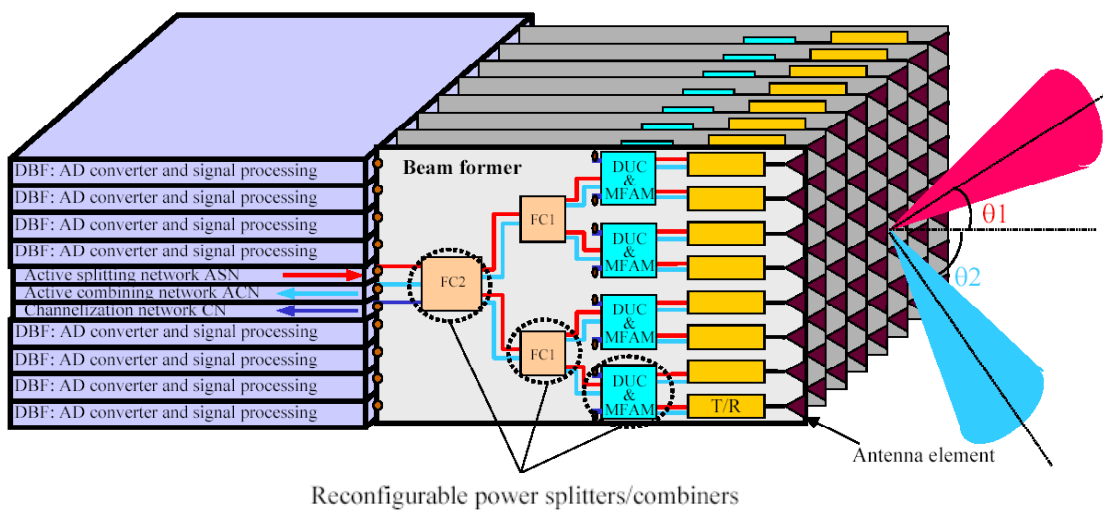


Mattias Alfredson, Carl Samuelsson, Tony Nilsson, Aziz Ouacha

## Bredbandiga rekonfigurerbara aktiva effektdelare/kombinerare för multifunktionssystem



TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Sensorteknik

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--0762--SE

Januari 2003

ISSN 1650-1942

**Vetenskaplig rapport**

Mattias Alfredson, Carl Samuelsson, Tony Nilsson, Aziz Ouacha

## Bredbandiga rekonfigurerbara aktiva effektdelare/kombinerare för multifunktionssystem



<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Sensorteknik Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0762--SE	<b>Klassificering</b> Vetenskaplig rapport
	<b>Forskningsområde</b> 0. Gemensam, forskningsnära verksamhet	
	<b>Månad, år</b> Januari 2003	<b>Projektnummer</b> I3507
	<b>Verksamhetsgren</b> 6. Internt finansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 002 Innovationsforskning	
<b>Författare/redaktör</b> Mattias Alfredson Carl Samuelsson Tony Nilsson Aziz Ouacha	<b>Projektledare</b> Mattias Alfredson	
	<b>Godkänd av</b>	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b>	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Bredbandiga rekonfigurerbara aktiva effektdelare/kombinerare för multifunktionssystem		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>Denna rapport beskriver arbetet som utförts inom ett projekt kallat REKON. Syftet är att studera en typ av analoga rekonfigurerbara kretsar. De kretsar som studerats inom REKON projektet är rekonfigurerbara bredbandiga aktiva effektdelare och effektkombinerare i MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) utförande för multifunktionsantennerna. Ett flertal framtida militära plattformar kommer i framtiden att vara försedda med ett kombinerat system för radar, kommunikation och telekrig (EW). Detta kan kallas ett multifunktionsantennsystem (MFA-system) med en gemensam uppsättning lobformande nätverk, sändar/mottagar-moduler och antenn. En lösning för ett gemensamt rekonfigurerbart lobformande nätverk erhålls genom en kombination av ett antal av de av oss föreslagna rekonfigurerbara effektdelarna/kombinerarna. Rekonfigurerbarhet behövs ej enbart i fördelningsnätet för lobformning utan även i effektförstärkarsteget närmast antennelementen. En rekonfigurerbar effektförstärkare ger då en möjlighet att reducera radarmålytan för avstängda delar av aperturen genom att rekonfigurera förstärkarsteget till en adaptiv terminering för antennelementet. Konceptet som har visat sig framgångsrikt i praktiken medför att vi tagit ett steg närmare visionen om multifunktionsantennerna som om de realiserats kommer att medföra såväl ökad funktionalitet som minskade totalkostnader och minskad radarmålarea för systemen. Forskningsresultaten kommer svensk försvarsindustri till nytta genom bl a samarbetsprojekt som MFA (MultiFunktionsAntenner) och ESGAS.</p>		
<b>Nyckelord</b> Rekonfigurerbar, bredbandig, MMIC, pHEMT, multifunktion, aktiv effektdelare, aktiv effektkombinerare		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN 1650-1942</b>	<b>Antal sidor:</b> 23 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Sensor Technology P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0762--SE	<b>Report type</b> Scientific report
	<b>Research area code</b> 0.	
	<b>Month year</b> January 2003	<b>Project no.</b> I3507
	<b>Customers code</b> 6.	
	<b>Sub area code</b> 002.	
<b>Author/s (editor/s)</b> Mattias Alfredson Carl Samuelsson Tony Nilsson Aziz Ouacha	<b>Project manager</b> Mattias Alfredson	
	<b>Approved by</b>	
	<b>Sponsoring agency</b>	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Broadband reconfigurable active power splitters/combiners for multifunction systems		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>This report describes the work performed within a project named REKON. The purpose is to study one type of analog reconfigurable circuits. The circuits considered in REKON are reconfigurable broadband active power splitters and power combiners in MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) technology intended for multifunction antennas. A number of future military platforms will be composed of a combined system for radar, communication and electronic warfare (EW). This can be called a multifunction array antenna system (MFA-system) with a common set of beamforming circuitry, transmit/receive modules and antenna aperture. A solution for a common reconfigurable beamforming network can be achieved by a combination of a number of the proposed reconfigurable powersplitters/combiners. Reconfigurability is not only needed in the feed network of a beamformer but also in the power amplifier stage close to the antenna aperture. A reconfigurable power amplifier then allows for the possibility of reducing the radar cross section (RCS) for parts of the antenna aperture that is switched off. This is achieved by reconfiguring the amplifier stage into an adaptive termination for the antenna element. The concept, which has proven to be successful in practice leads to the conclusion that we have taken one step further towards the vision of multifunction antennas which, if they are realised, will give both increased functionality and reduced total cost as well as decreased radar cross section for the systems. The research results will be of use to swedish defence industry through joint projects like MFA (MultiFunction Antennas) and ESGAS.</p>		
<b>Keywords</b> Reconfigurable, broadband, MMIC, pHEMT, multifunction, active power splitter, active power combiner		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN 1650-1942</b>	<b>Pages</b> 23 p.	
<b>Price acc. to pricelist</b>		

