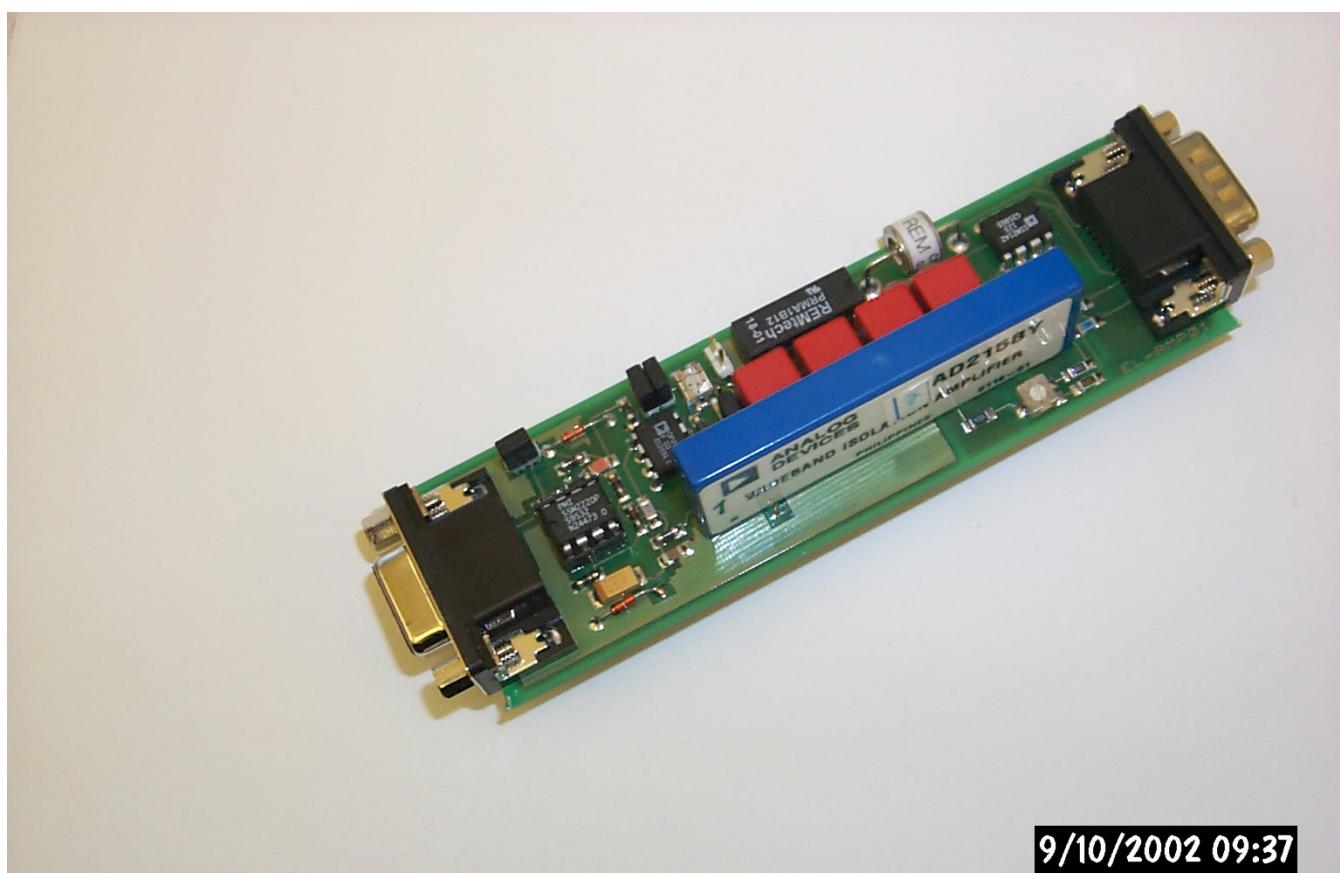


HÅKAN LINDH OCH HANS GÖRAN NYGREN

GALVANISKT ISOLERAD FÖRSTÄRKARE EL-AMP01.



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSINSTITUT

Systemteknik

172 90 Stockholm

FOI-R-1303-SE

Juli 2004

ISSN 1650-1942

Teknisk rapport

HÅKAN LINDH OCH HANS GÖRAN NYGREN

GALVANISKT ISOLERAD FÖRSTÄRKARE EL-AMP01.

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Systemteknik 172 90 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R-1303-SE	Klassificering Teknisk rapport
	Forskningsområde 4. Spaning och ledning	
	Månad, år Juli 2004	Projektnummer E 6946
	Verksamhetsgren 5. Uppdragsfinansierad verksamhet.	
	Delområde 43 Undervattenssensorer	
Författare/redaktör HÅKAN LINDH OCH HANS GÖRAN NYGREN	Projektledare Peter Krylstedt	
	Godkänd av Monica Dahlgren	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Niels Jacobsen	
Rapportens titel GALVANISKT ISOLERAD FÖRSTÄRKARE EL-AMP01.		
Sammanfattning (högst 200 ord) En lågbrusig galvaniskt isolerad förstärkare för användning tillsammans med elektroder i havsvatten har nyutvecklats. Syftet har varit att ersätta en äldre förstärkare (PY 355) med en nyare modell (i) som är mindre och mer flexibel vid användning i systemen, (ii) har större bandbredd, (iii) är minst lika lågbrusig samt (iv) har möjligheten att kunna överföra den förstärkta signalen över långa kablar. Förstärkaren har mycket lågt egengenererat brus ($1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}} > 1\text{Hz}$) och är lämplig för anslutning till lågresistiva givare av storleksordning 10-50 Ohm. Frekvensområdet är 5 mHz till 14 kHz med en förstärkning av 10 000 gånger. En isolationsförstärkare ingår i kopplingen och medför fullständig galvanisk isolation mellan lågbrusförstärkaren och utgångssteget. Detta innebär även att ingen elektrisk (eller galvanisk) kontakt kan ske mellan olika sensorer eller andra förstärkare. Förstärkarkopplingen innehåller även ett differentiellt utgångssteg för balanserad överföring av den förstärkta signalen över elektriska ledningar. Vid prov användes en 2 700 meter lång kabel varvid den överförda signalens övre gränshfrekvens uppmättes till 11 kHz.		
Nyckelord ULF, ELF, AC/DC-FÖRSTÄRKARE, LÅGT EGENBRUS, HÖG FÖRSTÄRKNING, GALVANISKT ISOLERAD, DIFFERENTIELL UTGÅNG.		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 28 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-172 90 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R-1303-SE	Report type Technical report
	Programme Areas 4. C4ISR	
	Month year July 2004	Project no. E 6946
	General Research Areas 5. Commissioned Research	
	Subcategories 43 Underwater Sensors	
Author/s (editor/s) HÅKAN LINDH AND HANS GÖRAN NYGREN	Project manager Peter Krylstedt	
	Approved by Monica Dahlgren	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Niels Jacobsen	
Report title (In translation) GALVANIC ISOLATED AMPLIFIER EL-AMP01.		
Abstract (not more than 200 words) A low-noise, galvanic isolated amplifier to be used in conjunction with electrode systems located in sea water has been developed. The objective was to replace an older amplifier (PY 355) with a new one, which (i) is smaller in size and thereby more useful for various applications, (ii) has a broader bandwidth, (iii) at least has a noise level that does not exceed the one of the old amplifier, and (iv) is able to drive the amplified signals through long cables. The amplifier has a very low level of self generated noise ($1\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}} > 1\text{Hz}$) and is suited for low-resistance sensors in the order of 10-50 Ohms. The frequency range is 5 mHz to 14 kHz, with an amplification of 10000 times. An isolation amplifier is included in the unit and provides complete galvanic isolation between the low noise amplifier and the output stage. This means that there is no electrical (or galvanic) contact between sensors or to other amplifiers. The amplifier is equipped with a differential output for balanced transmission of amplified signals on electrical wires. The transmission has been tested on a 2700 m long cable and the upper cut-off frequency for this cable used in conjunction with the amplifier was found to be 11 kHz.		
Keywords ULF, ELF, AC/DC-AMPLIFIER, LOW SOURCE RESISTANCE, HIGH AMPLIFICATION, GALVANIC ISOLATED, DIFFERENTIAL OUTPUT		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 28 p.	
	Price acc. to pricelist	

	INNEHÅLLSFÖRTECKNING	SIDA
1.	Inledning	5
2.	Beskrivning av förstärkaren.	6
3.	Förstärkarens uppbyggnad.	7
3.1	Ingångssteg.	7
3.2	HP-filter 5 mHz.	8
3.3	Isolationsförstärkare.	8
3.4	Utgångssteg.	8
4	Förstärkarens interna funktionsomkopplingar.	9
5	Signalöverföring och signalmottagning.	10
5.1	Sjökabel.	10
5.2	Överföringsprincip.	10
5.3	Mottagarlåda.	10
5.4	Strömförsörjning av systemet.	10
6	Slutord.	11
7	Referenser.	11
8	Figurer och tabeller.	12
9	Intrimningsanvisningar.	25,26
10	Bilaga 1. Brus och strömreduceringsförsök.	28

1. INLEDNING.

Ett fartyg alstrar lågfrekventa elektriska fält i havsvatten främst beroende av galvaniska strömmar mellan olika delar på fartyget. Dessa strömmar ger upphov till ett svagt strömfält och därmed även ett elektriskt fält kring fartyget vilket kan uppmätas av ett elektrodpar placerat i havsvattnet vilka är anslutna till en lämplig förstärkare.

Sedan 1994 har den tidigare konstruerade och i rapport redovisade galvaniskt isolerade förstärkaren PY 355 tillverkats i ca 150 exemplar och används av FOA/FOI, FMV och FFI, Norge. (Nygren, 1994). Under denna tid har FOI även utvecklat fyra olika elektrod-förstärkarkort för speciella tillämpningar och med något ändrade eller kompletterande elektriska funktionsegenskaper för varje kort. Förstärkarens egenbrusnivå har kunnat sänkas samt frekvensområdet modifierats till en undre gränsfrekvens av 5 mHz och den övre gränsen vid vissa tillfällen ändrats från 1 till 10 kHz. Förstärkaren har huvudsakligen använts landbaserad med kabelanslutning till olika typer av elektrodsensorer.

År 1998 ingicks ett avtal mellan FOA och POLYAMP AB för licenstillverkning av elektrodförstärkaren PY355 som där produktifierats till förstärkare typ PA 3002.

I ett samarbete mellan FOA/FOI och DERA, England utnyttjas tre elektrodförstärkare i varje system. Vid detta tillfälle måste förstärkarna modifieras för att kunna placeras nära sensorer och datautrustning vilka var placerade i vattnet inneslutna i Delrin-behållare. De inköpta förstärkarna modifierades varvid vissa detaljer på förstärkarkortet demonterats eller ersatts. Vid ett flertal tillfällen har detta förfarande upprepats vid olika projekt.

På grund av ovanstående framlades önskemål om nykonstruktion av en elektrodförstärkare även med hänsyn till kommande tillämpningar.

