

EFFEKTFÖRSTÄRKARE

UPPFINNINGSSOMRÅDET

- 5 Effektförstärkare för förstärkning av en elektrisk insignal vid ett frekvensarbetsområde och åstadkommande av en utsignal, innefattande omkopplingsorgan för alstring av en fyrkantsignal genom att omväxlande koppla fyrkantsignalen till en första matningsspänning och en andra matningsspänning, filterorgan för alstring av en effektutsignal genom lågpasstrerering av
- 10 fyrkantsignalen, insignalorgan för mottagning av den elektriska signalen och drivning av omkopplingsorganet och en intern återkopplingskrets, som leder utsignalen till en ingång hos omkopplingsorganet.

TEKNIKENS STÅNDPUNKT

- 15 Omkopplande effektförstärkare, som också benämns pulsmoduleringsförstärkare, pulsbreddsmodulerande (PWM) förstärkare eller klass D-förstärkare är vanliga i tillämpningar där effektförluster är en viktig faktor. Klass D-förstärkare är viktiga för att minska effektförbrukningen och minska
- 20 storleken/vikten och därmed användningen av råmaterial.

- I sådana förstärkare finns ett ingångssteg för mottagning av en elektrisk insignal, som ska förstärkas, ett modulerande/omkopplande steg, eller effektsteg, och ett filter. Omkopplingssteget alstrar en fyrkantsignal, eller ett pulståg, som har en frekvens som är mycket högre än den högsta frekvensen i frekvensarbetsområdet för den elektriska signal som ska förstärkas.
- 25 Pulsbreddsförhållandet för fyrkantsignalen moduleras så att medelvärdet för fyrkantsignalen är proportionell mot insignalen. Filtret filtrerar bort fyrkantsignalen till en effektutsignal.

- En annan definition på klass D-förstärkare är att det effektsteg som
- 30 förser lasten med effekt drivs i ett till/från-steg, i vilket spänningsmedelvärdet för fyrkantsignalen moduleras för att motsvara ett inställningsvärde. De enda förluster som uppkommer är låga ledningsförluster under "till-läget" och omkopplingsförluster varje gång utgångssteget byter tillstånd.

Omkopplingen mellan till och från görs vid en frekvens som vanligtvis är omkring 400kHz eller högre, vilket ger tillräckligt hög upplösning i audio-bandet. Vanligtvis innefattar en klass D-förstärkare ett andra ordningens lågpassfilter med ett förhållandevis högt Q-värde för demodulering av PWM-pulserna. Detta filter skiftar fasen asymptotiskt mot -180° och ju högre Q-värdet är desto tidigare når den -180° . När filtret belastas, minskar Q-värdet.

Själva pulsbreddsmoduleringen kan åstadkommas på olika sätt. Det mest uppenbara sättet är att använda en referenssignal, till exempel en triangelvågssignal och sedan jämföra insignalen eller inställningsvärdet med denna referenssignal. Varje gång dessa signaler skär varandra byter utgångssteget tillstånd. En nackdel med denna referenssignalteknik är att medelvärdet hos pulståget motsvarar inställningsvärdet endast så länge som matningsspänningarna är konstanta och tillståndsbytet är oändligt snabbt. Därtill måste naturligtvis triangelvågen vara ideal.

Referenssignaltekniken saknar helt och hållet återkoppling, vilket medför avsaknad av styrning av demoduleringsfiltret. Det finns i själva verket två signalvägar, en från ingången till utgången och en från matningen till utgången. Kanalseparationen och matningsspänningssundertryckningen blir mycket dålig. En enskild fördel är att omkopplingsfrekvensen är konstant. Framåtkopplad matning kan användas för att minska beroendet av matningsspänningen.

Användning av en digital anordning som till exempel en DSP för beräkning av pulsbredden i stället för att jämföra inställningsvärdet med en triangelvåg ger i grunden samma resultat. Det finns emellertid flera möjligheter att kompensera för ickeideala särdrag hos komponenter. En DSP-lösning är också mer komplicerad och dyrare.

