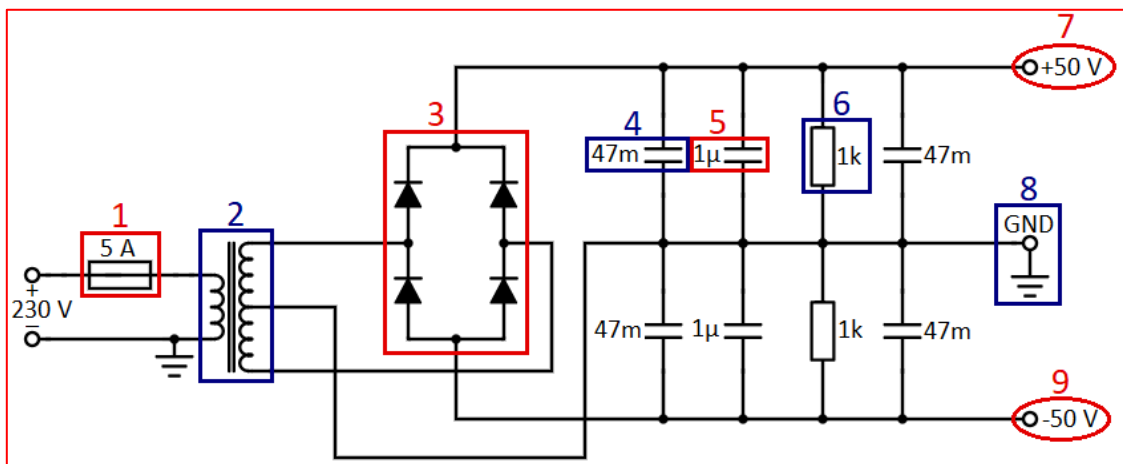
1.8.2 - Helvågslikriktarens uppbyggnad

- Figuren nedan visar en enkel helvågslikriktare, bestående av en säkring, en transformator, en likriktarbrygga, fem parallellkopplade glättningskondensatorer, ett laddningsmotstånd samt en last.
- Likriktarbryggan består av fyra dioder, som används för att likrikta den växelström/växelspänning som kommer ut ur transformatorn till vänster om den, alltså den ser till att strömmen endast har en riktning/spänningen endast har en polaritet.



- Anta att du kopplar in din dator i ett eluttag via ditt nätaggregat. Något förenklat så kan man säga att ditt nätaggregat är uppbyggt enligt figuren ovan. Effektivvärdet U_{RMS} på växelspänningen från enfasuttaget är 230 V men din dator skall matas med högst 12 V och detta skall dessutom vara likström.
- Transformatorn omvandlar spänningsnivån från 230 V till ett mer lämpligt värde för sammanhanget, exempelvis 10 V för din dator. Därefter så likrikts dessa 10 V. Därefter så minskar de så kallade glättningskondensatorerna ojämnheter i strömmen (glättning betyder utjämning). I elektrotekniska sammanhang kallar man dessa ojämnheter för rippel.
- En glättningskondensator är inget annat än en helt vanlig elektrolytisk kondensator som används för glättning, alltså för att minska rippet. Kondensatorstorleken är omvänt proportionell med rippet; ju större kondensator, desto mindre rippel. Som exempel, en glättningskondensator på 200 μF medför halva rippet jämfört med en glättningskondensator på 100 μF . Genom att parallellkoppla flera stycken glättningskondensatorer så kan man få mycket låg rippel; fem stycken parallellkopplade glättningskondensatorer på 100 μF är ekvivalent med en enda glättningskondensator på 500 μF .
- Dock kommer rippet inte helt elimineras, oavsett antalet glättningskondensatorer vi använder; dock kan rippet bli tillräckligt minimerat för de flesta applikationer. Ifall vi skall mata en komponent som är mycket känslig för spänningsrippel, såsom vissa IC-kretsar, så kan vi dock använda en så kallad spänningsregulator, som kan placeras strax efter glättningskondensatorerna, se figuren ovan.
- För de flesta ändamål så räcker det dock enbart med glättningskondensatorer för att få tillräckligt jämn likström. Inom audioapplikationer är det vanligt att strunta i att använda spänningsregulatorer, då dessa inte bidrar till mycket i detta sammanhang, samtidigt som det krävs relativt komplexa spänningsregulatorer med diverse överspänningsskydd samt överströmsskydd på grund av den höga matningsspänningen, som oftast ligger mellan ± 50 V upp till ± 100 V eller högre. Tillverkningskostnaden för en sådan spänningsregulator blir ofta högre än hela förstärkarkretsen samt likriktaren kombinerat. Därför används inga spänningsregulatorer i kommande exempel.

