

En L-bånds FM-ATV transceiver

Af OZ7TA Jørgen Kragh, Forelvej 25, 3450 Allerød

1. Indledning

I denne artikel beskrives min FM-ATV transceiver til L-båndet, d.v.s. 1240-1300 MHz. Artiklen er ikke en direkte byggevejledning, men en beskrivelse af hvordan, jeg har valgt til at realisere transceiveren, altså en "sådan har jeg gjort det" artikel. De gengivne måleresultater skal derfor også ses som værende de data, der i første omgang tilfredsstillede mig, hvilket må betragtes som det absolut minimale, der kan forlanges af en sådan transceiver. De opnåede data er derfor på ingen måde et udtryk for, at der ikke kan forbedres noget

Transceiveren er resultatet af ca. halvandet års udviklingsarbejde med mange forskellige løsningsmodeller og viser den i dens nuværende form. Der er derfor brugt forskellige løsningsfilosofier ved designet af de forskellige enheder, således at indtjente erfaringer med et modul er benyttet i de senere byggede enheder

Om teknikken bag FM-ATV på de højere bånd henvises til litt. 1, der indeholder nogle yderligere henvisninger til litteraturen. For at få det fulde udbytte af denne artikel må det derfor anbefales læseren forinden at have læst litt. 1.

Det er i dag meget lettere at bygge radiogrej til de højere frekvenser end for blot 5 år siden. Dette skyldes, at der i forbindelse med udviklingen af mobilkommunikationen i 900 MHz og L-båndet er fremkommet mange spændende komponenter. Det er derfor i dag muligt at lave f.eks. oscillatorer direkte på slutfrekvensen, uden at skulle bruge frekvensmultipliere og andet godt, der kan give en masse spurii.

Dette kan og bør man som radioamatør udnytte til at udvikle trafikken på de højere bånd, for ad den vej at stholde nogle af de frekvenstilldelinger vi har, da der ellers er fare for, at frekvenserne kan blive reallokeret til andre formål. Samtidig med at det er blevet lettere at bygge udstyret, er priserne på de moderne komponenter relativt lave, grundet de store styktal.

2. Konceptet

Før man går i gang med et så relativt stort projekt må man have gjort sig klar, hvad projektet skal ende op med. Der skal med andre ord skrives en form for grundspecifikation, som man så arbejder ud fra

I dette tilfælde var de grundlæggende krav følgende:

Frekvensområde:	1240-1299 MHz
Frekvensopløsning:	1 MHz
Sender spids frekvenssving:	3,5 MHz
Lyd subcarrier:	5,5 MHz
Lyd subcarrier frekvenssving:	50 kHz

Sender udgangseffekt:	min 10 W
Sender spurii incl. harmoniske:	dæmpet min. 60 dB
Sender udgangseffekt:	min 10 W
Sender spurii incl. harmoniske:	dæmpet min. 60 dB
Modtager følsomhed:	min. -100 dBm
Modtager spejlselektivitet:	min 60 dB
Modtager spurii:	dæmpet min. 60 dB
Modtager uønsket udstråling:	max. 10 nW antenne- terminal
Forsyningsspænding:	12-14 V

Senderen skulle endvidere opfylde IARU region 1 rekommendationen for FM-ATV på mikrobølgebåndene med hensyn til for- og efterbetoning og båndbredde på det udsendte signal. Om denne rekommendation henvises til appendix 1.

Det kan måske synes underligt at specificere modtageroscillatorens uønskede udstråling. Oscillatoren ligger imidlertid mellem 760 MHz og 820 MHz, altså i toppen af TV bånd 5, og derfor bør den være godt dæmpet, da netop dette signal kan give problemer med TV. At opfylde alle disse krav er ikke helt let, men ved et omhyggeligt design og en god planlægning kan det lade sig gøre.

For at kunne have mulighed for i fremtiden at lave forbedringer på et enkelt modul eller for at kunne genbruge noget af transceiveren i andre sammenhænge valgte jeg at bygge transceiveren på en række små print, i stedet for at bygge sender og modtager på hvert sit store print. På denne måde er der sikret fuld fleksibilitet fremover. Skal en enhed forbedres er det let at udskifte den, blot erstatningen har samme snitflade til omverdenen.

For at lette designet er det endvidere en god idé at gennemlæse alt tilgængelig litteratur om emnet inden man kaster sig ud i at lodde. I dette tilfælde blev det til mange timers læsning af UKW-Berichte, DUBUS, diverse datablade og application notes samt diskussioner med medamatører, der også interesserer sig for FM-ATV.

3. Sender design

Ud fra ovennævnte koncept blev det bestemt at dele senderen op i 4 print som vist på blokdiagrammet i fig. 1.

Basebandprocessoren foretager den nødvendige signalbehandling af video- og audiosignalerne. Denne signalbehandling består i at forbetone videosignalet og forstærke det til et niveau passende for exciteren. Endvidere genererer baseband processoren 5,5 MHz lyd subcarrieren og frekvensmodule-

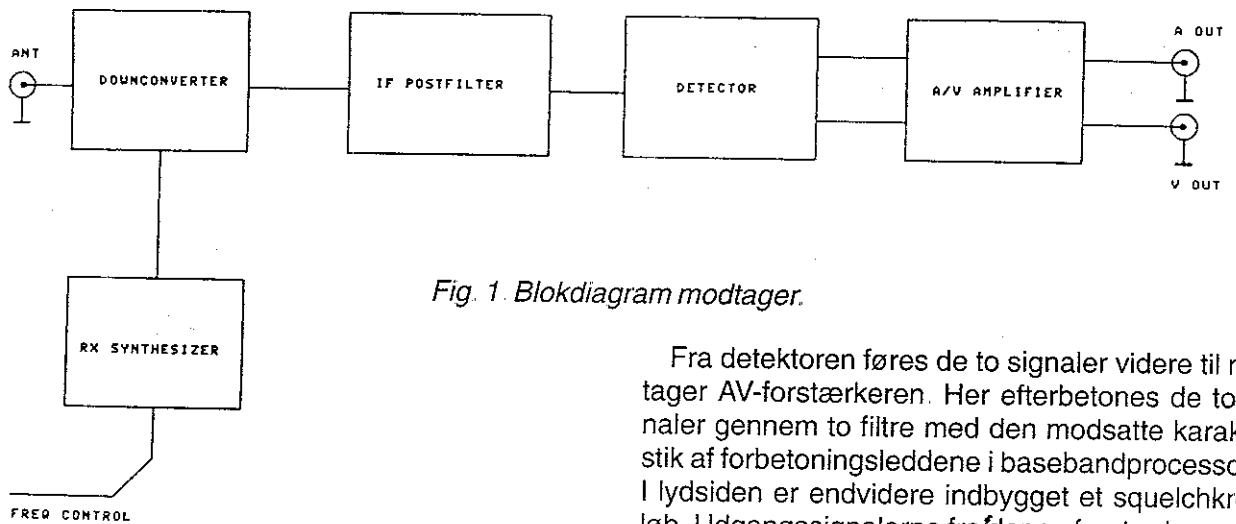


Fig. 1. Blokdiagram modtager.

rer denne med det ligeledes forbednede audiosignal.

Efter forstærkning m.m. kombineres de to signaler, før de samlet føres til exciteren, der genererer TV-signalet på den ønskede frekvens. Fra exciteren består senderen så blot af to forstærkertrin, nemlig drivertrinnet og PA-trinnet.

4. Modtager design

Modtageren blev designet ud fra samme princip som senderen, nemlig at den skulle være modulært opbygget og samtidig være så simpel som mulig. I fig. 2 er vist et blokdiagram af modtageren.