Ett mycket effektivt sätt att åstadkomma pulsbreddsmodulering är genom självsvängning. En jämförare används för att jämföra medelvärdet hos pulståget med inställningsvärdet och om felet är negativt kopplas den positiva omkopplaren in och vice versa om det är positivt. Arbetsfrekvensen ligger nära den frekvens där återkopplingen har -180° fasvridning. Vissa lösningar använder demoduleringsfiltret för att åstadkomma medelvärdesbild-

ningen och detta ger förstärkaren möjlighet justera fel som uppkommer i och efter demoduleringsfiltret.

Utan ytterligare kretsar skulle omkopplingsfrekvensen vara lika med filtrets resonansfrekvens, vilken vanligen är omkring 50kHz och detta är inte acceptabelt. En nolla och nollundertrycksresistor förs in i avkänningskretsen för att pressa upp frekvensen ungefär en dekad. Denna nolla ökar modulationssignalens amplitud och minskar slingförstärkningen och ökar därmed olinjäriteterna. Resultatet av denna självsvängningstopologi med efterfilter är därför att den linjära distorsionen (den distorsion som inte tillför något nytt frekvensinnehåll som amplitud och fas) är mycket låg för att vara en klass D-förstärkare, men den icke-linjära distorsionen är sämre. En tidig beskrivning av självsvängande klass D förstärkare gjordes av Clayton Sturgeon i Texas, som lämnade in en patentansökan 1976 med numret US 4,041,411.

Ett senare dokument med känd teknik är WO03/090343, som visar och beskriver en effektförstärkare för förstärkning av en elektrisk signal i ett frekvensarbetsområde, innefattande omkopplingsorgan för alstring av en fyrkantsignal genom att omväxlande koppla fyrkantsignalen till en första matningsspänning och en andra matningsspänning, filterorgan för alstring av en effektutsignal genom lågpasfiltrering av fyrkantsignalen, insignalorgan för mottagning av den elektriska signalen och drivning av omkopplingsorganet och en styrkrets förbunden med effektsignalutgången och insignalorganet för styrning av effektförstärkaren.

Ytterligare en möjlighet är att lägga till en andra ordningens aktiv integrator som demodulerar pulståget och ger en mycket hög slingförstärkning vid låga frekvenser. Omkopplingsfrekvensen är därmed helt styrd av denna integrator och inte alls av utgångsfiltrets Q-värde. Funktionen hos denna självsvängningstopologi med förfilter är därför mycket robust och enkel, och den ger mycket låg icke-linjär distorsion, särskilt vid låga frekvenser.

I en självsvängningstopologi med förfilter blir emellertid den linjära distorsionen hög, dvs. frekvenssvaret och fasen är helt lastberoende och en önskad svarskurva kan endast nås med specifik lastimpedans. Omkopplingsfrekvensen hos alla självsvängningstopologier varierar med moduleringsdju-

pet (pulsbredden). Detta är fördelaktigt beträffande effektiviteten, eftersom omkopplingsförlusterna blir lägre när ledningsförlusterna ökar, men om ytterligare en slinga läggs till för att öka slingförstärkningen finns en risk att denna slinga fångar upp omkopplingsfrekvensen, varigenom förstärkaren skulle
 5 hamna i ett destruktivt undertonssvängningsläge.

Det finns ett behov av att öka slingförstärkningen för att minska den icke-linjära och den linjära distorsionen hos självsvängande klass D-förstärkare. Vanligtvis görs detta genom att inkludera en integrator som integrerar skillnaden mellan utsignalen och insignalen, och därmed skapar en
 10 felsignal, för att ytterligare öka slingförstärkningen i audiobandet. Här upp-
 kommer åtminstone ett problem. Vid start, innan klass D-steget är i funktion, eller vid klippning av utsignalen, kommer integratorn att matas med en stor
 felsignal, vilken kommer att integreras tills integratorn blir mättad, varefter
 felet kommer att fortsätta ladda en integrerande kondensator. Detta medför
 15 att integratorn hänger sig.

Det finns följaktligen ett behov av att undanröja detta hängningsbete-
 ende för att kunna använda en integrator i kombination med ett klass D-steg.