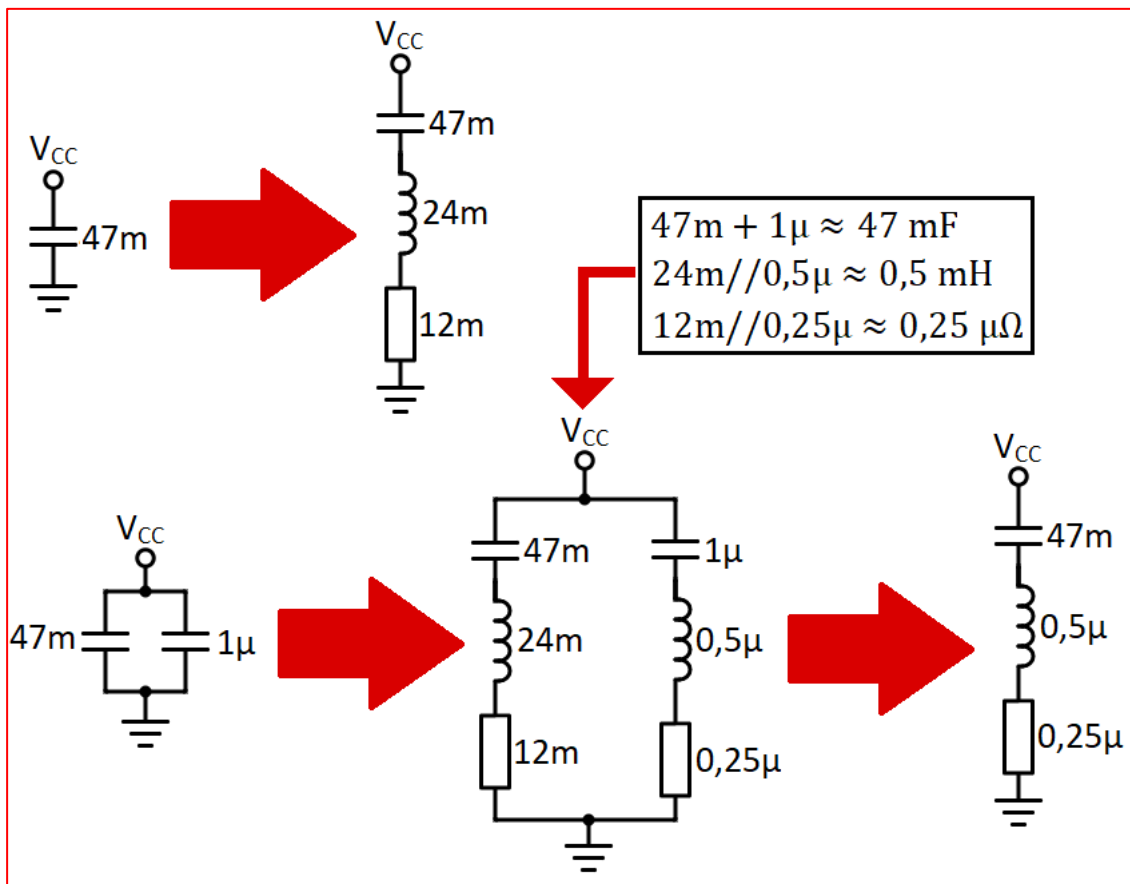
1.8.3 - Enkel likriktare för audioapplikationer



Enkel likriktare till en audioförstärkare, vars matningsspänning är ± 50 V. Ingen spänningsregulator används, då denna skulle bli mer komplicerad än resten av likriktaren, samtidigt som den inte tillför mycket; matningsspänningen blir ändå mycket jämn med väldigt lite rippel och brus, tack vara de stora glättningskondensatorerna.