## Innehållsförteckning

Innehållsförteckning .....	5
1. Inledning .....	7
2. Beskrivning av gemensamt RF front-end system .....	8
3. Bredbandig rekonfigurerbar aktiv effektdelare .....	10
3.1 Beskrivning .....	10
3.2 Kretsschema .....	11
3.3 Simuleringsresultat .....	12
3.4 Realisering .....	14
4. Bredbandig rekonfigurerbar aktiv effektkombinerare .....	15
4.1 Beskrivning .....	15
4.2 Kretsschema .....	16
4.3 Simuleringsresultat .....	17
4.4 Realisering .....	19
5. Simulering av systemprestanda .....	20
6. Sammanfattning .....	22
7. Referenser .....	23



## 1. Inledning

Denna rapport beskriver arbetet som utförts inom ett projekt kallat REKON finansierat av FOI innovationsråd med syfte att studera en typ av analoga rekonfigurerbara kretsar. De kretsar som studerats inom REKON projektet är rekonfigurerbara bredbandiga aktiva effektdelare och effektkombinerare i MMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuits) utförande för multifunktionsantennerna. Konceptet med denna typ av rekonfigurerbara kretsar kan medföra såväl ökad funktionalitet hos gruppantennerna som minskade totalkostnader och minskad radarmålarea för systemen de används i.

Målsättning med projektet kan sammanfattas i följande punkter.

- Att studera rekonfigurerbara bredbandiga aktiva effektdelare och effektkombinerare i MMIC utförande som enskilda kretsar och som byggstenar i ett gruppantennsystems lobformningsnät.
- Att genom eget arbete och utbyte/samverkan med andra projekt inom bredbandteknik bygga upp en ökad nationell kompetens inom strategiska nyckelområden som bredbandiga aktiva gruppantennerna och multifunktionella MMIC.

Ett flertal framtida militära plattformar kommer i framtiden att vara försedda med ett kombinerat system för radar, kommunikation och telekrig (EW). Detta kan kallas ett multifunktionsantennsystem (MFA-system) med en gemensam uppsättning lobformande nätverk, sändar/mottagar-moduler och antenn. En lösning för ett gemensamt rekonfigurerbart lobformande nätverk erhålls genom en kombination av ett antal av de av oss föreslagna rekonfigurerbara effektdelarna/kombinerarna. Rekonfigurerbarhet behövs ej enbart i fördelningsnätet för lobformning utan även i effektförstärkarsteget närmast antennelementet. En rekonfigurerbar effektförstärkare ger då en möjlighet att reducera radarmållytan för avstängda delar av aperturen genom att rekonfigurera förstärkarsteget till en adaptiv terminering för antennelementet. Konceptet som har visat sig framgångsrikt i praktiken medför att vi tagit ett steg närmare visionen om multifunktionsantennerna som om de realiserats kommer att medföra såväl ökad funktionalitet som minskade totalkostnader och minskad radarmålarea för systemen. Forskningsresultaten kommer svensk försvarsindustri till nytta genom bl a samarbetsprojekt som MFA (MultiFunktionsAntennerna) och ESGAS.