I downconverteren forstærkes antennesignalet inden det blandes ned til mellemfrekvensen på 479,5 MHz, ved hjælp af signalet fra modtager lokaloscillatoren, der befinder sig 479,5 MHz under det modtagne signal.

Efter nedkonvertering forstærkes signalet og filtreres i SAW filter, inden det efter yderligere forstærkning fortsætter gennem IF postfilteret.

Fra IF postfilteret fortsætter MF signalet til detektor, hvor det yderligere forstærkes inden det frekvensdetekteres. Det detekterede signal er på dette sted basebåndssignalet, d.v.s. både billed- og lyd-signalet.

Efter frekvensdetektionen udtages 5,5 MHz subcarrieren gennem et båndpasfilter, hvorefter denne frekvensdetekteres, således at lydsignalet fremkommer. Der er altså to udgangssignaler fra detektoren, nemlig lyd- og videosignalet.

Fra detektoren føres de to signaler videre til modtager AV-forstærkeren. Her efterbetones de to signaler gennem to filtre med den modsatte karakteristik af forbedningsleddene i basebandprocessoren. I lydsiden er endvidere indbygget et squelch kredsløb. Udgangssignalerne fra denne forstærker svarer til indgangsniveauerne til basebandprocessoren, nemlig 1 Vpp video i 75 Ω og 0,4 Vpp audio i 10 k Ω eller mere. De to signaler kan derfor direkte drive en monitor eller en VCR.

5. Fællesenheder

Ud over sender- og modtagerenhederne består transceiveren af nogle få print, der er fælles, nemlig spændingsregulatoren, controllerprintet samt referenceoscillatoren. Med til fællesenhederne hører i videste forstand endvidere antennerelæ og kabinet.

6. Funktionsbeskrivelse af baseband processor

Baseband processoren fig. 3 består af 2 dele; en lyd-del, der genererer 5,5 MHz subcarriersignalet, frekvensmoduleret med lydsignalet, og en videodel, der forbedner og forstærker videosignalet.

Audiosignalet fra videokameraet tilføres terminal "Audio In". Indgangsniveauet skal her være 0,4 Vpp, svarende til udgangsniveauet fra et almindeligt videokamera; ønskes der anvendt en bordmikrofon eller lignende, skal der tilføjes en forforstærker. Efter emitterfølgeren forbednes audiosignalet med en tidskonstant på 50 usek. i R07-C078. Kredsen L01-C06 er en 15,625 kHz spærrekreds, der forhindrer linjefrekvensen fra kameraet i at blive moduleret ind på lydbærebølgen.

Audiosignalet forstærkes i N01B, klippes i V03-V04 og filtreres i lavpasfilteret N01A, R13, R15, R16, C11 og C12, hvorefter det via R29 tilføres til 5,5 MHz oscillatoren.

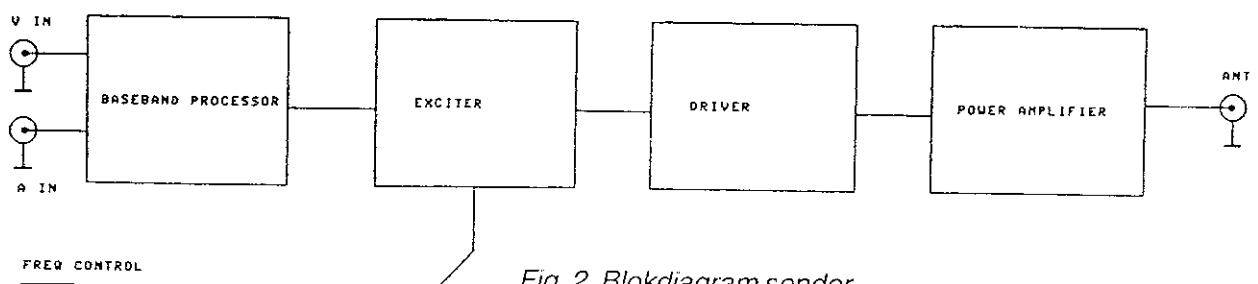


Fig. 2. Blokdiagram sender.

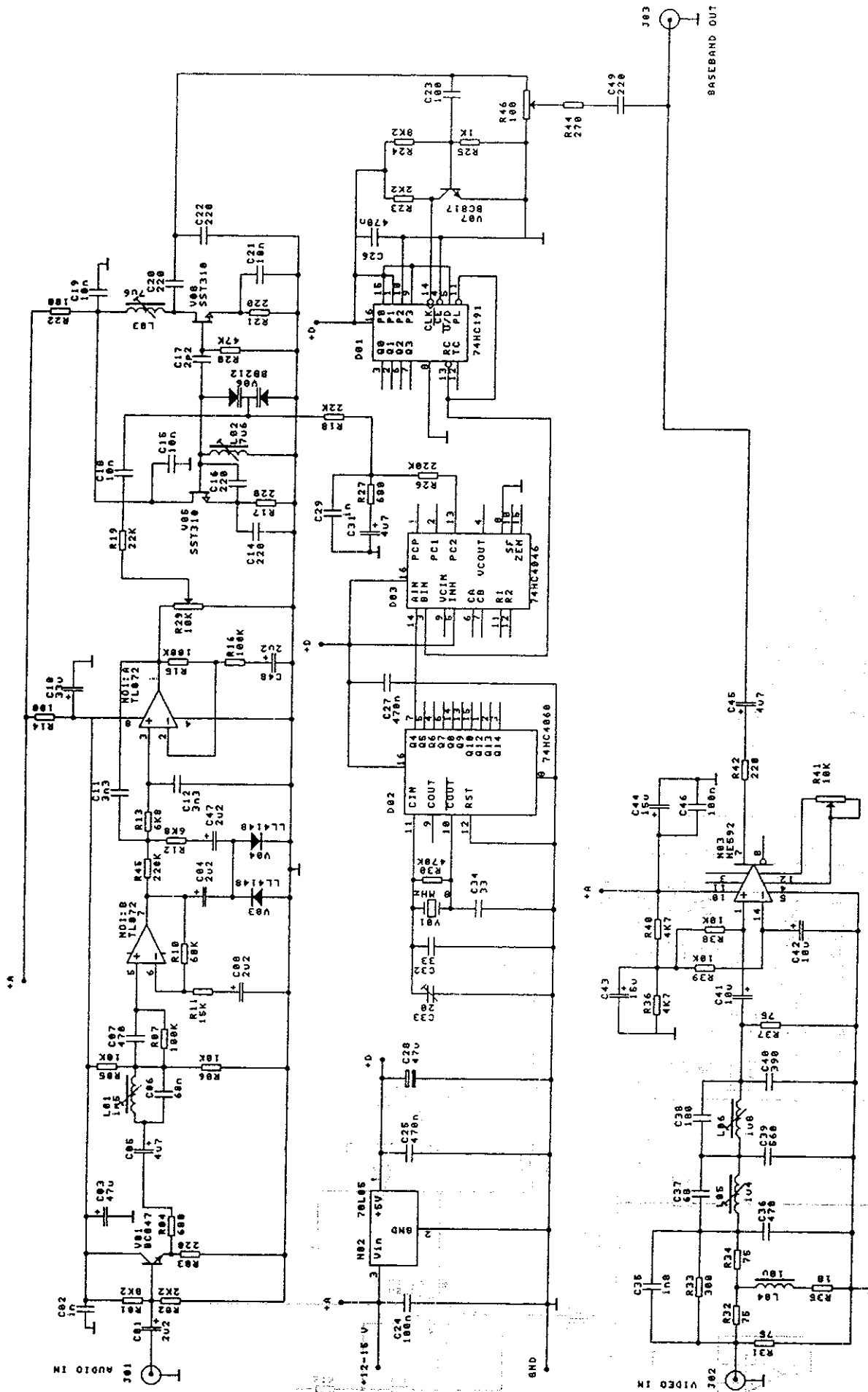


Fig. 3: Diagram of baseband processor.