- I figuren ovan så visas en enkel likriktare för audioapplikationer. Denna likriktare matas från ett eluttag med en växelspanning på 230 V och kan förse en audioförstärkare med en matningsspänning på ± 50 V, alltså ett topp-till-topp-värde V_{p-p} på 100 V.
- Eftersom matningsspänningen är ± 50 V så består likriktarens kondensatordel av två spegelvända delar, se 4–9 ovan. Den övre delen glättar spänningen till + 50 V med minimalt rippel, medan den nedre delen glättar spänningen till -50 V med minimalt rippel.
- Likriktaren ovan innehåller följande komponenter.
 - Säkring:** Bryter strömmen ifall denna blir för hög. Vi använder en trög säkring på 5 A, vilket medför att om strömmen överstiger 5 A så kommer säkringen gå. Eftersom den är trög så tål den dock överströmmar som pågår under mycket kort tid, exempelvis vid start. Annars finns risken att säkringen går varje gång likriktaren sätts på.
 - Transformator:** Omvandlar växelspanningen från ett effektivvärde på 230 V ned till 100 V, vilket motsvarar en spänning på ± 50 V. Denna transformator har tre anslutningar, där den mittersta skall fungera som jordpunkt till hela likriktaren samt audioförstärkaren. De två andra sidorna skall kopplas till var sin sida av likriktarbryggan (diodbryggan), för att spänningen skall likriktas.
 - Likriktarbryggan/diodbryggan:** Likriktar växelspanningen (och växelströmmen) så att denna omvandlas till en likspänning, som dock är mycket ojämn; spänningen innehåller alltså mycket rippel, som vi minskar med glättningskondensatorer.
 - Glättningskondensatorer på 47 mF:** Minskar rippet, alltså jämnar ut spänningen (och strömmen) genom att kondensatorerna lagrar energi från spänningstopparna och släpper ut denna energi när spänningen minskar (spänningsdalarna). Dessa kondensatorer fungerar som Robin Hood; de tar från de rika (topparna) och ger till de fattiga (dalarna), vilket jämnar ut spänningen. Ju högre kapacitans som kondensatorerna har, desto bättre jämnas spänningen ut. Man kan också säga "ju högre kapacitans som kondensatorerna har, desto bättre arbetar Robin Hood".
- Ju fler glättningskondensatorer vi har, desto bättre jämnas också spänningen ut, då detta leder till ökad kapacitans. I denna likriktare så används två glättningskondensatorer på 47 μ F per kondensatordel, plus ytterligare en mindre kondensator, vilket medför en total kapacitans på ca 100 μ F per del. Detta leder till bra glättning (utjämning) av spänningen (och strömmen).

5. **Mindre keramiska kondensatorer på 1 μF :** Används för att förbikoppla elektrolytkondensatorernas interna induktans samt resistans, som annars medför en intern resistans samt förlusteffekter, särskilt vid högre frekvenser.



Genom att parallellkoppla en mindre kondensator med den större elektrolytkondensator så förbikopplas elektrolytkondensatorns höga interna resistans samt induktans, som annars utgör motstånd, som "stjäl" spänning från utsignalen genom att spänningsfallet över den interna resistansen samt induktansen kommer bli relativt stora.

6. **Urladdningsmotstånd på 1 kΩ:** Ser till att om likriktaren stängs av och kondensatorerna är laddade så kommer dessa laddas ur urladdningsmotståndet på några minuter. Annars hade kondensatorerna fortsatt vara laddade. Om en person då hade vidrört likriktaren så hade kondensatorerna laddats ur personen, vilket hade kunnat skada denna. Urladdningsmotståndet håller därmed likriktaren säker.

- Tiden t som det tar för kondensatorerna att urladdas kan beräknas med formeln

$$t = R_D * C_{TOT},$$

där R_D är urladdningsmotståndets resistans och C_{TOT} är den totala kapacitansen. Eftersom likriktaren består av två så kallade rails, en positiv rail samt en negativ rail, som skall vara identiska, så kan vi beräkna på en av dem.