UPPFINNINGEN I SAMMANFATTNING

20 I enlighet med uppfinningen undanröjs nackdelar och problem hos för-
 stärkare i den kända tekniken genom åstadkommande av en självsvängande
 klass D-förstärkare med ett effektsteg med en lokal återkopplingsslinga som
 ger lokal förstärkning, och genom åstadkommande av en yttre återkopplings-
 25 slinga som ger en yttre förstärkning, varvid den lokala förstärkningen är vä-
 sentligen lika med den yttre förstärkningen. Genom att bibehålla den lokala
 förstärkningen lika med eller väsentligen lika med den yttre förstärkningen
 kommer resultatet att bli att utsignalen från integratorn har samma amplitud
 som insignalen till integratorn plus en felsignal.

30 Vidare har åstadkommits en begränsningskrets för mätning av skillna-
 den mellan insignal till och utsignal från integratorn, och om denna skillnad
 överstiger ett förutbestämt tröskelvärde aktiveras begränsningskretsen för att

kraftigt minska integratorns förstärkning och slutligen sätta integratorns förstärkning till nära ett eller ett. Detta innebär att när klass D-steget inte längre kan följa insignalen, som under start och vid klippning, kommer integratorn endast att ha förstärkningen ett.

5

KORT BESKRIVNING AV RITNINGARNA

För att tydliggöra hur det som anges ovan och andra fördelar och syften med uppfinningen uppnås kommer en mera specifik beskrivning av den ovan angivna uppfinningen att framställas genom hänvisning till vissa utföranden av den, vilka framgår av bifogade ritningar.

Det bör noteras att dessa ritningar endast visar typiska utföranden av uppfinningen och därför inte ska betraktas som begränsande för dess omfattning. Uppfinningen beskrivs och förklaras med ytterligare specificering och detaljer med hänvisning till bifogade ritningar, på vilka:

- Fig. 1 är ett översiktligt blockschema över en tidigare känd klass D-förstärkare,
- Fig. 2 är ett översiktligt blockschema över ett grundläggande utförande av en förstärkare i enlighet med uppfinningen,
- 20 Fig. 3 är ett grundläggande kretsschema över ett utförande av en i ett utförande av uppfinningen ingående begränsningskrets,
- Fig. 4 är ett översiktligt kretsschema över ett utförande av en förstärkare i enlighet med uppfinningen,
- Fig. 5 är ett mera detaljerat blockschema över utförandet i Fig. 2,
- 25 Fig. 6 är ett blockschema över ett inverterande utförande av en förstärkare i enlighet med uppfinningen,
- Fig. 7 är ett översiktligt kretsschema över ett inverterande utförande av en förstärkare i enlighet med uppfinningen och
- Fig. 8 är ett översiktligt kretsschema över ett alternativt utförande av en förstärkare i enlighet med uppfinningen.
- 30

UPPFINNINGEN

I den tidigare kända förstärkare som visas i Fig. 1 mottar en icke-inverterande ingång hos en integratorkrets 10 en elektrisk insignal. En utgång hos integratorkretsen 10 är förbunden med ett omkopplingsorgan 12. En effektutgång från omkopplingsorganet 10 är förbunden med ett lågpassfilter, innefattande en induktans 14 och en kondensator 16. Från induktansen 14 är en lokal återkopplingsslinga 18 förbunden med en inverterande ingång hos omkopplingsorganet 13. En icke-inverterande ingång hos omkopplingsorganet 13 är förbunden med en utgång hos integratorkretsen 10. En yttre återkopplingsslinga 20 förbinder induktansen 14 med en inverterande andra ingång hos integratorkretsen 10. Under förhållanden med klippning kommer integratorn att hänga sig, vilket leder till en hög andel hörbara artefakter. En möjlig förbättring vore att hålla matningsspänningen vid en lägre nivå för att begränsa hur mycket integratorn hänger sig, men detta löser inte problemen under start eller vid strömbegränsningssituationer.

I det utförande av en förstärkare i enlighet med uppfinningen som visas i Fig. 2 och Fig. 5 är i stället en begränsningskrets 22 inkopplad för att mäta skillnaden mellan utsignalen från integratorkretsen och den elektriska insignalen. I det i Fig. 2 visade utförandet är en icke-inverterande ingång hos begränsningskretsen förbunden med utgången hos integratorkretsen, och en inverterande ingång hos begränsningskretsen är ansluten för mottagning av den elektriska insignalen. En utgång hos begränsningskretsen är förbunden med den inverterande andra ingången hos integratorkretsen.