5,5 MHz signalet fra VCO'en V05 forstærkes i V08 hvorefter det føres dels til bufferen V07 og dels kombineres med videosignalet via R46 og R44.

Fra V07 føres 5,5 MHz signalet til deleren D01, hvor det deles med 11, d.v.s. udgangsfrekvensen fra D01 er 500 kHz; dette signal føres til PLL kredsen D03. Referencesignalet til D03 fås fra D02, der indeholder en oscillator på 8 MHz og en efterfølgende 16-deler, således at referencesignalet fra D02 pin 7 er 500 kHz. Referenceoscillatorens frekvens kan justeres med C33. Styrespændingen til VCO'en filtreres i loopfiltret R26, R27, C29 og C31.

Videosignalet tilføres på terminal "Video In"; niveauet skal her være 1 Vpp i 75 Ω. Signalet forbednes i R32-R35, C35 og L04 før det båndbredebeholdes i C36-C40 og L05-06. Herefter forstærkes det i N03, hvor forstærkningen kan justeres ved hjælp af R41. Via R42 kombineres videosignalet med lydsignalet, således at det sammensatte baseband signal er til rådighed på terminalen "Baseband out".

7. Funktionsbeskrivelse af exciter

Excitoren, vist i fig. 4, består af VCO'en V01 der svinger direkte på udgangsfrekvensen ved hjælp af den keramiske coaxialresonator Z01; VCO'ens frekvens kan tunes ved hjælp af styrespændingen til varicapdioden V02. Signalet fra V01 sendes gennem bufferen V03, hvorefter det deles mellem udgangsforstærkeren N01 og synthesizer prescaleren D01. Synthesizeren, der er af dual modulus

typen består ud over VCO'en af D01, der er prescaleren og D02, som indeholder resten af delerne, fasedetektoren samt diverse frekvensregistre. Programmering af D02 foretages via den 3 trådede bus, D02 pin 3, 4 og 5.

Fasedetektoren i D02 efterfølges af loopfiltret R13-C17 og spændingsforstærkeren N02. Det synes måske at være lidt rigeligt, her kun at bruge den ene forstærker i en dobbelt operationsforstærker, men LM 358 har PNP transistorer i indgangen, sådan at dens indgangsspænding kan gå helt ned til den negative forsyningsspænding, noget der er brug for her. Efter N02 følger et jitterfilter R11-C18 hvorefter DX styrespændingen kombineres med baseband signalet, der ankommer på terminal J02. Herefter føres den modulerede DC til varicapdioden via L02.

Udgangsforstærkeren N01 er en MMIC, der afgiver ca. 1,2 dBm til terminalen J01, Exciter Out.

På terminalen Ref In tilføres synthesizeren referencesignalet på 10 MHz, som genereres i referenceoscillatoren.

8. Funktionsbeskrivelse af driver

Driverforstærkeren på fig. 5 er en modificeret kopi af et design, der har været bragt i litt. 2. Modifikationerne består i, at jeg har anvendt andre transistorer end i litt. 2, hvad der har medført et redesign af de første to trin og disses tilpasning. Forstærkeren er i øvrigt en tretrins bredbåndsafstemt forstærker, der kan afgive 200 mW på udgangsterminalen J02.

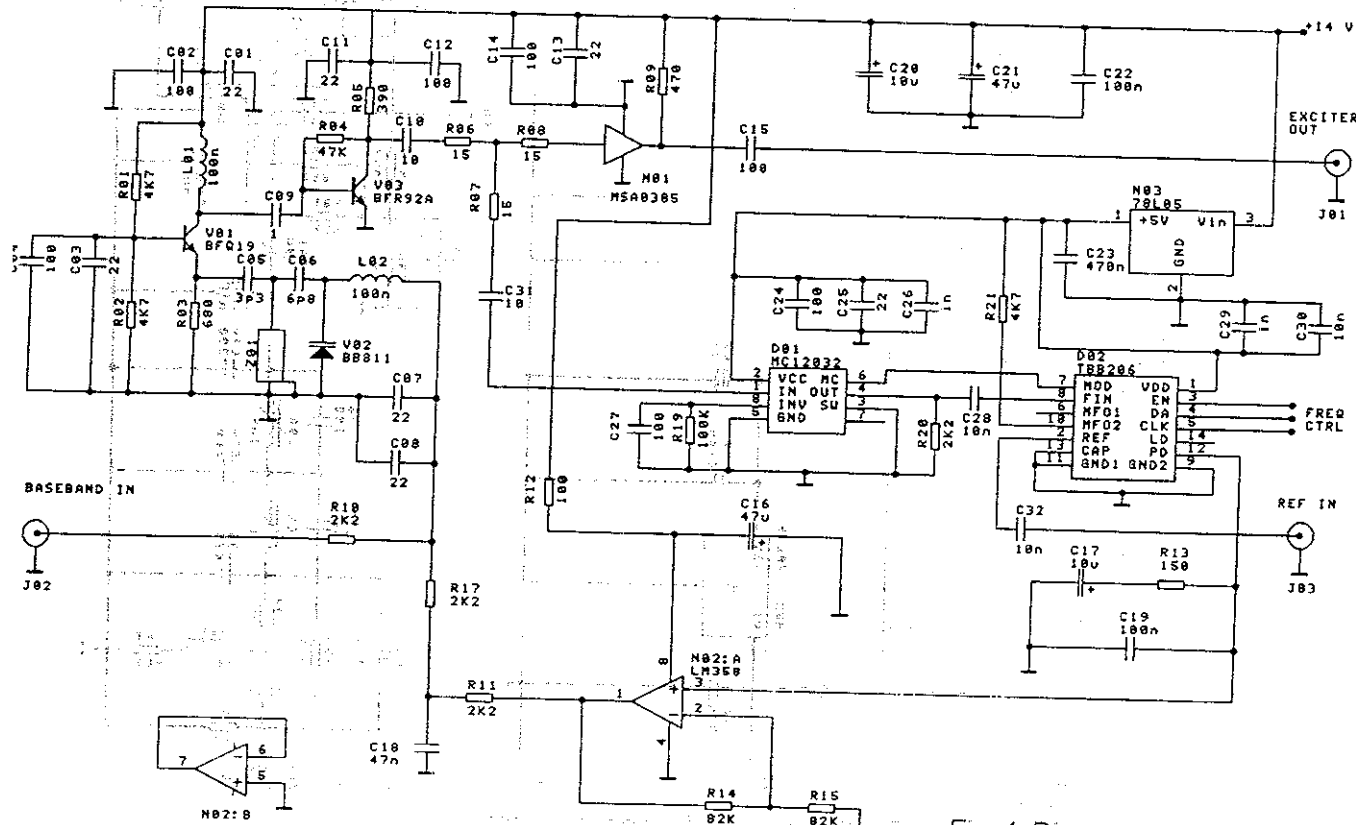


Fig. 4. Diagram af exciter.