År 2002 byggdes den första serien av den nyutvecklade förstärkaren med arbetsnamn EL-AMP01 i åtta exemplar. Sex av förstärkarna monterades i par om tre i täta aluminiumlådor och placerades inuti två separata slutna Delrinrör. Brusmätningarna på förstärkarna uppvisade minst lika bra värden som de bästa av tidigare elektrodförstärkare typ PY 355. Vid mätningarna överfördes signalerna via två 2700 meter långa sjökablar. Bandbredden för den överförda analoga signalen är 5 mHz till 11 kHz per kanal (−3 dB). Förstärkarens egenbrusnivå med $R_s(\text{source})=10\text{ ohm}$ på ingången uppmättes till $0.9\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ inom frekvensområdet 1 Hz till 11 kHz.

Signal och strömförsörjningsdetaljer mellan undervattensenheten och mottagardelen via sjökabeln berörs även i denna rapport.

Den här i rapporten redovisade lågbrusiga galvaniskt isolerade förstärkaren EL-AMP01 är elektriskt uppbyggd liknande den i FOA-rapport (FOA-R—94-00073-2.2—SE) med PRV patentnummer 9401222-6 beskrivna elektrodförstärkaren PY355. Innehavare av patentet för PY355 är Staten. Patentet täcker även den här redovisade förstärkaren EL-AMP01. (FMV-P 03-214:2,12)

2. BESKRIVNING AV FÖRSTÄRKAREN.

Förstärkaren består av tre block vilka kan sammankopplas eller förbikopplas för att erhålla önskade funktioner. De olika blocken är:

- 1 Ingångssteg med förstärkning 60 dB (1000 ggr).
2. Högpasfilter 5 mHz med förstärkning 20 eller via relästyrning 0 dB (10 eller 1 ggr).
3. Isolationsförstärkare med förstärkningen 0 dB (1 ggr) är alltid inkopplad till:
 - 3.1 Utgångssteget med förstärkning 0 dB (1 ggr). Utgångssteget har två lågohmiga utgångar varav en är inverterad. Detta medger balanserad drivning av två tvinnade signalledningar över långa avstånd. En referensnivå överförs på en separat ledare och är gemensam för samtliga förstärkare i ett system vilket kan innehålla tre till fyra elektrodpar med förstärkare.

I figur 1 finns ett blockschema för förstärkaren.

Om de tre blocken är inkopplade i serie skapas en lågbrusig isolerad förstärkare med förstärkning 80 dB eller via relästyrning en förstärkning av 60 dB. Frekvensområdet är 5 mHz till 14 kHz -3 dB gräns.

Figur 2 innehåller förstärkarens frekvens- och fasgång.

Egenbrusnivån för förstärkaren med $R_s = 10$ ohm metallfilmsmotstånd inkopplat på ingången samt med referensnivå 1 V RMS har uppmätts till:

Frekvens Hz	dB re 1 V i 1 Hz band	nV
0.005	-157	14
0.01	-162	8
0.1	-174	2
≥ 1 till 14 000 (-3 dB)	-181	0.9

Tabell 1. Förstärkarens egenbrus. R_s (source) 10 ohm. A=80 dB.

Figur 3 innehåller en brusspektrummätning över hela förstärkarens frekvensområde.

Figur 4 och 5 innehåller brusspektrum och amplitudbrus för det lägre frekvensbandet uppmätt för två skilda och kompletta system varvid sjökablar på 2700 meter använts. Förstärkningen är 80 dB vid undervattensenheten samt R_s (source)= 10 ohm.

3. FÖRSTÄRKARENS UPPBYGGNAD.

3.1. INGÅNGSSTEG.

Figur 6 visar kopplingsschema på ingångssteget samt efterföljande högpasfilter.

Den i PY355-förstärkaren använda ingångstransistorn MAT03 är i förstärkare EL-AMP01 ersatt med en dubbel matchad PNP-transistor med beteckning SSM 2220P. Denna har en 8 pin DIL-kåpa av plast och avsedd för bland annat audiobrukapplikationer i lågbrusiga mikrofonförstärkare. SSM 2220P har ca 5 gånger lägre pris än transistor MAT03 men har samma brusdata. Beroende på att SSM 2220P har lägre strömförstärkningsfaktor samt att I_c för lägsta egenbrus valts till 1.5 mA blir I_b högre. För SSM 2220P blir I_b ca 11.6 μA och för MAT03 ca 6.7 μA . Detta ger upphov till en fast spänning över den shuntresistans som är ansluten till förstärkarens ingång. Om shuntmotståndet på 332 ohm är inkopplat finns en fast spänning på 3.8 eller 2.2 mV över ingången för de två olika transistorerna. Den väsentliga skillnaden är dock, vilket i detta sammanhang är av stor betydelse vid låga frekvenser, den lägre termoelektriska spänningsskillnad som uppstår vid transistor SSM2220P lödda basanslutningar. Detta framträder främst DC-mässigt och påverkar brusmässigt alla frekvenser under 1 Hz om transistor och anslutningar ej kan hållas i princip 100 % isolerat både vad gäller påverkande temperaturvariationer och luftturbulens. MAT03 har anslutningstrådar av järn medan SSM2220P har kopparanslutningar. Vid lödanslutning med Pb/Sn-löd torde detta ge en tiopotens mindre termoelektrisk spänningsdrift ca 1.5 $\mu V/C^\circ$ med SSM2220P som ingångstransistor, vid de temperaturförändringar som uppstår vid transistorns anslutningspunkter. (Drung D, 1997). Mätningar av detta slag är svåra att genomföra, tar lång tid samt medför svårigheter att erhålla adekvat reproducerbarhet mellan olika mätningar i vanlig laboratoriemiljö. Vid mätningar på en dubbeltransistor av annat fabrikat får temperaturvariationer ej överstiga 0.0003 $^\circ C$ vid transistor för att uppfylla vissa brusspecifikationer. Alternativet är att isolera förstärkaren främst från luftströmmar genom att innesluta förstärkaren i en tät skärmlåda samt dessutom i detta fall en Delrinbehållare som är tillverkad för att vara vattentät. Förstärkarkortets ledningsmönster medför att MAT-03 direkt kan monteras på kortet vid de tillämpningar man föredrar att välja en lägre I_b -ström.

SSM2220P är första förstärkare i kopplingen innehållande två matchade transistorer. Dessa bildar tillsammans med operationsförstärkaren OP 297/1 en DC-kopplad differential-förstärkare med en fast förstärkning 1000 gånger (60 dB). Övre gränshfrekvens är 14.7 kHz. På ingången finns skyddsdiöder samt ett inkopplingsbart shuntmotstånd på 332 ohm vilken används vid tillämpningar med kolfiberelektroder.

De två ingångstransistorerna matas från en konstantströmkälla som lämnar 3.0 mA. Ingångstransistorerna stabiliseras ytterligare spänningsmässigt av två zenerdioder på 12 Volt vid den positiva respektive negativa 15 Voltmatningen. Ingångsstegets utsignal är ansluten till en omkopplingsdel där koppling med kortslutningsbyglar sker till HP-filtret 5 mHz eller vid DC-koppling av förstärkaren signalen överförs via den interna I/O-ledningen direkt till isolationsförstärkaren samt utgångssteg.

3.2. HÖGPASSFILTER 5 mHz.

Högpassfiltret består av fyra stycken parallellkopplade 10 uF metalliserade polyester-kondensatorer och ett motstånd på 820 kohm. Detta ger en gränshfrekvens av 5 mHz (-3 dB) och fallande med 6 dB/oktav mot DC. Filtret är kopplat till förstärkare OP 297/2 där förstärkning sker med 10 gånger (20 dB). Hela förstärkaren inställs här till förstärkning 80 dB med en potentiometer till en onoggrannhet av 0.1 dB. Potentiometerns jordanslutning kan via ett relä bortkopplas varvid operationsförstärkarens funktion blir en spänningsföljare och ger förstärkning 1 (0 dB) vilket medför att den totala förstärkningen blir 60 dB. Denna funktion behövs vid mycket starka signaler med risk för överstyrning av förstärkaren.

3.3.ISOLUTIONSFÖRSTÄRKAREN.

I figur 7 finns kopplingsschema för isolationsförstärkaren och efterföljande utgångssteg.

Isolationsförstärkaren AD 215 BY är av Analog Devices fabrikat och arbetar med en bärfrekvens av ca 430 kHz vilken av insignalen moduleras samt överförs via en transformator till demodulationssteget och därefter till ett LP-utgångsfilter på 150 kHz av Bessel-typ. Filtrets funktion är också att vid höga frekvenser rekonstruera utsignalen till den originalsignal som applicerats på isolationsförstärkarens ingång. Isolationsförstärkarens övre frekvensgräns är 120 kHz och distorsionen 0.01 % vid 1 kHz samt olinjäriteten mindre än $\pm 0.005\%$ över hela dynamikområdet. CMR vid 50 Hz, 1k och 10 kHz blir -100, -83 samt -61 dB. Medräknas elektrodförstärkarens totala förstärkning med 80 dB blir dessa siffror -180, -163 samt -141 dB med elektrodförstärkarens ingång kortsluten samt matad med sinussignal i förhållande till förstärkarens sekundära jordsida.

Effektutgången på isolationsförstärkarens primärsida lämnar isolerad strömförsörjning med ± 15 Volt 10 mA (oreglerat) vilket används för att driva ingångssteget och HP-filtret i elektrodförstärkaren.

Isolationsförstärkarens utgångskrets innehåller en offsetjusteringsmöjlighet vilket utnyttjas för att nolljustera hela förstärkaren. Detta är nödvändigt eftersom isolationsförstärkaren egengenererar en negativ offsetspänning på 35 mV.

Isolationsförstärkaren (typ BY) skall klara 1500 Volt RMS mellan in- och utgångar men för att skydda isolationsförstärkaren mot t.ex. statiska spänningar har mellan isolationsförstärkarens primära och sekundära sidor inkopplats ett överspänningsskydd av typ ädelgasrör CG75L vilken tänds vid 75 V.

Isolationsresistansen mellan primär och sekundär sida för hela förstärkaren är av storleksordning 10 Gohm och kapacitansen är 62 pF.

3.4 UTGÅNGSSTEG.

Utgångssteget består av en IC-krets typ SSM 2142P. Kretsen bildar av den inkommande obalanserade signalen, två differentiella utsignaler lämpade för överföring av en analog signal via två tvinnade ledningar. En referenspotential behövs till mottagarsidan och överförs på en separat ledning. Referensspänningen är förstärkarnas nollpotential och är gemensam för samtliga kanaler ingående i ett sensorsystem. Uttages signalen från en av differentialutgångarna samt förstärkarens nollpunkt erhålles en obalanserad signal förstärkt med 80 dB. Väljs den andra differentialutgången är signalen inverterad i amplitud. $Z_o=50$ ohm.

Figur 8 och 9 visar fotografier på förstärkarens komponent och undersida.

4. FÖRSTÄRKARENS INTERNA FUNKTIONSKOPPLINGAR.

Som framkommit i den allmänna beskrivningen av förstärkaren är dess syfte att främst vara en förstärkare för elektroder med bestämt frekvensområde och förstärkning. Emellertid kan via interna omkopplingar på förstärkarkortet några andra funktioner erhållas.