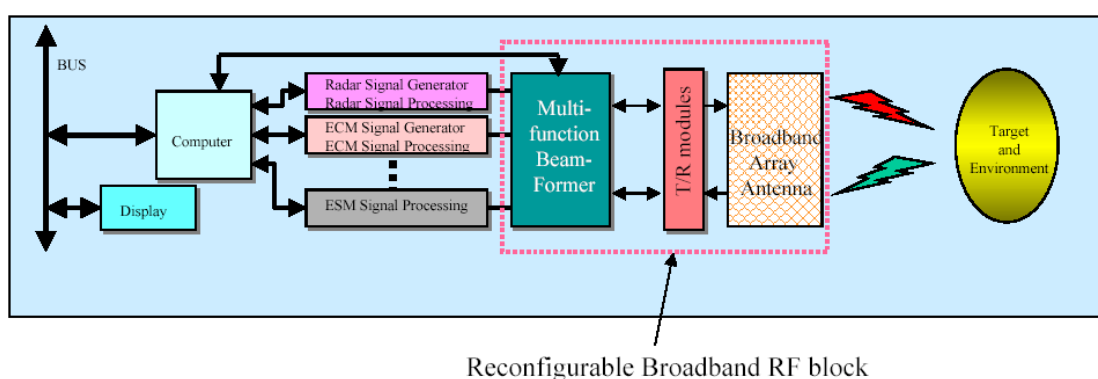
Användningen av aktiva MMIC-effektdelare i ett analogt fördelningsnät möjliggör god isolation mellan kanalerna i kombination med förstärkning i fördelningsnätet. Med aktiva distribuerade effektdelare uppnås även god bredbandighet med en liten åtgång av kretsytan. Förstärkning i fördelningsnätet minskar samtidigt kraven på förstärkning efteråt och därigenom underlättas även dynamik- och linjäritetsegenskaperna för ett helt system, sändare.



## 2. Beskrivning av gemensamt RF front-end system

Det exempel på ett MFA-system som beskrivs i detta kapitel har även legat till grund för studier i angränsande projekt som MFA och ESGAS. Dessa studier omfattar såväl framtagning av hårdvara som modellering/simulering av systemfunktioner och studier av systemarkitekturer. Nedan följer en beskrivning av ett MFA-system.

Ett MFA-system kan vara ett bredbandigt (momentant och flerbands) aktivt fasstyrt gruppantennsystem där en gemensam RF front-end används för att hantera speciella funktioner associerade med radar, telekrig (EW) och kommunikation. Systemets antenn-apertur kan vara av typen delad apertur eller vara sammansatt av ett antal sub-aperturer optimerade för ett specifikt frekvensband eller systemfunktion. Fig. 1 visar ett schematiskt diagram över ett multifunktionsanpassat aktivt fasstyrt gruppantennsystem.



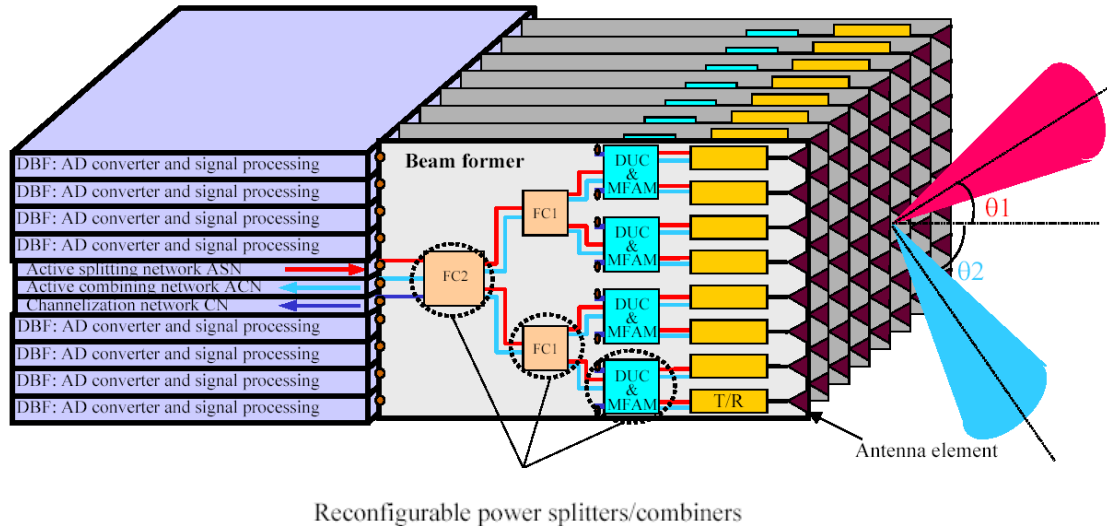
**Figur 1** Schematiskt diagram över multifunktionsanpassat gruppantennsystem. I bilden är den gemensamma RF front-end delen inringad.