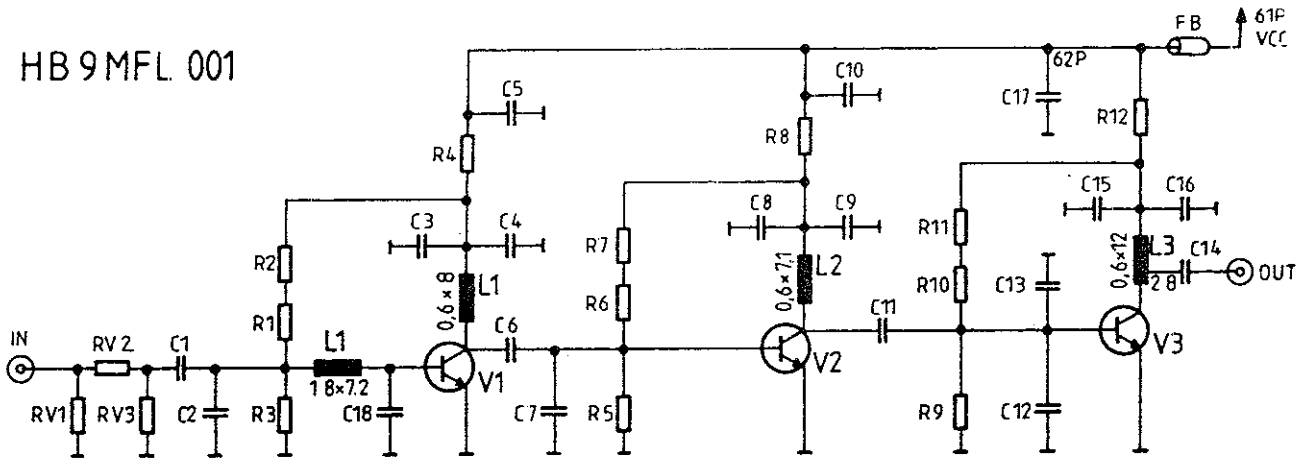


Fig. 5 Diagram af driver.

9. Funktionsbeskrivelse af PA-trin

PA-trinnet gengivet af fig. 6 er bygget med en hybrid forstærkerblok N01, der med det viste diagram er i stand til at afgive ca. 10 W med en udstyring på 200 mW

Det er muligt at hæve udgangseffekten til ca. 18 W ved at hæve styringen til 1 W, men så er der til gengæld overhængende fare for at forstærkeren brænder af, hvis forsyningsspændingen er højere end 13 V.

N02 er en stabilisator, der forsyner N01's biaskredsløb med en spænding, der ikke må overskride 9 V; ved at justere denne spænding, kan trinnets forstærkning reguleres.

10. Funktionsbeskrivelse af downconverter

I downconverteren, fig. 7, forstærkes antennesignalet i V01 og filtreres i et tokreds helixfilter F01. Inden nedblandingen forstærkes det yderligere i MMIC'en N01. Nedblandingen foretages ligeledes i

en MMIC N02, der indeholder en komplet Gilbertcelle blander, som giver ca. 8 dB gain i modsætning til en passiv diodemixer, der typisk giver -8 dB gain på disse frekvenser.

Lokaloscillatorsignalet fra modtager synthesizeren tilføres på terminal J02, hvor niveauet skal være ca. -3 dBm.

Efter nedblanding forstærkes signalet i N03 inden det sendes gennem mellemfrekvensfiltret F02, der er et standard SAW filter beregnet til satellit TVRO applikationer. Efter dette filter løftes signalet så i N04 og N05, inden det forlader converteren. Den totale forstærkning fra antenneindgangen J01 til udgangen J03 er ca. 55 dB.

11. Funktionsbeskrivelse af modtager synthesizer

Modtager synthesizeren, der genererer lokaloscillatorsignalet til downconverteren er opbygget efter samme filosofi som exciteren, men naturligvis uden

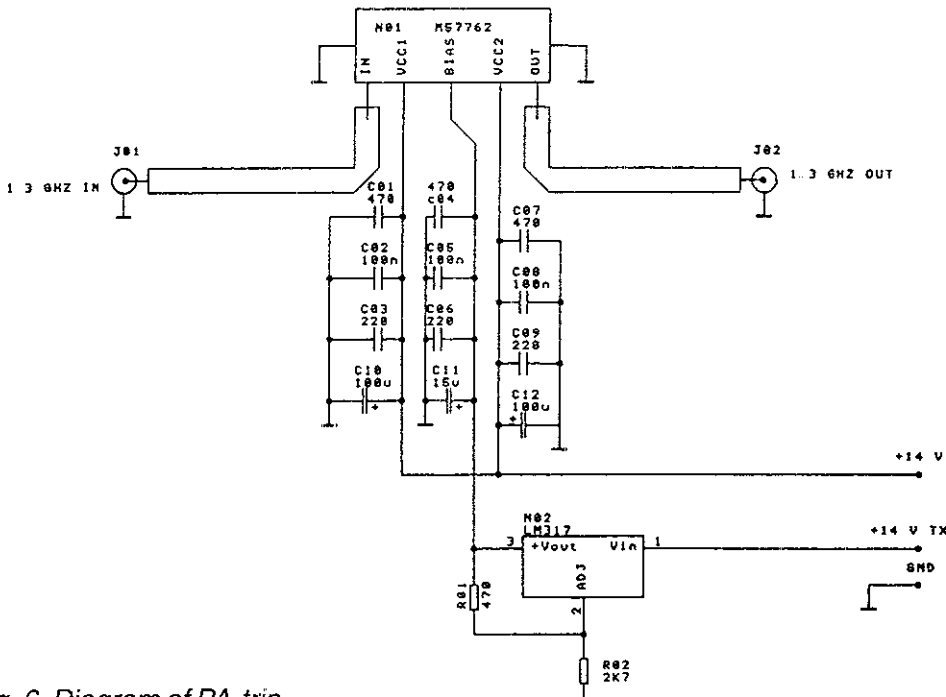


Fig. 6. Diagram af PA-trin.

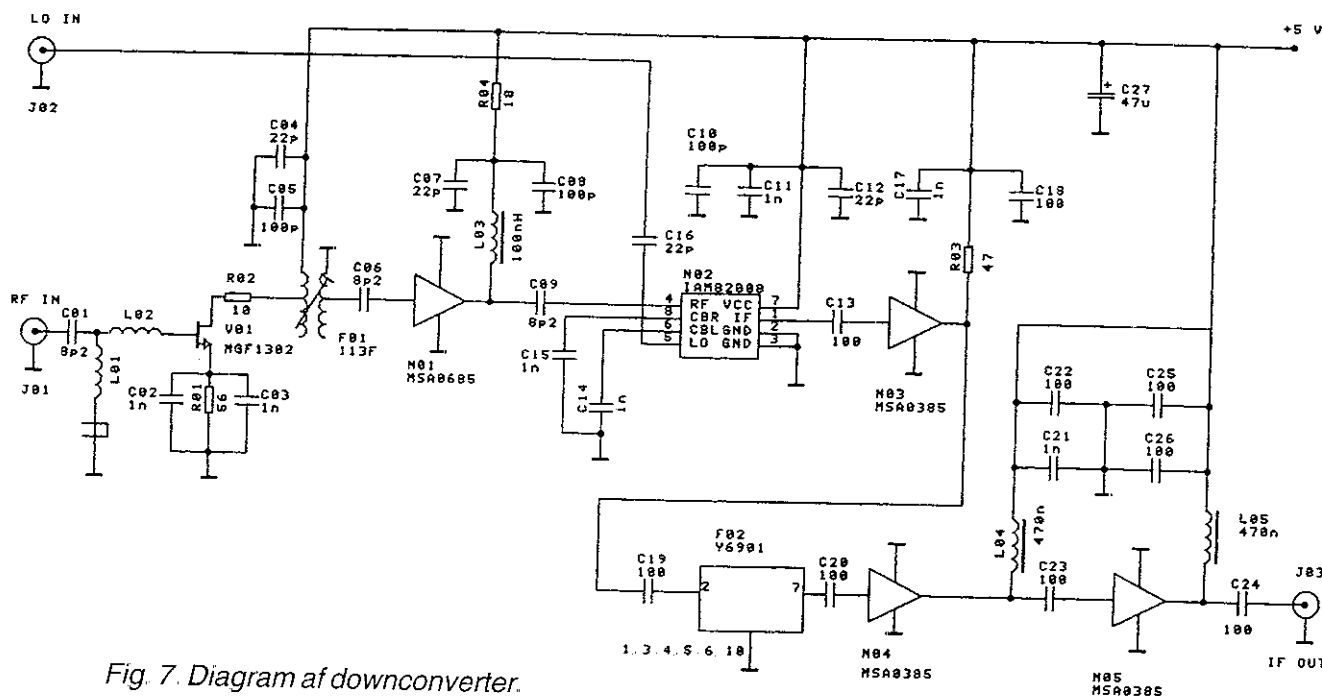


Fig. 7. Diagram af downconverter.

mulighed for at kunne modulere VCO'en. Diagrammet af denne enhed er vist på fig. 8.