4.1. Om HP-filtrets kondensatorer på 40 μF kortsluts manuellt med en tråd erhålles en DC-kopplad förstärkare med 80 eller 60 dB förstärkning. Med 332 ohm på ingången medför detta, beroende på I_b , en DC-spänning på ca 3.7 mV över ingångsmotståndet. Detta innebär att förstärkaren blir överstyrd vid 80 dB förstärkning. Inkopplas över ingången ett yttre motstånd på 47 ohm sjunker DC-ingångsspänningen till 0.5 mV vilket medför att utspänningen från förstärkaren blir 5 Volt. Vid prov kunde denna 5 Voltspänning offsettas bort i mottagardelen. Frekvensområde: DC till 14.7 kHz. $R_{in} = 47$ ohm.

4.2. Via två interna byglingar kan HP-filtret förbikopplas varvid en DC-kopplad isolerad förstärkare med 60 dB fast förstärkning erhålles. Undre brusströskel blir ca 15 dB högre (ca $5\text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$) beroende på lägre förstärkningen före isolationsförstärkaren vilken därmed bestämmer brusnivån på förstärkarens utgång. Frekvensområde: DC till 14.7 kHz. $R_{in} = 315$ eller 5100 ohm beroende av inkopplat shuntmotstånd.

4.3. Om ingångssteget bortkopplas kan en signal som behöver förstärkas ytterligare inkopplas till I/O-stiften Jp4 och därefter till HP-filtrets ingång varvid en AC-kopplad isolerad förstärkare med undre gränshfrekvens 5 mHz och en förstärkning med 20 eller 0 dB erhålles. Frekvensområde: 5 mHz till 14.7 kHz. $R_{in} = 820$ kohm.

4.4. Om kondensatorerna på 40 μF vid HP-filtrets ingång därefter kortsluts erhålles en DC-kopplad isolerad förstärkare med förstärkning 20 eller 0 dB. Frekvensområde: DC till 14.7 kHz. $R_{in} = 820$ kohm.

4.5. Om ingången till isolationsförstärkaren kopplas direkt till I/O-stiftet kan en utifrån kommande signal inkopplas till isolationsförstärkaren då enbart en elektrisk isolationsfunktion behövs i andra sammanhang. Förstärkning 0 dB. Frekvensområde: DC till 65 kHz. $R_{in} = 15$ Mohm.

I originalutförande: Isolationsspänning = 75 Volt. Bortmonteras ädelgasrör GC75L klarar isolationsförstärkaren 1500 Volt RMS.

Figur 10 visar en översiktsritning av förstärkarkortet samt dess stiftlistor och trimpotentiometrarnas placering. På sidan 27 finns utritat de överkopplingar som görs för olika funktionsegenskaper med förstärkaren.

5. SIGNALÖVERFÖRING OCH SIGNALMOTTAGNING.

Figur 11 innehåller kopplingsschema för överföringsprincipen samt mottagningskretsens inkoppling.

5.1 SJÖKABEL.

För varje förstärkares utgångar erfordras två tvinnade signalledare. En gemensam ledare för samtliga kanaler i ett sensorsystem överför en referenssignal. Två ledare överför från landsidan den strömförsörjning som behövs till undervattensenheten via en likspänning på 125 V. I vissa fall överförs en spänning till ett relä eller en optisk kopplare i undervattensenheten som styr elektrod förstärkarkortens interna reläer då en dämpning av förstärkningen med 20 dB behövs. Kabeln är ansluten till undervattensenheten via en vattentät kontakt.

5.2 ÖVERFÖRINGSPRINCIPEN.

Genom differentiell överföring med fasvända signaler och en tvinnad tvåtrådsöverföring kan faslika signaler alstrade i de två signalledarna utbalanseras på mottagarsidan. Inducerade störningar främst lågfrekventa är i fas i de två signalledarna. Mottagarkretsen SSM2141P har två ingångar, en inverterad E1 och en icke inverterad E2 och avlämnar en signal analog med $E_0 = E_2 - E_1$. Om balansering av signalledningarnas resistanser sker uppnås en störundertryckning (CMR) med ca 100 dB enligt $E_0 = (E_1 + E_2)/2$ efter mottagarkretsen. En differens mellan dem på 5 Ohm innebär en försämring av CMR med 20 dB. Acceptabla resultat har uppnåtts utan balansering.

5.3 MOTTAGARLÅDA..

För varje kanal inkommer två linjesignaler, en inverterad och en icke inverterad signal, vilka ansluts till ingångarna på mottagarkrets SSM 2141P. Mottagarkretsen är anpassad för mottagning av signaler från sändarkrets SSM2142P. Till den icke inverterade ingången på SSM 2141P är den överförda referensspänningen från undervattensdelen ansluten via ett motstånd. På denna ingång tillförs vidare en varierbar spänning från en potentiometer placerad på kretskortet vilket medför att kanalens utgång kan DC-nollställs på landsidan. Enkla LP-filer på 30 kHz vid ingångarna medför en dämpning av signalen med 3 dB men SSM 2141P avger på utgången en obalanserad signal ytterligare förstärkt med 3 dB. Med en potentiometer inkopplad till kretsens utgång dämpas signalen med 3 dB varefter en totala förstärkningen blir 80 dB för kanalen. Mottagarlåda innehåller tre till fyra mottagarkanaler och utsignalerna är kopplade till BNC –kontakter, en för varje kanal.

5.4 STRÖMFÖRSÖRJNING AV SYSTEMET.

Strömförsörjningen av ett system sker via ett nätanslutet likspänningsaggregat som avlämnar 125 V. Spänningen är ansluten till mottagarlådan och överförs via två ledare i sjökabeln till sjödelen. Likspänningen är där inkopplad till en DC/DC-omvandlare vilken avger ± 15 Volt, 0.8A. Detta räcker för att vid behov driva maximalt 15 elektrod förstärkare samtidigt.

Mottagarlådans elektronik strömförsörjs av den från nätaggregatet inkommande 125 V. En separat DC/DC -omvandlare placerad i mottagarlådan avlämnar $\pm 15\text{V}$ samt 0.2 A vilket driver mottagardelen.

6. SLUTORD.

En lågbrusig galvaniskt isolerad förstärkare främst för användning tillsammans med elektroder i vatten har nyutvecklats. Med elektrodernas hjälp kan därmed svaga elektriska fält från fartyg registreras. Syftet har varit att ersätta en äldre förstärkare (PY355) med en nyare modell (i) som är mindre och mer flexibel vid användning i system, (ii) har större bandbredd, (iii) är minst lika lågbrusig samt (iv) har möjligheten att kunna överföra den förstärkta signalen över långa kablar.

En breddning av förstärkarens frekvensområde har genomförts och är 5 mHz till 14 kHz. Konstruktionen har även medfört något bättre brusegenskaper och är av storleksordning $0,9 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ över 1 Hz. För bästa brusegenskaper vid lägre frekvenser är detta beroende av förstärkarens termiska isolering och inkapsling. Vid här förekommande låga brusnivåer ställs även stora krav på vald mätmiljö och analysutrustning för erhållande av säkra mätresultat.

Sex EL-AMP01 förstärkare har ingått i två separata system under några försöksveckor i augusti år 2002 och medverkat till att ge goda mätresultat. Fram till våren år 2004 har ytterligare 45 stycken elektrod förstärkare framtagits till olika projekt.

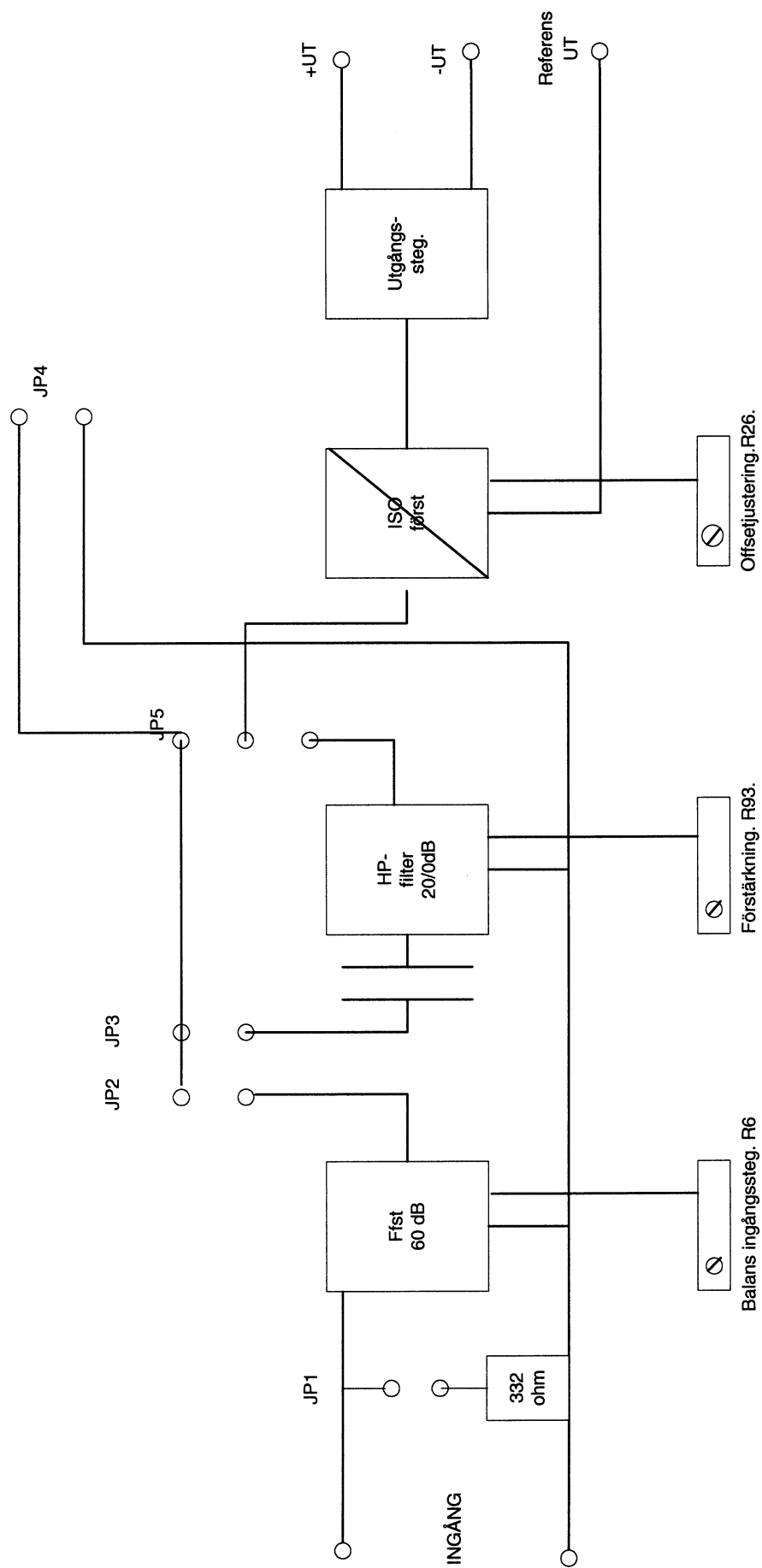
Isolationsförstärkaren AD 215 utvecklar värmeenergi vid kontinuerlig drift och vid termisk isolering av förstärkaren ökar temperaturen kring förstärkaren och därmed påverkas alla anslutningslödningar från ingångskontakt till ingångstransistor SSM2220P. Detta torde medföra likspänningsdrift och brusnivåförändringar vid uppstart innan förstärkarens temperaturmiljö stabiliserats. För att undertrycka detta kan ingångssteget exempelvis ingjutas i ett separat block som termiskt isoleras från övrig del av förstärkaren.