Den lokala återkopplingsslingan resulterar i en lokal förstärkning på $1/K+1$ och integratorkretsen 10 försöker också upprätthålla en yttre förstärkning på $1/K+1$. Härigenom får utsignalen från integratorn samma amplitud som insignalen till integratorn plus en felsignal. Begränsningskretsen mäter skillnaden mellan ingången och utgången hos integratorn och om denna skillnad överstiger ett förutbestämt tröskelvärde aktiveras begränsningskretsen för att ställa in integratorns förstärkning till nära ett. Detta innebär att när klass D-steget inte kan följa insignalen, till exempel vid start och när klippning uppstår, har integratorn endast förstärkningen ett.

I det utförande av en begränsningskrets som visas i Fig. 3 bestämmer och kan en första resistor R1 och en andra resistor R2 användas för att anpassa storleken på den skillnad som accepteras mellan integratorkretsens 10 ingång och utgång. En första transistor Q1 börjar leda och minskar utsignalen, när bas-emitterspänningen är ungefär 600 mV. Genom att välja R1
5 och R2 med resistansen 1 kohm kommer den högsta tillåtna felspänningen att vara 1,2V.

En simuleringsmodell av ett självsvängande klass D-steg med efterfilter och med en integrator på ingången för att öka slingförstärkningen i
10 audiobandet visas i Fig. 4. Nedan beskrivs särskilt endast de komponenter som har tekniskt väsentliga egenskaper.

En första omkopplare S1 kopplar på vid 0,001V och kopplar ur vid 0V. En andra omkopplare S2 har omvända på- och urkopplingsvärden. Omkopplarna S1 och S2 är förbundna med en första spänningskälla 24 respektive en
15 andra spänningskälla 26. Spänningskällorna 24 och 26 tillhandahåller erforderlig eller tillgänglig spänning, som i det visade utförandet är 60V. S1 och S2 bildar tillsammans omkopplingsorganet 12 baserat på en komparator och ett effektsteg. En resistor R44 och en kondensator C19 motsvarar ungefär gångtiden i komparator-omkopplingssteget (som i verkligheten finns där).
20 Den lokala förstärkningen i klass D-steget bestäms av resistor R10 och resistor R8 och är låst till att vara lika med den yttre förstärkningen, som bestäms av resistor R43 och resistor R42. Utsignalen från omkopplingsorganet 12 leds genom induktansen 14 och upptas i en last RL.

Förstärkarkretsen AR1 bildar integratorkretsen 10, hos vilken en kondensator C18 fungerar som en pol och en resistor R41 begränsar DC-
25 förstärkningen. I det visade utförandet har AR1 +/-15V som matningsspänning. En kondensator C14 och en resistor R35 pressar bort omkopplingsfrekvensen från filterresonansfrekvensen och upp till en önskad mycket högre frekvens.

Begränsningskretsen 22 bildas av en resistor R45, en resistor R46, en transistor Q1, en transistor Q2, en diod D3 och en diod D4. En spänningskälla UIN representerar en elektrisk insignal. Hela utsignalen från integra-
30

torkretsen 10 tas emot av begränsningskretsen, vilket resulterar i en erforderlig förstärkning på 1,0 hos integratorkretsen 10. Om en del av utsignalen från integratorkretsen 10 leds begränsningskretsen, kommer den erforderliga förstärkningen hos integratorkretsen att öka i motsvarande grad (se Fig. 8 och beskrivningen nedan). Genom att sätta R45 till 1kohm och R46 till 10kohm kommer det tillåtna felet att minska till omkring 600mV. Resistorer R42 och R43 bildar den yttre slingan 20.

I det i Fig. 5 visade utförandet innefattar den lokala återkopplingsslingan 18 en resistor R3 och en resistor R4. Den resulterande förstärkningen är $R3/R4+1$. På motsvarande sätt innefattar den yttre återkopplingsslingan 20 en resistor R5 och en resistor R6, vilket medför att den yttre förstärkningen blir $R6/R5+1$.