VCO'en består igen af V01 med resonatoren Z01 og bufferen V03. Bortset fra resonatoren og at VCO'en i dette tilfælde er en jordet kollektor opstilling, er synthesizeren identisk med synthesizeren i exciteren.

Da oscillatorsignalet til blanderen i downconverteren kun skal være -3 dBm, der det ikke nødvendigt med yderligere forstærkning af dette signal efter VCO bufferen. Signalet tages derfor direkte fra den resistive effektdeler og føres til downconverteren. Effektniveauet på dette sted er ca. -2 dBm, hvilket er rigeligt til at drive blanderen i downconverteren.

12. Funktionsbeskrivelse af IF postfilter

IF postfiltret, der sidder mellem downconverteren og detektoren, har til opgave at begrænse det samlede systems støjbåndbredde. Fig. 9 viser diagrammet af filtret.

SAW filteret i downconverteren har en 1 dB båndbredde på 27 MHz, hvad der er passende til et normalt DBS TV signal, men ved FM-ATV hvor der arbejdes med lavere modulationsindex er denne båndbredde alt for stor. Det er ikke for at få bedre selektivitet, at postfiltret er indført, da trafikken på FM-ATV er temmelig begrænset, men for at få en smallere støjbåndbredde og dermed bedre følsomhed.

Det anvendte filter er et ombygget tokreds helixfilter fra en gammel Salora UHF MTD mobiltelefon. I MTD'en fungerede filtret som et båndpas-notch filter, hvorimod det her fungerer som et tokreds helixfilter. Dette filter har en støjbåndbredde på ca. 18 MHz, hvad der giver en følsomhedsforbedring på ca. 2,5 dB. Filtrets indsætningstab er 3,5 dB, hvad

der ikke påvirker følsomheden grundet den megen forstærkning foran filtret, og det er optimeret med hensyn til gruppeløbstid, således at der ikke forekommer forvrængning af signalet i filtret.

13. Funktionsbeskrivelse af detektor

I detektoren, vist på fig. 10, forstærkes mellemfrekvenssignalet ca. 57 dB i de 3 MMIC's N01-N03, hvorefter det detekteres i bredbånds-FM detektoren N04.

På dennes udgang er nu det samlede signal til rådighed, altså både videosignalet og 5,5 MHz subcarrieren, der bærer lydinformationen. Da N04, til trods for at den er forsynet med en emitterfølger i udgangen, er ret højimpedanset, er der indført trinnet V01, således at videosignalet kan videreføres i et 75 Ω coaxialkabel fra J02.

Via R04 og båndpasfiltret C19-23 og L02-03 udtages 5,5 MHz subcarrieren, som forstærkes og FM detekteres i N05. På terminalen J03 er således det genvundne audiosignal til rådighed. Dette føres via J03 til AV-forstærkeren.

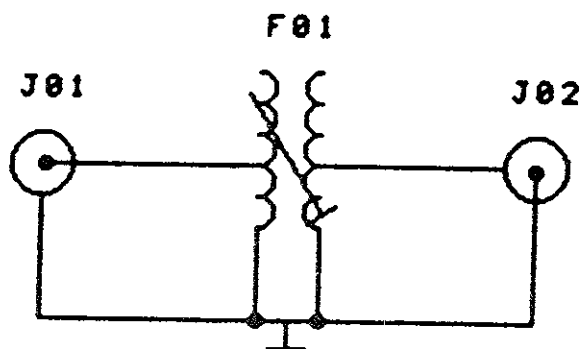


Fig. 9. Diagram af IF postfilter.

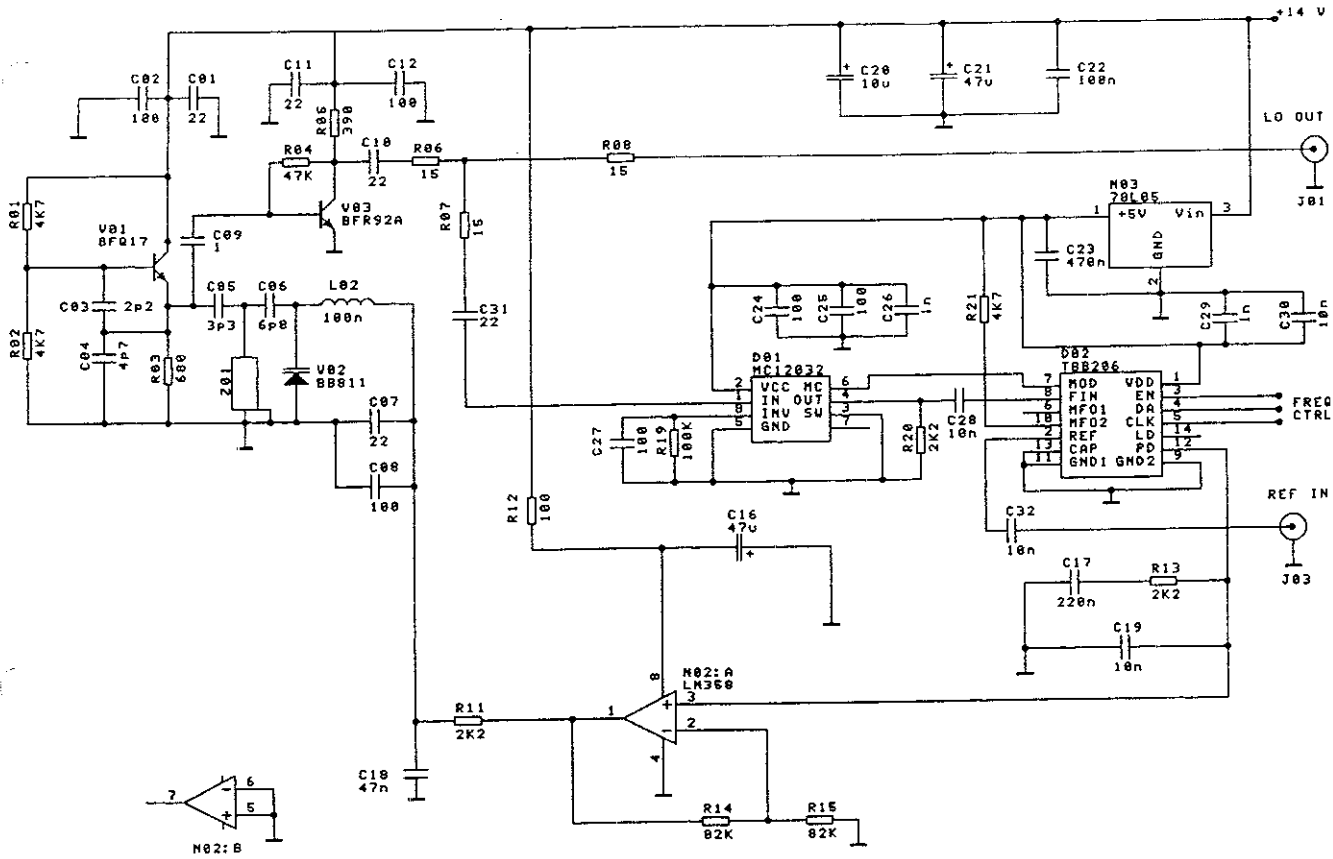


Fig. 8. Diagram af modtager synthesizer.