7. REFERENSER.

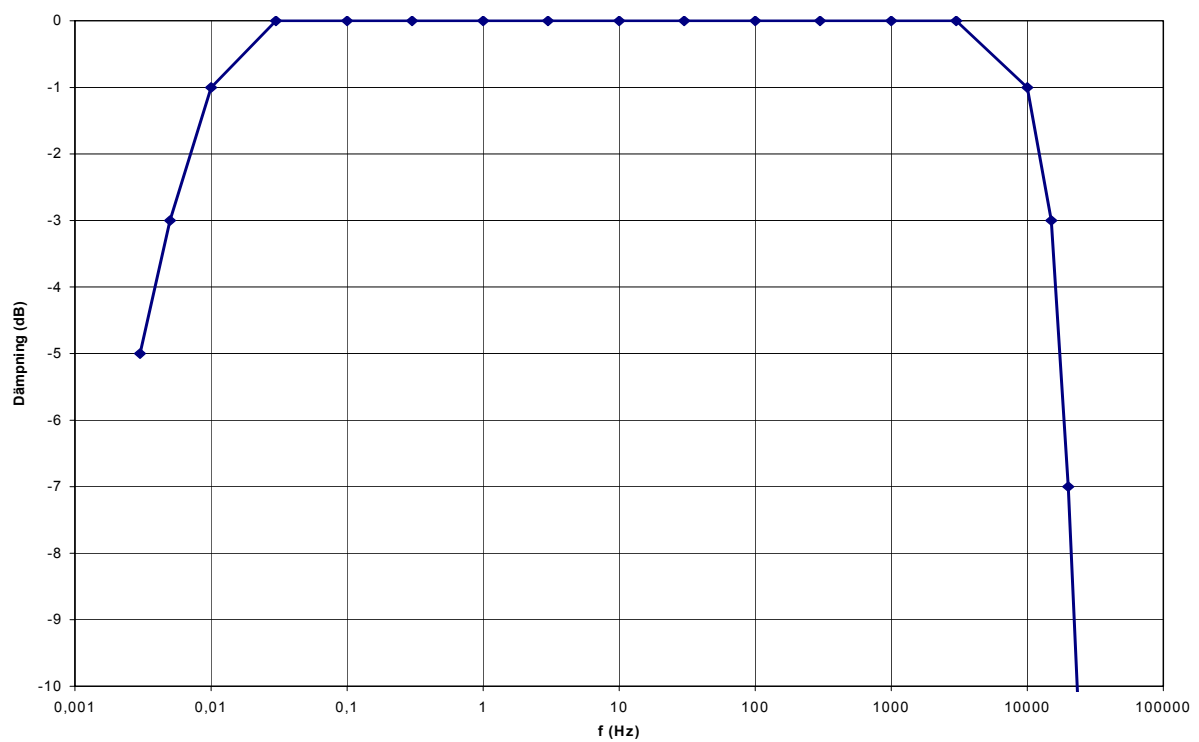
NYGREN HANS GÖRAN: Lågbrusig galvaniskt isolerad förstärkare för lågresistiva sensorer. FOA rapport FOA-R—94-00073-2.2—SE, December 1994.

DRUNG. D: Improved dc SQUID read-out electronics with low $1/f$ noise preamplifier. Rev. Sci. Instrum. Vol 68, No 11, November 1997. PP 4066-4074.

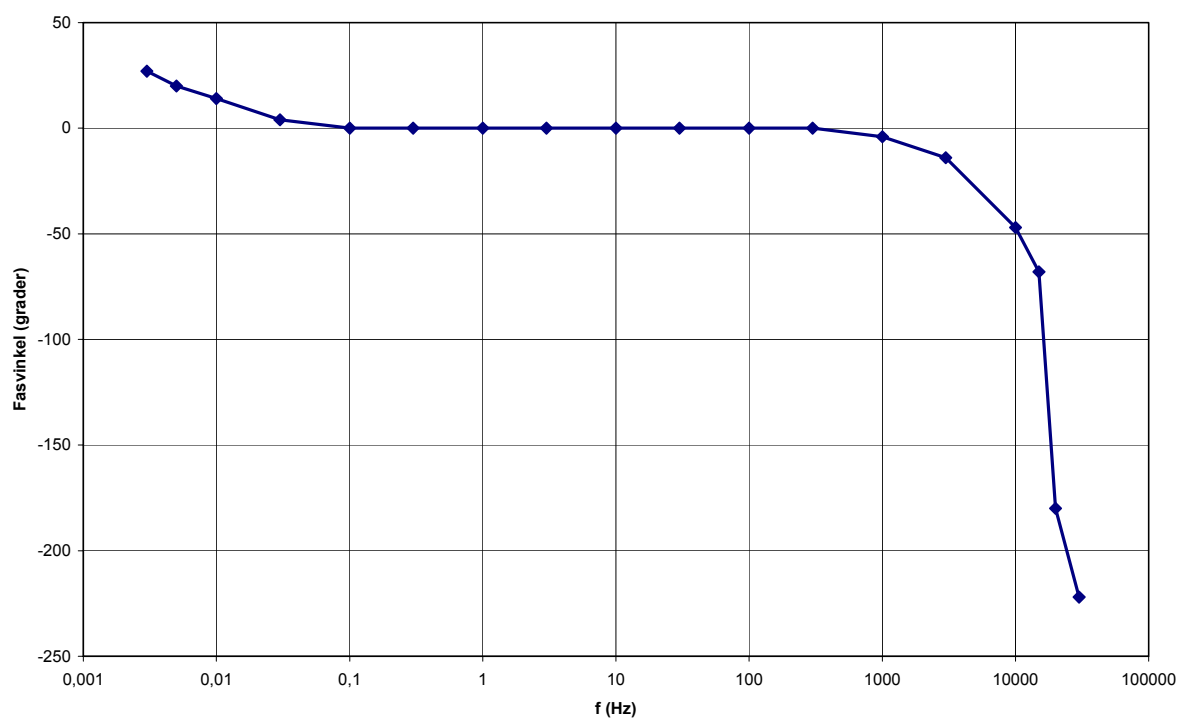
. FIGURER OCH TABELLER.		SIDA
Figur 1	Blockschema för galvaniskt isolerad förstärkare.	13
Figur 2	Förstärkarens frekvens och fasgång.	14
Figur 3	Brusspektrummätning.	15
Figur 4	Brusspektrummätning. Två system.	16
Figur 5	Lågfrekvent amplitudbrus. Två system.	16
Figur 6	Kopplingsschema för ingångssteg och HP-filter.	17
Figur 7	Kopplingsschema för isolationssteg och utgångssteg.	18
Figur 8	Fotografi av förstärkarkort. Komponent sida.	19
Figur 9	Fotografi av förstärkarkort. Undersida.	19
Figur 10	Förstärkarens funktionsomkopplingsstift och trimpotentiometrar.	20
Figur 11	Mottagarkretskoppling.	21
Tabell 1.	Förstärkarens egenbrus.	6
Tabell 2.	Ingångskontaktens anslutningar.	22,25
Tabell 3.	Utgångskontaktens anslutningar.	22,25
Tabell 4.	Effektåtgång för en förstärkare.	22
Tabell 5.	Strömförsörjningsprov med 2700 meter kabel.	22
Tabell 6.	Interna funktionsomkopplingar.	23
Tabell 7.	Förstärkarkortets storlek.	23
Tabell 8.	Ib för SSM2220 resp. MAT-03 vid olika Rs.	24
Tabell 9.	Spänning och strömförhållanden för ingångssteget.	24



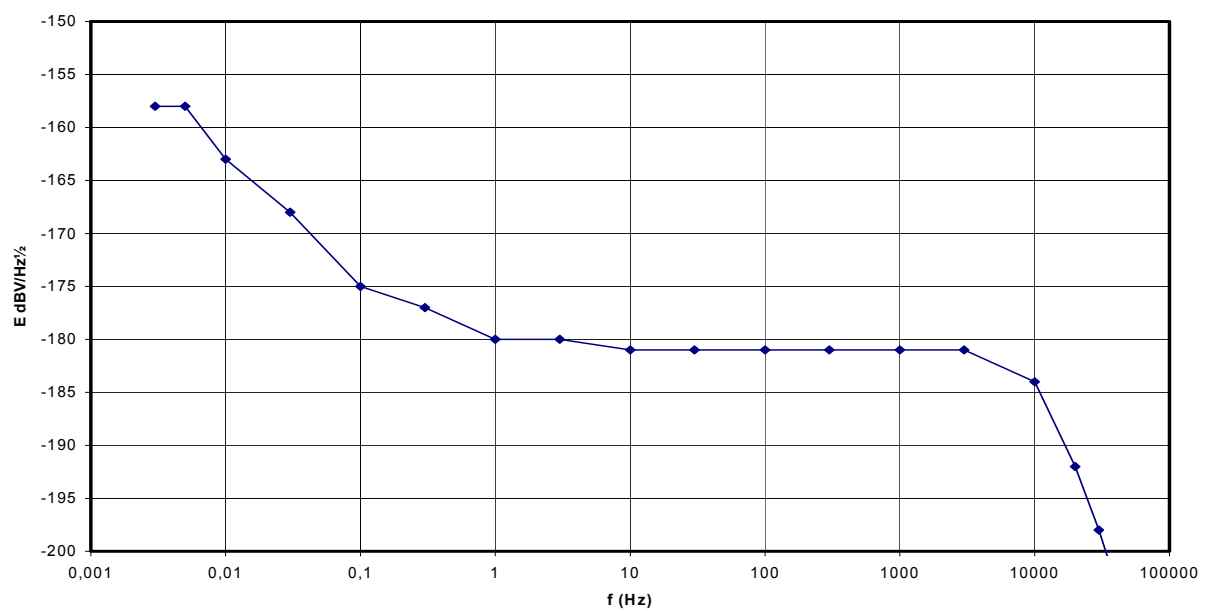
Figur 1. Blockschema för galvaniskt isolerad förstärkare.