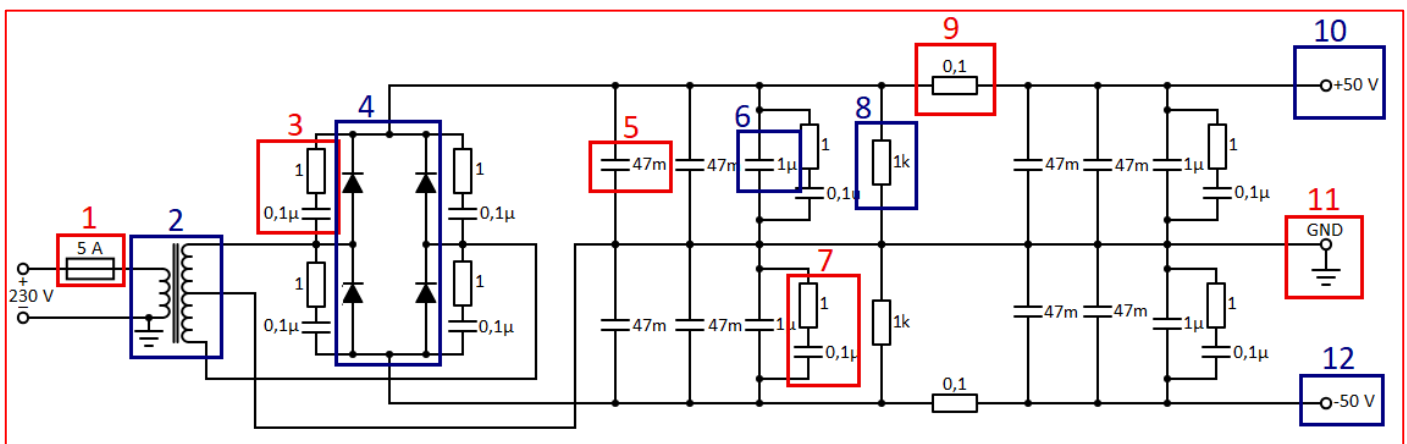
- Anta att vi endast tittar på likriktarens positiva rail; för ett urladdningsmotstånd R_D på 1 kΩ samt en total kapacitans på ungefär $2 * 47 \text{ mF}$, alltså cirka 94 mF, så kan tiden som urladdningen ske beräknas till ca en 90 sekunder:

$$t = R_D * C_{TOT} \approx 1\text{k} * (2 * 47\text{m}) = 94 \text{ s},$$

vilket är ungefär en och en halv minut.

7. **Koppling till positiv matningsspänning V_{CC} (50 V):** Via denna koppling så förser audioförstärkaren med en positiv matningsspänning på 50 V.
8. **Jordpunkt (GND) till audioförstärkaren:** Denna koppling fungerar som audioförstärkarens jordpunkt. Samtliga jordpunkter i audioförstärkaren skall kopplas till denna punkt, antingen direkt eller indirekt (via en annan punkt, som är kopplad till denna jordpunkt).
9. **Koppling till negativ matningsspänning V_{EE} (-50 V):** Via denna koppling så förser audioförstärkaren med en negativ matningsspänning på -50 V.

1.8.4 - Avancerad likriktare till audioapplikationer



Likriktare till en audioförstärkare, vars matningsspänning är ± 50 V. Ingen spänningsregulator används, då denna skulle bli mer komplicerad än resten av likriktaren, samtidigt som den inte tillför mycket; matningsspänningen blir ändå mycket jämn med väldigt lite rippel och brus, tack vara de stora glättningskondensatorerna samt Zobelkretsarna.

- För audioapplikationer, så används oftast mer komplexa likriktare, såsom likriktaren i figuren ovan. Jämfört med det tidigare exemplet så har ett antal Zobelkretsar lagts till, främst för att minska brus samt för att öka likriktarens stabilitet. Dessutom så används fler glättningskondensatorer för att ytterligare minska rippet/ojämheter i spänningen och strömmen.
 - Denna likriktare matas från ett eluttag med en växelspänning på 230 V och kan förse en audioförstärkare med en matningsspänning på ± 50 V, alltså ett topp-till-topp-värde V_{p-p} på 100 V.
 - Eftersom matningsspänningen är ± 50 V så består likriktarens kondensatordel av två spegelvända delar, se 5–11 ovan. Den övre delen glättar spänningen till + 50 V med minimalt rippel, medan den nedre delen glättar spänningen till -50 V med minimalt rippel.
 - Likriktaren ovan innehåller följande komponenter.
1. **Säkring:** Bryter strömmen ifall denna blir för hög. Vi använder en trög säkring på 5 A, vilket medför att om strömmen överstiger 5 A så kommer säkringen gå. Eftersom den är trög så tål den dock överströmmar som pågår under mycket kort tid, exempelvis vid start. Annars finns risken att säkringen går varje gång likriktaren sätts på.
 2. **Transformator:** Omvandlar växelspänningen från ett effektivvärde på 230 V ned till 100 V, vilket motsvarar en spänning på ± 50 V. Denna transformator har tre anslutningar, där den mittersta skall fungera som jordpunkt till hela likriktaren samt audioförstärkaren. De två andra sidorna skall kopplas till var sin sida av likriktarbryggan (diodbryggan), för att spänningen skall likriktas.