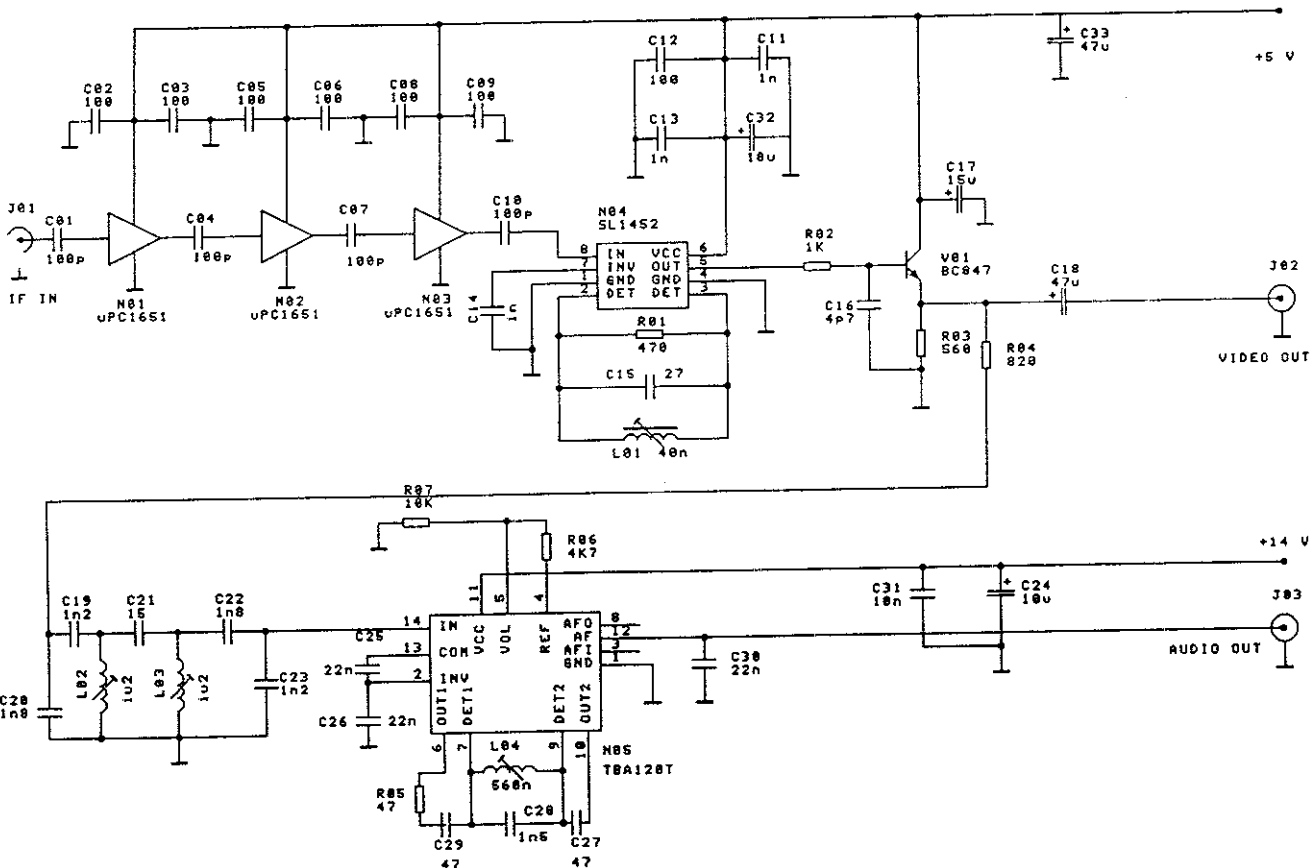


Fig. 10. Diagram af modtager detektor.

14. Funktionsbeskrivelse af modtager AV-forstærker

AV-forstærkeren består af to adskilte dele, en videoforstærker og en audioforstærker. Diagrammet fig. 11 viser denne enhed.

Videoforstærkeren indeholder et video efterbetoningsled R02-R05, L01, C01-C02 efter CCIR rec. 405 1, og som modsvarer forbetoningsleddet i baseband processoren. Efter dette led følger en 5,5 MHz fælde bestående af L02 og C09. Dette led fjerner 5,5 MHz komponenten, d.v.s. lyd subcarrieren fra video-signalet, da der ellers kan opstå moire i billedet, hvis monitoren har tilstrækkelig stor båndbredde.

Herefter forstærkes videosignalet i N01 og deles til to emitterfølgere V01 og V02, der hver kan drive en monitor eller en VCR. Med R10 kan forstærkningen i N01 justeres, så udgangsniveauet efter emitterfølgere er 1 Vpp i 75 Ω.

Bemærk i øvrigt, at emitterfølgere er DC-koblede; der er altså ca. 7 V DC på deres udgange. Dette er normalt ikke noget problem, da næsten alle monitører eller VCR's har en skillekondensator i indgangen.

Audiodelen består af et squelchkredsløb, et efterbetoningsled og en driver.

Squelchkredsløbet består af støjforstærkeren V03 og detektoren V04-05. Er der støj tilstede på indgangen, vil spændingen på katoden af V05 være ca. 1,3 V, hvilket via R20 driver V06 i mætning og dermed kortslutter LF-signalet til stel. Forsvinder støjen afbryder V06, og der er da LF passage fra indgangen og til V07. Squelchens triggepunkt kan justeres ved hjælp af R19.

R21 og C16 danner et efterbetoningsled med en tidskonstant på 50 usek. modsvarende forbetoningsleddet i baseband processoren. Da LF-niveauet ud fra detektoren er rigeligt stort, er der på den anden side af efterbetoningsleddet blot sat en emitterfølger, således at det er muligt at have et langt kabel mellem modtageren og monitor/VCR.

15. Funktionsbeskrivelse af referenceoscillator

Referenceoscillatoren på fig. 12 består af en krystaloscillator med V01 og Y01; denne efterfølges af bufferen V02, hvorefter signalet deles til to identiske udgangstrin V03 og V04, der forsyner h.h.v. exciter og modtager lokaloscillator med referencesignalet på 10 MHz.

Hele oscillatorprintet forsynes med 5 V fra stabilisatoren N01, hvorved oscillatorens frekvens er uafhængig af variationer i forsyningsspændingen. Den viste oscillator er tilstrækkelig stabil til bredbånds TV, og også til smalbånds FM, hvis den holdes i temperaturområdet 15-25 C. Uden for dette temperaturområde har den kun tilstrækkelig stabilitet til at kunne anvendes til bredbånds TV.

Det er muligt at forbedre stabiliteten ved f.eks. at anvende et 5 ppm krystal, hvis oscillatoren skal anvendes til en smalbånds FM radio.