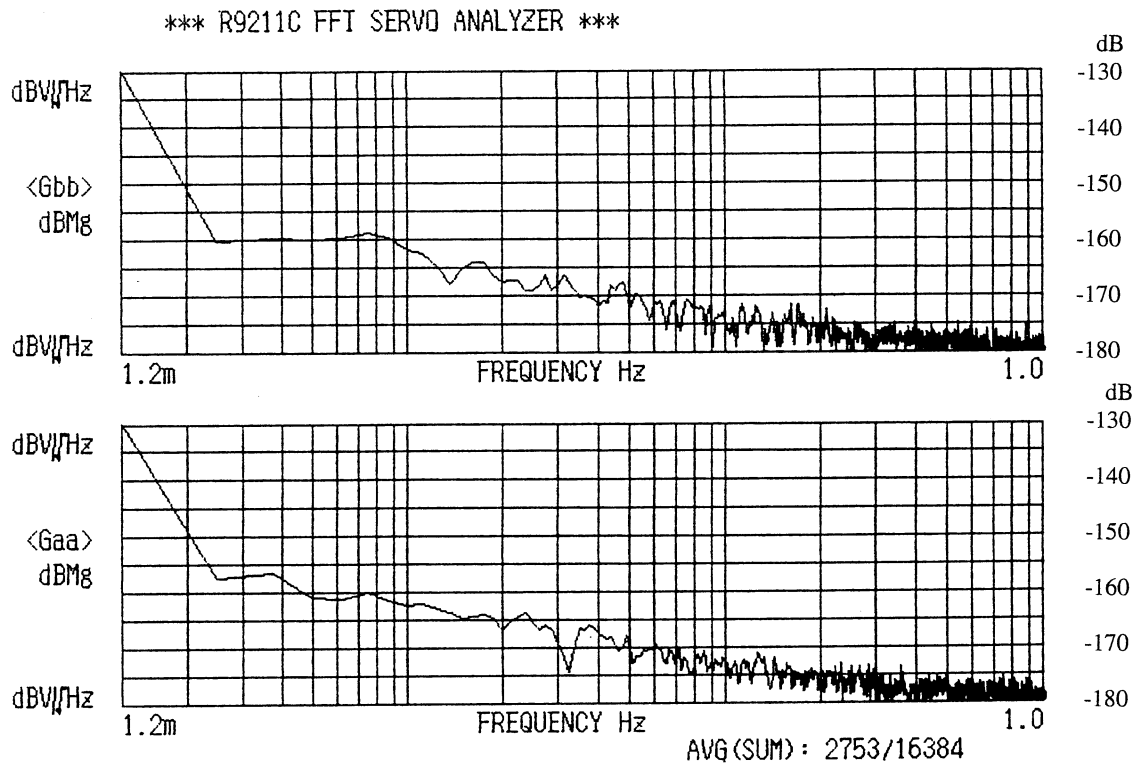
Frekvensgång.



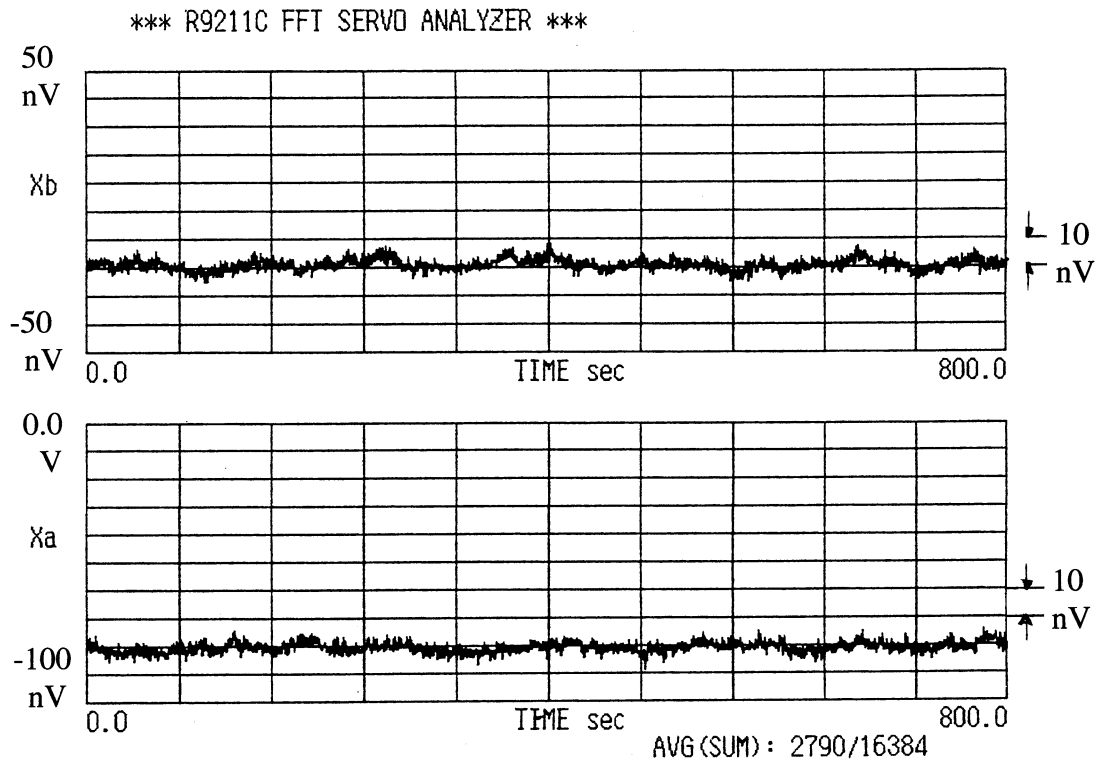
Figur 2. Förstärkarens frekvens och fasgång AC-kopplad. Enbart förstärkare. A= 80 dB.



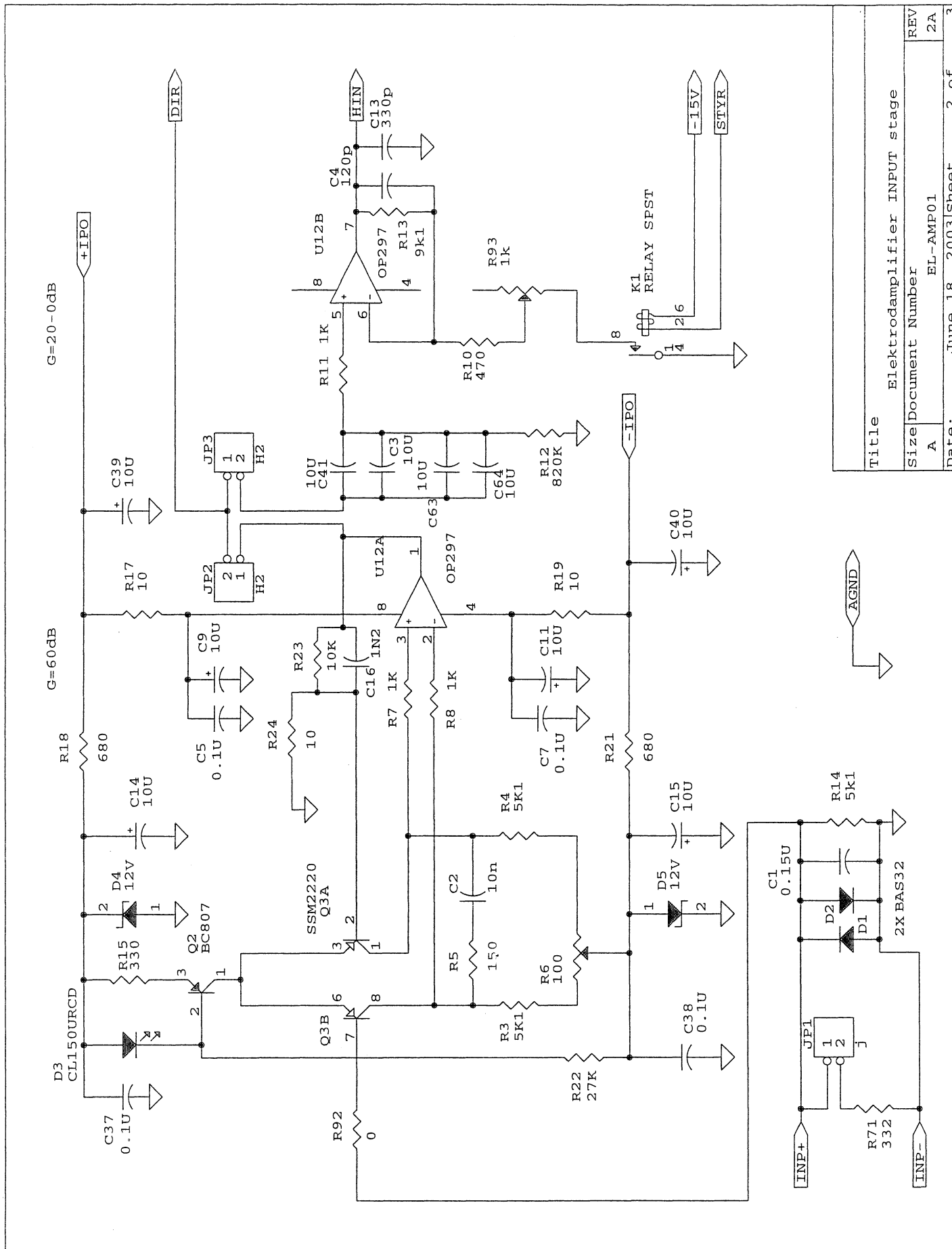
Figur 3. Brusspektrummätning. $R_s=10$ ohm. $A=80$ dB. System med 2700 meter kabel.