3. **Zobelkretsar runt dioderna:** Dämpar brus vid tändning och släckning av dioderna.
4. **Likriktarbrygga/diodbryggan:** Likriktar växelspänningen (och växelströmmen) så att denna omvandlas till en likspänning, som dock är mycket ojämn; spänningen innehåller alltså mycket rippel, som vi minskar med glättningskondensatorer.
5. **Glättningskondensatorer på 47 mF:** Minskar rippet, alltså jämnar ut spänningen (och strömmen) genom att kondensatorerna lagrar energi från spänningstopparna och släpper ut denna energi när spänningen minskar (spänningsdalarna). Dessa kondensatorer fungerar som Robin Hood; de tar från de rika (topparna) och ger till de fattiga (dalarna), vilket jämnar ut spänningen.
 - Ju högre total kapacitans per rail, desto bättre jämnas spänningen ut. Man kan också säga "ju högre kapacitans som kondensatorerna har, desto bättre arbetar Robin Hood". Ju fler glättningskondensatorer vi har, desto bättre jämnas också spänningen ut, då detta leder till ökad kapacitans. I denna likriktare så används fyra glättningskondensatorer på 47 μ F per kondensatordel, plus ytterligare mindre kondensatorer, vilket medför en total kapacitans på ca 200 μ F per del. Detta leder till mycket bra glättning (utjämning) av spänningen (och strömmen).
6. **Mindre keramiska kondensatorer på 1 μ F:** Används för att förbikoppla elektrolytkondensatorernas interna induktans samt resistans, som annars medför en intern resistans samt förlusteffekter, särskilt vid högre frekvenser.
7. **Zobelkretsar i kondensatordelarna:** Håller likriktaren stabil vid eventuella höga frekvenser, genom att se till att vägen mellan matningsspänningen (50 V) och jord (GND) alltid hålls resistiv, även om högfrekvent spänning på något sätt skulle passera likriktarbryggan.
8. **Urladdningsmotstånd på 1 k Ω :** Ser till att om likriktaren stängs av och kondensatorerna är laddade så kommer dessa laddas ur urladdningsmotståndet inom ett par minuter. Utan urladdningsmotståndet så hade kondensatorerna fortsatt vara laddade efter avstängning. Om en person då hade vidrört likriktaren så hade kondensatorerna laddats ur personen, vilket hade kunnat skada denna. Urladdningsmotståndet håller därmed likriktaren säker.
 - Precis som vi såg i förra exemplet så kan urladdningstiden t beräknas med formeln

$$t = R_D * C_{TOT},$$

där R_D är urladdningsmotståndets resistans och C_{TOT} är den totala kapacitansen. Eftersom likriktaren består av en positiv och en negativ rail som skall dimensioneras med samma komponenter sett till storlek och antal så kan vi beräkna på en av dem.

- Anta att vi endast tittar på likriktarens positiva rail; för ett urladdningsmotstånd R_D på 1 k Ω samt en total kapacitans på ungefär 4 * 47 mF, alltså cirka 188 mF, så kan tiden som urladdningen ske beräknas till ca tre minuter:

$$t = R_D * C_{TOT} \approx 1k * (4 * 47m) = 188 s$$

- Eftersom 60 sekunder passerar under en minut så laddas kondensatorerna ut på ungefär tre minuter:

$$t \approx 3 min$$

9. **Ett litet motstånd mellan de stora glättningskondensatorerna:** Bildar en Zobelkrets med dessa kondensatorer, som minskar rippel, distorsion och brus i utspänningen. Denna resistor ligger vanligtvis mellan 0,1–2,2 Ω . För bäst resultat kan olika resistorvärden simuleras, där det som ger lägst distorsion användas.
10. **Koppling till positiv matningsspänning V_{CC} (50 V):** Via denna koppling så förser audioförstärkaren med en positiv matningsspänning på 50 V.
11. **Jordpunkt (GND) till audioförstärkaren:** Denna koppling fungerar som audioförstärkarens jordpunkt. Samtliga jordpunkter i audioförstärkaren skall kopplas till denna punkt, antingen direkt eller indirekt (via en annan punkt, som är kopplad till denna jordpunkt).
12. **Koppling till negativ matningsspänning V_{EE} (-50 V):** Via denna koppling så förser audioförstärkaren med en negativ matningsspänning på -50 V.