16. Funktionsbeskrivelse af spændingsregulator og DC skift

Dette print, der også er fælles for sender og modtager er vist på fig. 13. Spændingsregulatorerne består af N01 og N02 med tilhørende komponenter. Disse to regulatorer leverer h.h.v. 5 V og 9,6 V. Beg-

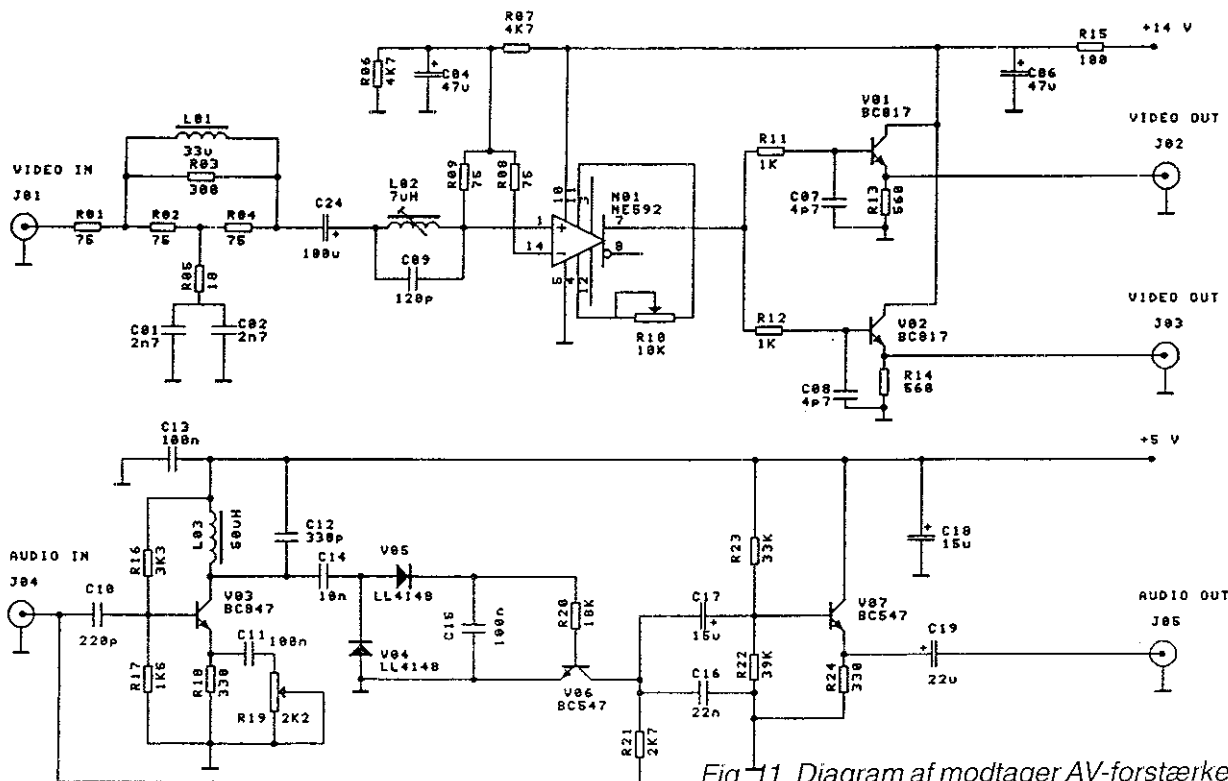


Fig. 11. Diagram af modtager AV-forstærker.

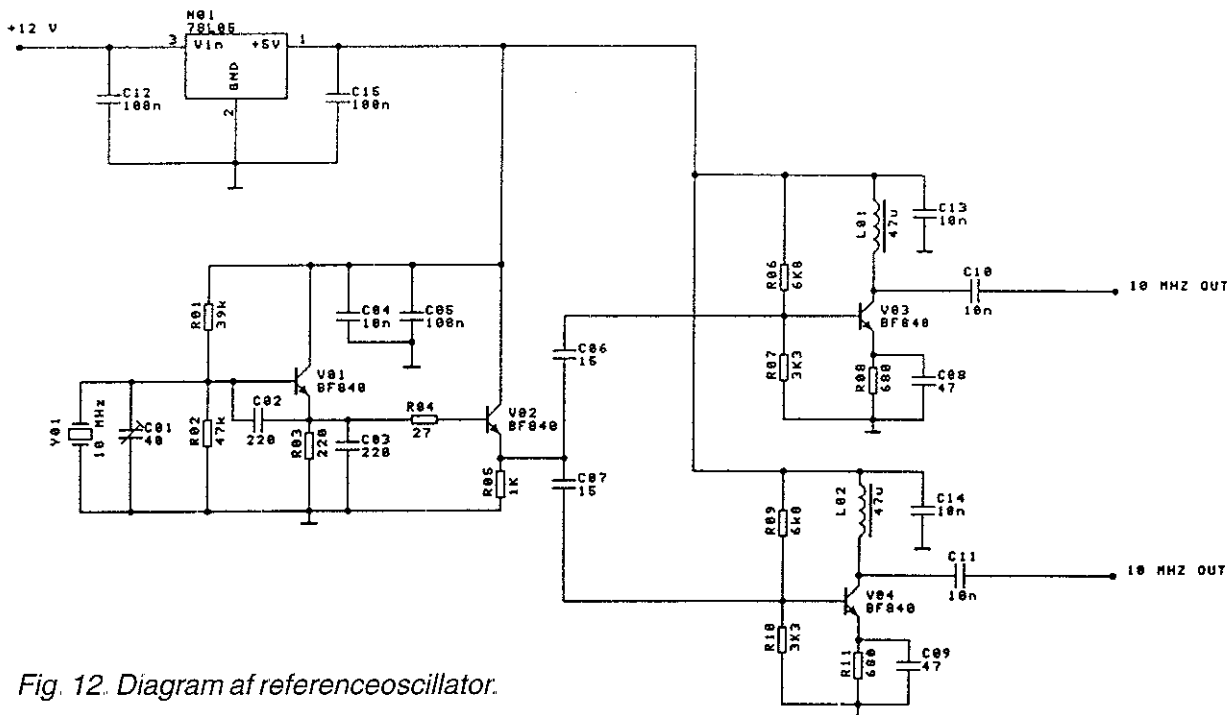


Fig. 12. Diagram af referenceoscillator.

ge spændinger er beregnet til både intern som extern brug, f.eks. til at strømforsyne et videokamera eller en mikrofon eller lignende; den maximale strøm er 1 A pr spænding. De skiftes ikke, når der skiftes fra sending til modtagning

DC-skiftet består af V01-V05 med tilhørende komponenter. Trækkes terminalen Key til stel, skifter +TX til at være spændingsførende og +RX til at være uden spænding. Maximal tilladelig strøm, der kan trækkes på hver af terminalerne +RX og +TX er 3 A.

17. Funktionsbeskrivelse af controller

Controlleren, fig 14, har til opgave at programmere synthesizerkredsene TBB 206 i h.h.v. exciter og modtager lokaloscillator.

Controlleren består af processoren D01 spændingsregulatoren N01 og demultiplexeren D02. Frekvensindstillingen foretages ved hjælp af ialt 4 BCD omskiftere, "fumlehjul"; to til sender og to til modtager.