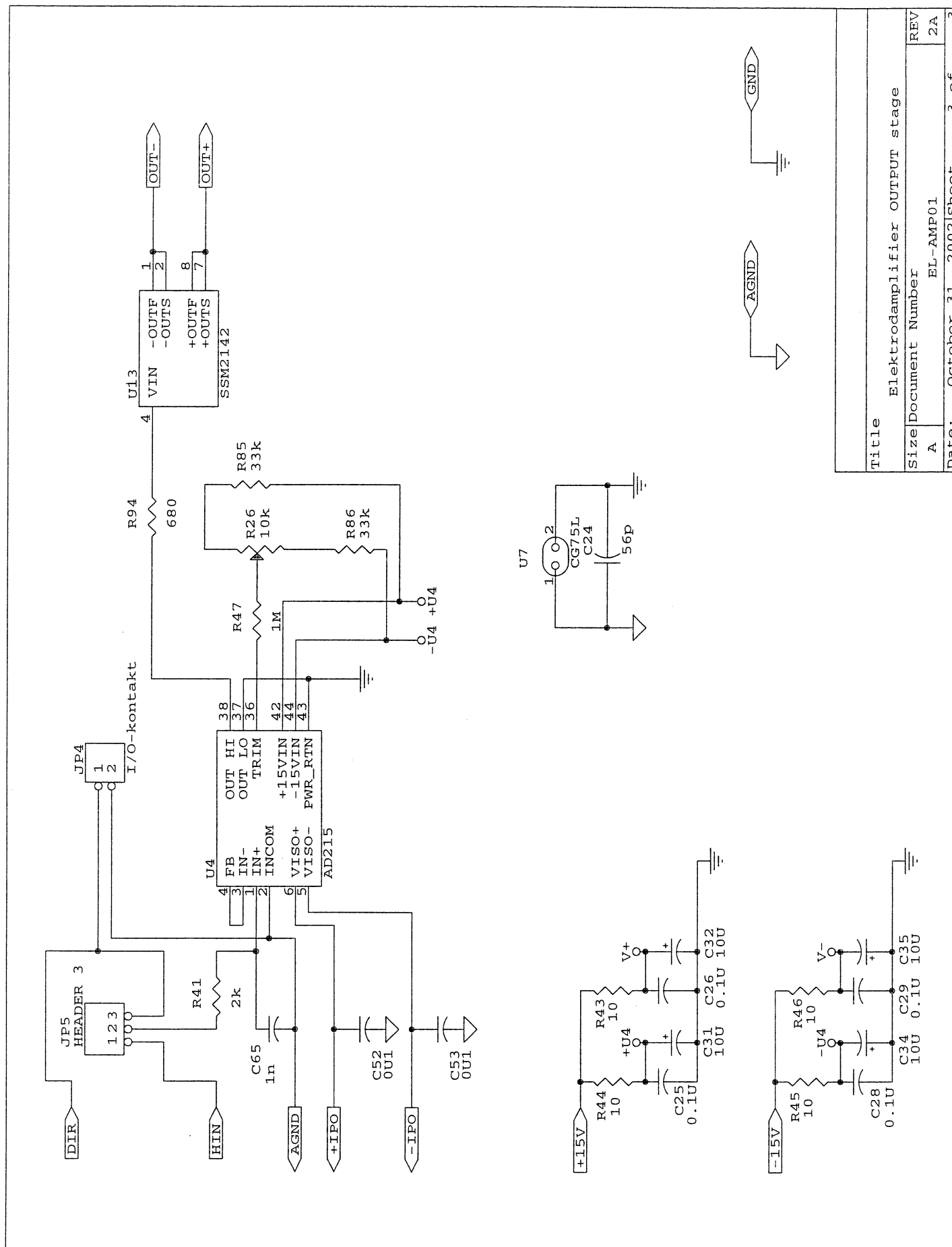
Figur 4. Brusspektrummätning. $R_s=10$ ohm. ($A=80$ dB).
Två separata system med 2700 meter sjökabel.



Figur 5. Lågfrekvent amplitudbrus. $F_b=0.005 - 1$ Hz. ($A=80$ dB).
Två separate system med 2700 meter sjökabel.

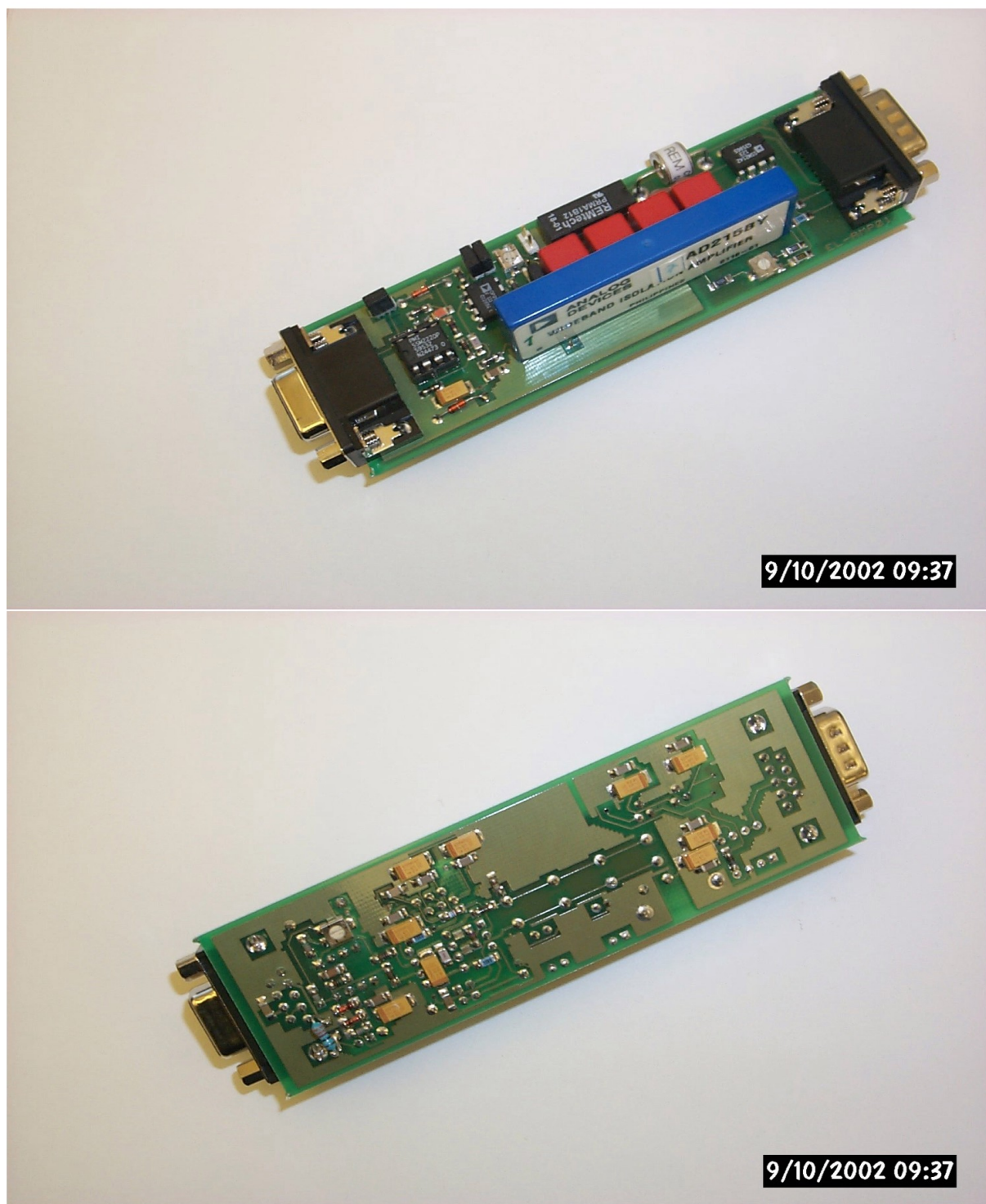


Figur 6. Kopplingsschema för ingångssteg och 5 mHz HP-filter.



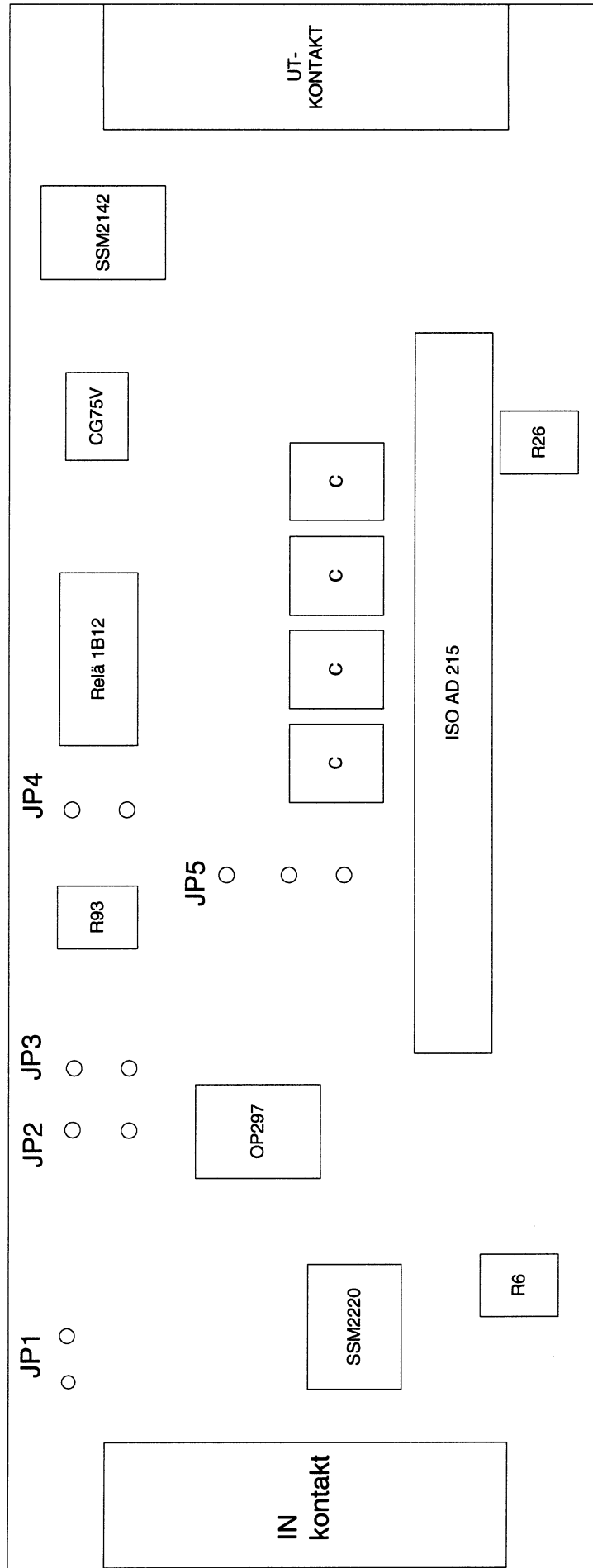
Title		Elektrodampflifier OUTPUT stage	
Size		Document Number	
A		EL-AMP01	
Date:		October 31, 2002	
		Sheet 3 of 3	

Figur 7. Kopplingsschema för isolationssteg och utgångssteg.