Det alternativa utförande som visas i Fig. 6 har en inverterande integrator 10' och ett alternativt utförande av en begränsningskrets 22' (beskrivs ytterligare nedan med hänvisning till Fig. 7). En lokal återkopplingsslinga 18' används i en icke-inverterande förstärknings- och omkopplingsorgan 12 och innefattar en resistor R9 och en resistor R10. Den resulterande förstärkningen blir $R9/R10+1$. En yttre återkopplingsslinga 20' innefattar en resistor R7 och en resistor R8, där R8 utgör en förbindelse mellan utgången OUT och en ingång hos den inverterande integratorn 10'. Den resulterande förstärkningen blir $R8/R7$.

Det i Fig. 7 visade översiktliga kretsschemat motsvarar blockschemat i Fig. 6. Omkopplingsorganet 12 bildar tillsammans med resistorerna R9 och R10 en lokal icke-inverterande förstärkare. En inverterande integrator utgörs av en förstärkningskrets 28, en resistor R11 och en kondensator C11. Förstärkningskretsen 28 bildar tillsammans med resistorerna R7 och R8 en inverterande integrator 10' med en yttre återkopplingsslinga. Förstärkningskretsen 28 har en utgång 29 som är förbunden med omkopplingsorganet 12.

Det i Fig. 7 visade alternativa utförandet av begränsningskretsen 22' baseras på en balanspunkt mellan en resistor R14 och en resistor R15. Så länge balanspunkten är kvar på ett nollvärde, är begränsningskretsen 22' inte aktiv. Om utgången 29 hos förstärkningskretsen 28 emellertid skulle

börja driva som ett resultat av klippning, kommer balanspunkten att driva bort från nollvärdet mot ett felvärde. När felvärdet når ett förutbestämt värde, i det visade utförandet omkring 600mV, aktiveras antingen en transistor Q5 eller en transistor Q7 och ström leds antingen genom en resistor R23 eller en resistor R24. Resultatet blir också att antingen transistor Q6 eller transistor Q8 kommer att leda och därigenom minska felvärdet och förhindra mättning.

I det i Fig. 7 visade utförandet är en integratorförstärkning hos integratorkretsen 10' lika med $R15/R14$. Integratorförstärkningen multiplicerad med förstärkningen hos den lokala återkopplingsslingan 18' ska vara lika med den yttre förstärkningsslinga som utgörs av en resistor R7 och en resistor R8. Omkopplingsorganet 12 kan naturligtvis implementeras på det sätt som framgår av Fig. 4 respektive Fig. 8 (nedan).

I det i Fig. 8 visade utförandet är begränsningskretsen 22 förbunden för att jämföra en insignal UIN med en del av utsignalen från integratorkretsen 10. Delen bestäms av en resistor R25 och en resistor R26. Om resistorn R25 är lika med resistorn R26, är delen 1/2. I detta fall har den lokala återkopplingsslingan 18 en förstärkning på $R8+R10/R8$, som multiplicerat med en integratorförstärkning måste vara lika med, eller väsentligen lika med, den yttre förstärkning som bestäms av resistor R42 och resistor R43. Genom att välja resistorn R42 och resistorn R43 så att förstärkningen blir 9,0 och välja resistor R10 och resistor R8 så att förstärkningen blir 4,5, kommer integratorns förstärkning att bli 2,0.

I enlighet med uppfinningen har åstadkommit en klass D-förstärkare med förstärkningen $1/K+1$ och en framtill anordnad integrerande felförstärkare, som arbetar för att åstadkomma en yttre förstärkning på $1/K+1$ och som är försedd med en begränsningskrets som jämför insignalen med utsignalen från felförstärkaren och genom att verka på den negativa ingången hos felförstärkaren begränsar felet till önskad nivå.

Det torde förstås att även om beskrivande utföranden av uppfinningen särskilt har medtagits är olika modifieringar uppenbara för en fackman, utan att skyddsomfånget och uppfinningstanken lämnas. Följaktligen är inte avsikten att skyddsomfånget för efterföljande patentkrav ska vara begränsat till

den här förekommande beskrivningen, utan patentkraven ska tolkas så att de omfattar även sådana ekvivalenta lösningar som är uppenbara för en fackman inom det område som uppfinningen hänför sig till.