På disse omskiftere indstilles de to bageste cifre i den ønskede sende- eller modtagefrekvens; ønsker

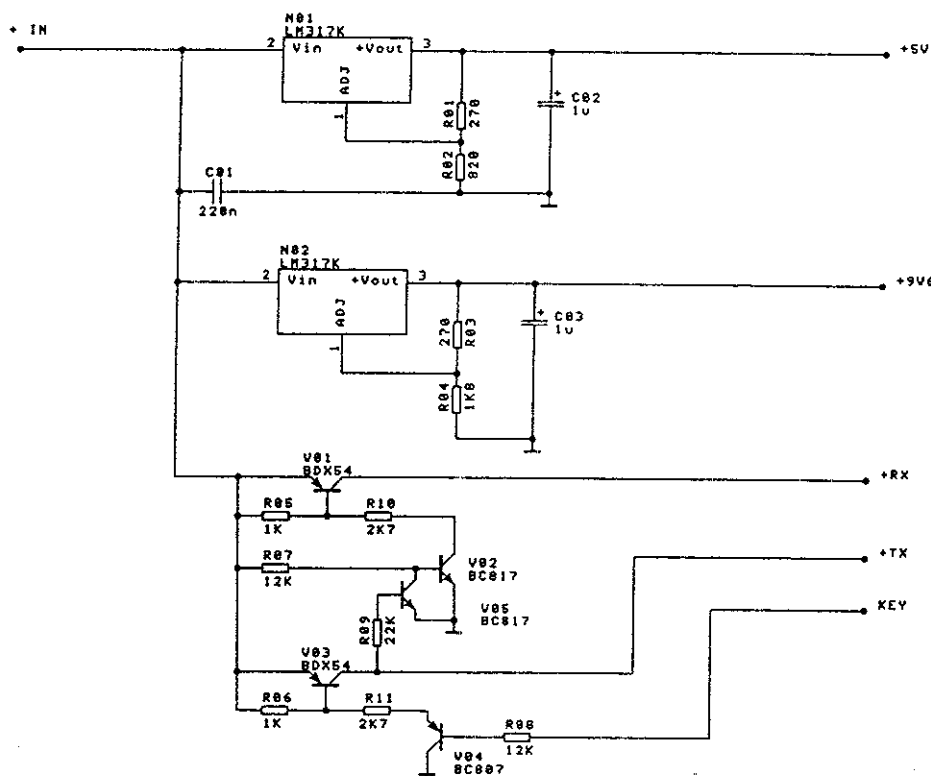


Fig. 13. Diagram af spændingsregulator og DC-skift.

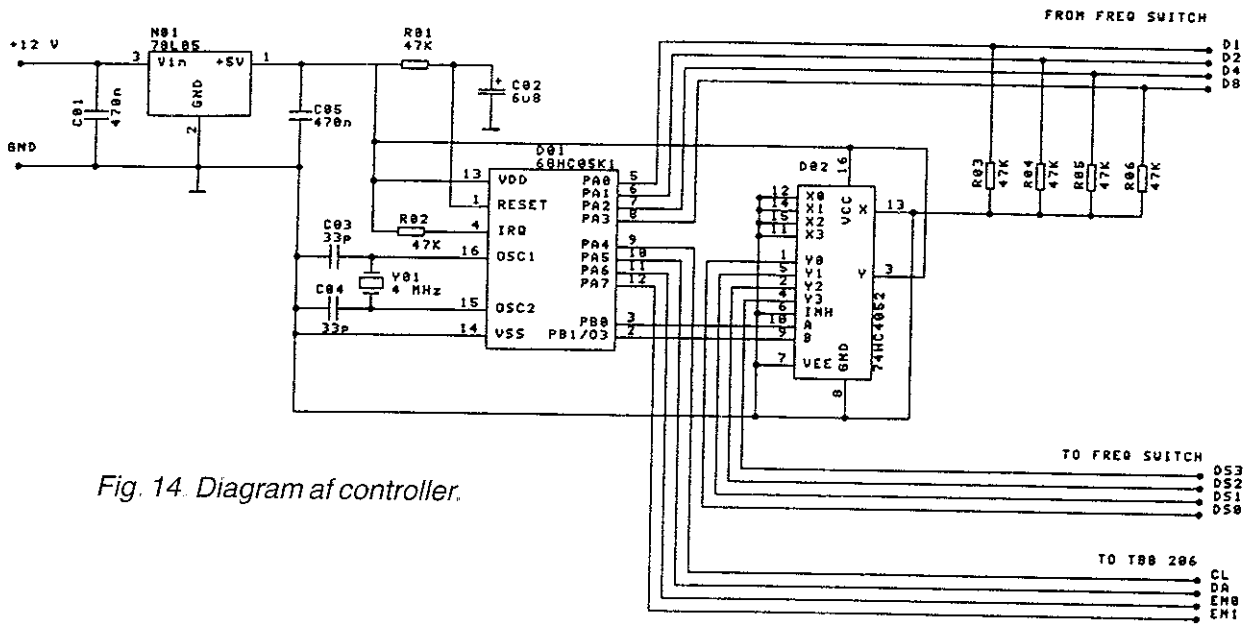


Fig. 14. Diagram af controller.

vi f. eks. at sende på 1280 MHz og modtage på 1269 MHz, indstiller vi altså senderens omskiftere til "80" og modtagerens til "69".

Indstilles omskifterne på tal under 40, svarende til sende- og modtagefrekvenser under 1240 MHz, vil softwaren i D01 detektere den fejlagtige indstilling, ignorere denne og tune hhv. sender eller modtager til 1280 MHz, altså midt i FM-ATV båndet.

De 4 omskiftere forbindes som vist på diagrammet fig. 15.

De sidste 4 ledninger, der udgår fra D01, er en klok og en data ledning, som er fælles for de to synthesizere og to enable ledninger, en til hver synthesizer.

fortsættes

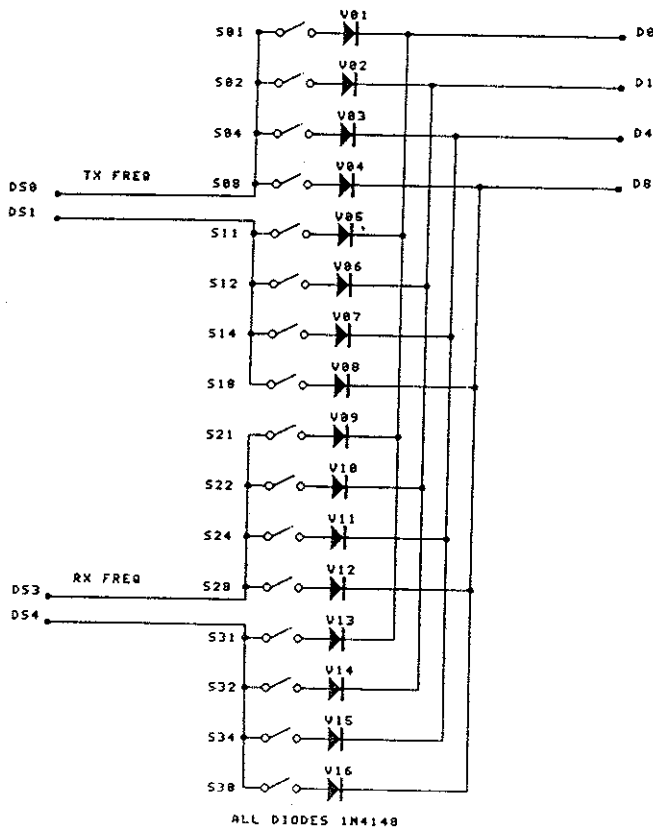


Fig. 15. Kabling af "fumlehjul".



CT 1600

Smart lille 2 m håndapparat i et lækket design, og med en 1. kl. sende/modtage effekt.

Fr.: 144-146 VHF

S. effekt: 0,5-3 W.

Sel.: 7,5kHz÷6dB

Spacing: 600kHz

Toneopk. 1750 Hz

Kr. 1.598,-

Åbent: Man-Torsdag 15 30-22 00

Fredag 14 00-22 00

Lørdag 10 00-16 00



WALKIESALG; SERVICE og REPARATIONER

Lyngvej 4, 2640 Hedehusene

Tlf.: 42 16 47 30