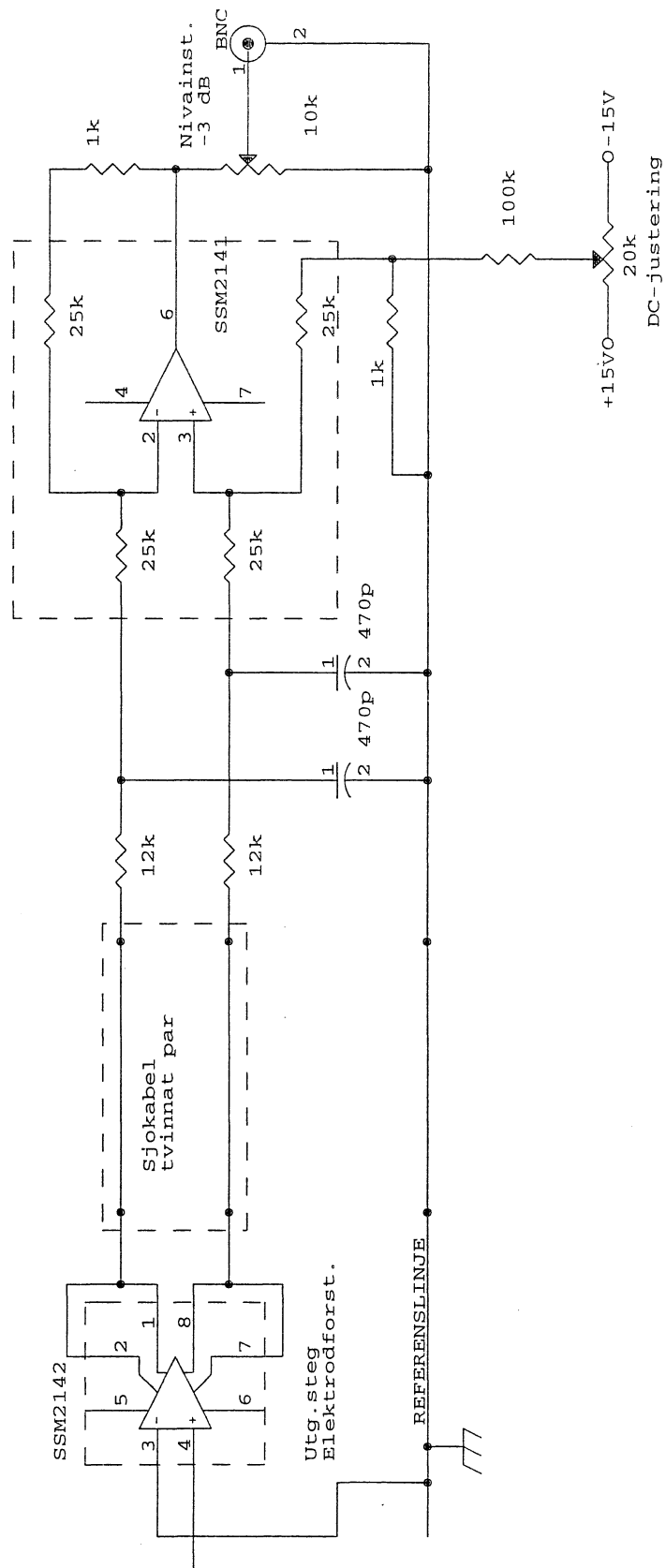


Figur 8 och 9. Fotografier av elektrodförstärkarkort EL-AMP01.

R93.Förstärknings- inställning.



Figur 10. Förstärkarens
funktionsomkopplingsstift
och trimpotentiometrars
placering.



Balanserad drivning		
Size	Document Number	REV
A	E1-amp01	
Date:	June 18, 2003	Sheet of

Figur 11. Överföringsprincip samt kopplingsschema för linjemottagare.

TEKNISKA DATA.

Stift 1, 2, 6, 7 = Ingång -	brun,röd,orange,gul
Stift 4, 5, 8, 9 = Ingång +	blå,violett,grå,vit

Tabell 2. Ingångskontaktens anslutningar. DB9P.
Ledningens färg med klämbär bandkabel-kontakt.

Stift 1 = - 15V in.		brun
Stift 2 = Utsignal -	Zo=50 ohm	orange
Stift 3 = Utsignal +	Zo=50 ohm	grön
Stift 4 = GND, Referens ut.		violett
Stift 5 = Styr dämpning med 20 dB (ansluts till st 9)		vit
Stift 6 = + 15V in		röd
Stift 7 = Utsignal -		gul
Stift 8 = Utsignal +		blå
Stift 9 = GND, 0 Volt in.		grå

Tabell 3. Strömförsörjning och utsignalskontakt. DB9S.
Ledningens färg med klämbär bandkabel-kontakt.

Ett kort drar vid:

+15 V 52 mA	=0.78 W
-15 V 20 mA	=0.30 W
med relä aktiverat = -15V 35 mA	=0.53 W
Summa =	1.08W respektive med relä 1.31 W.

Med belastningar på utgångarna med 560 ohm ökar + och – strömförsörjningen med ca 1 mA för 1 Vrms ut.

Förstärkarkortet måste drivas inom spänningsintervallet ± 14.5 till 16.5 Volt beroende på isolationsförstärkare AD 215 begränsade spänningsområde. Uppvärmningstiden för isolationsförstärkaren är 10 minuter varefter intern temperaturstabilitet för isolationsförstärkaren skett och offsetjustering av EL-AMP01 skall utföras.

Tabell 4. Effektåtgång för en förstärkare.

DRIVNING MED DC- AGGREGAT 125 V.

Tre elektrod förstärkare är inkopplade i undervattensdelen via 2700 meter kabel.

Strömförsörjning från land. In 125 Volt 60 mA.

Magnetometer parallellt inkopplad. In 125 V 70 mA.

Minimum ut från land är 70 V och därefter slutar DC/DC –omvandlaren i undervattensdelen att fungera.

Tabell 5. Strömförsörjningsprov med 2700 meter kabel.

- JP1: Inkoppling av shuntmotstånd 332 ohm.
- JP2: Inkoppling av förförstärkarens utgång till I/O-ledning.
- JP3: Inkoppling av HP-filtret 5 mHz ingång till I/O-ledning.
- JP4: I/O-kontakt för anslutning ut till andra förstärkare, in till HP-filtret, eller in till ISO-förstärkare.
- JP5: Inkoppling av förförstärkarens eller HP-filtrets utsignal till ISO-förstärkaren eller inkommande signal från I/O-kontakt till ISO-förstärkaren.

JP1 sitter vid ingångskontakten.

Om JP1 är kortsluten är 332 ohm inkopplat och avsedd för kolfiber-elektroder.

När JP1 är öppen är 5.1 kohm inkopplat över ingångskontakten, avsedd för Ag/Cl-elektroder.

Tabell 6. Interna funktionsomkopplingar.

Längd: 120 mm. Kontakter 2 x 9 mm = 138 mm.

Med anslutningskontakter: Total längd 156 mm.

(utan kåpor).

Bredd: 37 mm. Korttjocklek: 1,5 mm

Komponenter ovansida max höjd: 21 mm

Komponenter undersida max höjd: 3 mm

Tabell 7. Förstärkarkortets storlek.

DC/DC-omvandlare i undervattensdel.

För förstärkare: TMS 25215F. Ut: $\pm 15\text{V}$ 0.8 A.

För magnetometer: TPM 05215. Ut: $\pm 15\text{V}$. 0.15 A.

För mottagardelen: TMS 06215. Ut: $\pm 15\text{V}$. 0.2 A.

Monteringsskiva i undervattensdel= PC-platta 200 x 250 mm, 3mm.

SSM 2220P			
Rs Ohm	Ur mV	Ir =Ib uA	OP297/1 output
10	+ 0.130	13.00	+1.1 mV
332	+ 3.85	11.59	+3.22 V
5100	+ 36.64	7.18	DC- blockerad ff utgång +12 V
MAT03-EH			
			OP 297/1 output
10	+ 0.070	7.0	+4.27 mV
332	+2.23	6.72	+ 2.15 V
5100	+26.8	5.25	DC- blockerad ff utgång +12 V

Tabell 8. Ib in för SSM 2220P respektive MAT03-EH vid olika Rs (source).

Rs 10 ohm	Urs	-0.11 mV	Ir	11 uA
Drivsp.		+15	V	
+IPO (Zenerdiod)		+12.01	V	
Ue Q2		+11.03	V	
Ur (330 ohm)		0.98	V	
Ir (330 ohm)		2.97	mA	
Vf lysdiod (1.59 V)		+10.43	V	
Uce Q2		+10.44	V	
Ue Q3a, Q3b		+0.59	V	
Uce		4.97	V	
Uc+ noninv		-4.38	V	
Uc- inv		-4.38	V	
Ic Q3a, Q3b (5.1k)		1.50	mA	
Ictot 2 tr.		2.97	mA	
Uut (Offset rel)		-3.12	mV	(Ut OP 297/1)
-IPO (Zenerdiod)		-12.04	V	
Drivsp		-15	V	

Spänningarna refererade till isolerade 0 Volt- nivån.

0.994 mV över R15 på 330 ohm blir 3.012 mA ger 1.506 mA per transistor varav då spänningen över R3 och R4 blir 7.68 V. Detta förhållande uppfylls om Rs = R24=10 ohm. Ökar Rs kommer OP 297/1 gradvis att snedställas tills strömblockering sker i transistor Q3b. Med Ag/Cl- elektroder och 5100 ohm blir detta motstånd shuntat med elektrodernas DC-resistans i vattnet (~ 10 ohm).

Tabell 9. Spännings- och strömförhållandena för ingångssteget med SSM2220P och OP297.

INSTRUKTIONER FÖR FÖRSTA INTRIMNING AV ELEKTRODFÖRSTÄRKARENS DC-SPÄNNINGSNIVÅER OCH FÖRSTÄRKNING 80 dB.

Kontakterna på förstärkarkortet är kopplade enligt följande:

STIFT 1, 2, 6, 7 = Ingång -

STIFT 4, 5, 8, 9 = Ingång +

Tabell 2. Ingångskontaktens koppling. DB9P.

STIFT1 = - 15V IN

STIFT2 = UT -

STIFT3 = UT +

STIFT4 = GND, REFERENS UT

STIFT5 = STYR DÄMPNING 20 dB(Ansluts till stift 9 för dämpning)

STIFT6 = + 15V IN

STIFT7 = UT -

STIFT8 = UT +

STIFT9 = GND, OVOLT IN

Tabell 3. Strömförsörjning och utsignalskontaktens koppling. DB9-S

Anslutningskontakt till ingångskontakten på förstärkarkortet är en 9-polig S-Sub stiftkontakt. Med denna ordnas en dämpsats på 80 dB. Ett motstånd på 10 ohm inkopplas mellan stiften 1 och 5. Stift 1 är 0-anslutning och ansluts till en BNC-kontaks jordhylsa. Stift 5 är signalingång och ett motstånd på 100 kohm ansluts även till detta stift. Motståndets andra anslutning kopplas till BNC-kontaktens signalstift. Före anslutning av motstånden kontrolleras att dessa är bättre än 1 % onogranhet i resistansvärde.

För anslutning till förstärkarens utkontakt används en 9-polig D-Sub hylskontakt.

Anslutningarna för +15V/-15V och GND ordnas vilka senare kopplas till ett nätaggregat.

Koppla stift 5 (Styr dämpning) med ledning för kommande test. För signal ut användas stift 3 = UT + och stift 4 = 0-referens / jord. UT+ används som huvudutgång vid DC-offset och förstärkningsinställning beroende på en av fabrikanter pålagd potentialskillnad mellan förstärkarens två utgångar. Vid obalanserad drift blir UT+ huvudutgång. För balanserad drift tillsammans med mottagarkrets SSM 2141 se sidan 26 för slutlig inställning.

Kortslutningsbyglar monteras på JP2 och 3 samt JP5-stiften vid isolationsförstärkaren. (Sidan 27).

Montera in- och utgångskontakterna till förstärkarkortet. Anslut strömförsörjningsledningarna till nätaggregatet. Inkoppla aggregatets spänningar (± 15 V) till förstärkaren varvid lysdioden på kretskortet vid förstärkarens ingångkontakt skall tändas.

För balansering av ingångssteget inkopplas en två-polig KK-kontakt till JP4 och via en tvåledare ansluts till en batteridrivna multimeter. DC-balansering till nära 0 Volt sker på ingångssteget med potentiometer R6 placerad på kortets undersida, figur 10. Nivån injusteras till ca ± 1 mV. Därefter justeras likspänningen på utgången, stift 3, med multimetern till ca ± 1 mV med potentiometer R26 placerad vid isolationsförstärkaren.

INSTÄLLNING AV FÖRSTÄRKAREN.

Anslut en sinussignal på 1 Volt RMS och 80 Hz via dämpsatsen på ingångskontakten. Mät utsignalen från utgångskontakten stift 3 och jord med samma voltmeter utan att ändra mätområde på denna. Justera nivån med potentiometer R93 placerad vid I/O-stiften till 1 Volt RMS ut. Med anslutningen på stift 5 (Styr dämpning) skall signalen minska till 0.1 Volt RMS på voltmeteren när stift 5 ansluts till 0 Volt på nätaggregatet.

Bryt 0-Voltanslutningen till stift 5.

Kontrollera att inverterad signal finns på stift 2.

Bryt insignalen till dämpsatsen på ingången och kontrollera därefter igen likspänningsnivån på utgången (stift 3) och justera DC-utspänningen med potentiometer R 26 till lägsta DC-nivå (± 1 mV).

Kontrollera brusnivån för förstärkaren med 10 ohm på ingången med en FFT- analysator, t.ex. ADVANTEST R9211. Vid 1 Hz och högre frekvens skall förstärkarens brusnivå vara högst -180 dB re $1 \text{ V}/\sqrt{\text{Hz}}$. Ordna lämplig termisk och elektrisk skärmning av förstärkaren vid dessa mätningar.

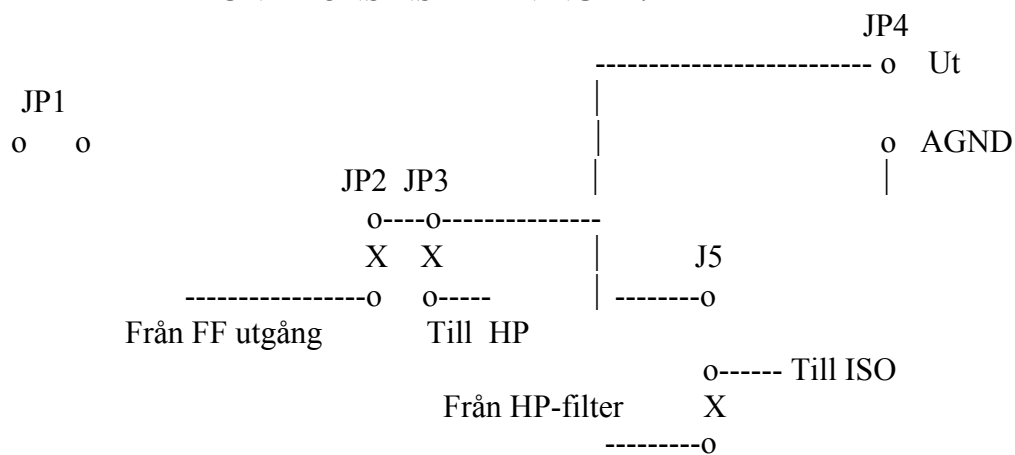
När balanserad överföring skall tillämpas, inställ förstärkarens utgångar till att ge samma spänningspotentialer. Offsetspänningen på utgångarna kan skilja ± 50 mV beroende på att utgångskretsen är DC-kopplad. Använd potentiometer R26 och inställ utgångsspänningarna till minsta spänningsdifferens (exempelvis kan dessa bli -40 mV) och samma potential. Denna fasta likspänningspotential bortbalanseras av mottagarkretsen, skillnaden (ev. någon mV DC-offset) är därefter signalen.

Bryt drivspänningarna och montera bort anslutningskontakterna.

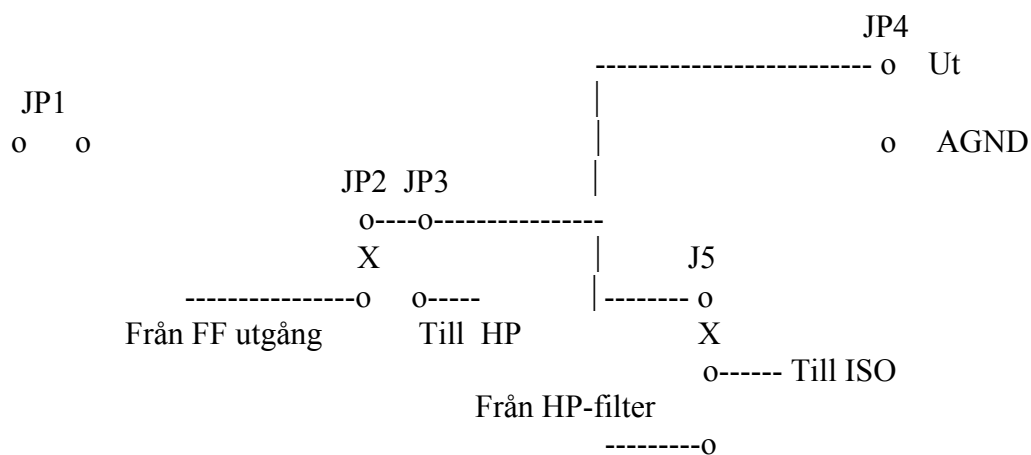
Skall förstärkaren användas med kolfiberelektroder monteras en kortslutningsbygel över JP1 varvid motståndet på 332 ohm blir parallellt ansluten över förstärkarens ingång.

Kontrollera att shuntmotståndet är monterat eller mät med ohm-meter på förstärkarens ingång att inresistansen sjunkit till ca 310 ohm.

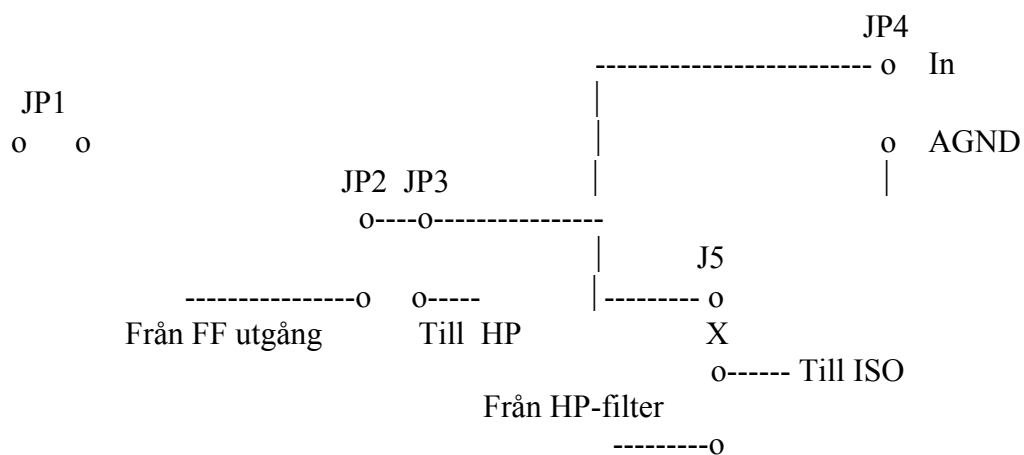
FUNKTIONINSTÄLLNINGAR.



AC-kopplad förstärkare. A= 80/60 dB. 5 mHz till 14.5 kHz. X= kortsl.bygel.



DC-kopplad förstärkare. A= 60 dB. DC till 14,5 kHz.



ISO-förstärkare in. A= 0 dB. DC till 65 kHz.

10. BILAGA 1.

Brus- och Ibström- reduceringsförsök på förstärkarens ingångssteg.

Proven har genomförts med en elektrodförstärkare EL-AMP01. Mätningar visar att förstärkarkonstruktionen samt dess komponenter är minst lika lågbrusiga som de i tidigare utvecklade förstärkaren PY 355. Nedanstående prover gäller EL-AMP01 förstärkaren ytterligare bestyckats med ett transistorpar i krets SSM 2220P på förstärkarens vanliga transistoringång. De prov som gjorts är enligt följande:

1. Parallellkoppling av två ingångstransistorer SSM2220P för brusreducering.
2. Darlingtonkoppling med två transistorer SSM 2220P för minskning av inströmmen (I_b).

1.1. Syftet med parallellkoppling av ingångstransistorer är att nedbringa det egengenererade bruset från en transistorer. Härvid anpassas även ingångssteget till lägre inresistanser. Parallellkopplingen genomfördes genom att koppla transistorerna i höjdlid. Eftersom kapslingen är i DIL-8 kunde transistorernas anslutningsben direkt sammanlödats. De två kollektormotstånden R_{c1} och R_{c2} minskades till 2500 ohm. Konstantströmsmotståndet R_e minskades till 165 ohm. Härvid ökades den totala strömmen genom detta motstånd till 6 mA vilket medför att 1.5 mA går genom varje transistor.

1.1.1. I det första försöket bibehölls återkopplingsmotstånden med värdena 10000 ohm respektive 10 ohm. R_s (source) var 10 ohm

1.1.2. I det andra försöket minskades dessa motstånd till 3590 ohm respektive 3.59 ohm. R_s minskades till 3.59 ohm.

Resultat försök nr 1.1.1 : Förbättringen är endast 1 dB över 50 Hz. Under denna frekvens är försämringen motsvarande 1-2 dB.

Resultat försök nr 1.1.2 : Förbättringen är ca 4 dB över 50 Hz. Under 1 Hz oförändrad brusnivå. En bred brustopp vid ca 14 kHz framträder och är en tendens till självsvängning i ingångssteget.

2.1. Darlingtonkopplingens syfte är att reducera SSM 2220P:s ingångsström I_b . SSM 2220P har i originalkopplingen uppvisat en ingångsström på ca $12\mu A$. Genom den Darlingtonkopplade transistorens bas vilket blir ingång till förstärkaren, reduceras ingångsströmmen proportionellt mot transistorens strömförstärkningsfaktor. Denna blir 98 nA med shuntmotståndet 5100 ohm (500 μV över ingången). Den efterföljande transistoren erhåller sin basström på $12\mu A$ och kollektorströmmen blir 1.5 mA. Eftersom brusspänningen är beroende av kollektorströmmen kommer den första transistoren med kollektorström 12 μA ha en brusspänning av ca 6 nV/ $\sqrt{Hz}$ över 10 Hz med 1/f- knät vid ca 3 Hz. Den första transistorens genererade brus går direkt in på den andra transistorens bas. För att erhålla balans i ingångssteget måste en transistor inkopplas i motkopplingsgren vilket medför ytterligare ökning av bruset från ingångssteget.

Resultat försök nr 2.1.1: En reduktion av I_b via förstärkarens ingång kan genomföras på bekostnad av ökat brus. En fördel blir att mindre spänning erhålles över shuntmotståndet R_s . Brusnivån ökar beroende på de reducerade kollektorströmmarna i de första Darlingtonkopplade transistorerna. En brusförsämring med 20 dB/ $\sqrt{Hz}$ över 100 Hz framkommer och en ökning av brusnivån med 3 dB/oktav neråt i frekvens uppstår både vid R_s 10 respektive 5100 ohm har uppmätts.