Jämfört med traditionella lösningar där funktionerna radar, EW och kommunikation ofta realiseras med separata RF front-end så kan ett multifunktionssystem baserat på en gemensam RF front-end medföra avsevärda förbättringar av egenskaper som storlek, pris och radarmålyta. Några tillämpningar där multifunktionssystem kan ha fördelar är:

- I plattformar med begränsat utrymme och effektåtgång, exempelvis UAV.
- Problemet med interoperabilitet i internationella insatser.

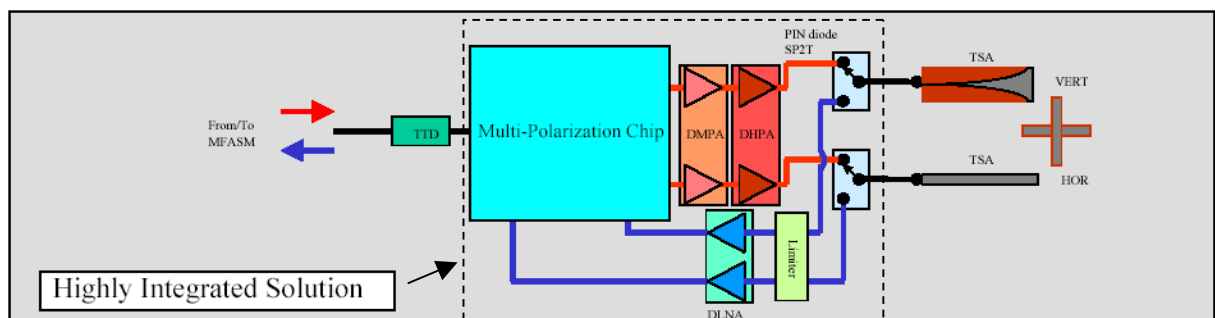
Nedan följer ett exempel på ett bredbandigt gemensamt RF front-end system koncept avsett för multifunktionella gruppantennsystem, se fig. 2. Nyckelkomponenter i denna arkitektur är blocken FC1 och FC2 (aktiva rekonfigurerbara effektdelare/kombinerare), DUC&MFAM (down/up conversion & multifunktions aktiv matris) samt T/R-moduler. Där FC1/FC2 samt DUC&MFAM utgör lobformaren. Radarfunktioner kräver ofta tillgång till digital lobformningsteknik samtidigt som telekrig (EW) och kommunikation kan utföras med analog lobformningsteknik. Detta leder till behovet av en lobformare som kan klara båda teknikerna. Blocket DUC&MFAM är avsett att hantera denna uppdelning samt upp och nedblandning av signalen, DUC-delen (down/up conversion). Olika systemfunktioner har även olika krav på lobform, vilket leder till behovet av en flexibel och rekonfigurerbar lobformare. Detta hanteras av blocken FC1 och FC2, och är det som studerats i denna rapport. Användandet av en stor systembandbredd leder

även till behovet av tidsskiftare för att eliminera effekterna av pulsbreddning och fel i lobriktningen som uppstår när fasskiftare används. Dessa ingår i T/R-modulerna. Med användandet av MMIC samt 3D-MMIC teknik kommer en hög integrationsgrad vara möjlig vilket resulterar i en väldigt kompakt lobformare.



**Figur 2** Konceptet Chameleon: Bredbandigt gemensamt RF front-end system för multifunktionsgruppanter.

I fig. 3 visas en lösning för T/R-modulerna i detta koncept. Den är sammansatt av ett antal delkomponenter: Ett multipolarisationsblock för att erhålla den polarisation som krävs för olika systemfunktioner, en dubbel mediumeffekts drivförstärkare med variabel förstärkning (DMPA), en dubbel rekonfigurerbar högeffektsförstärkare (DHPA) samt en dubbel lågbrusförstärkare (DLNA) för mottagarkanalen. För att växla mellan mottagnings och sändningsmod används single pole-double throw switchar (SP2T). Dessa är i sin tur anslutna till antennelementen TSA. Dessa är också nödvändigt för att skydda mottagarkanalerna från antingen egna eller fientliga högeffektssignaler.



**Figur 3** Blockdiagram som visar en högintegrerad bredbandig TR-modul.

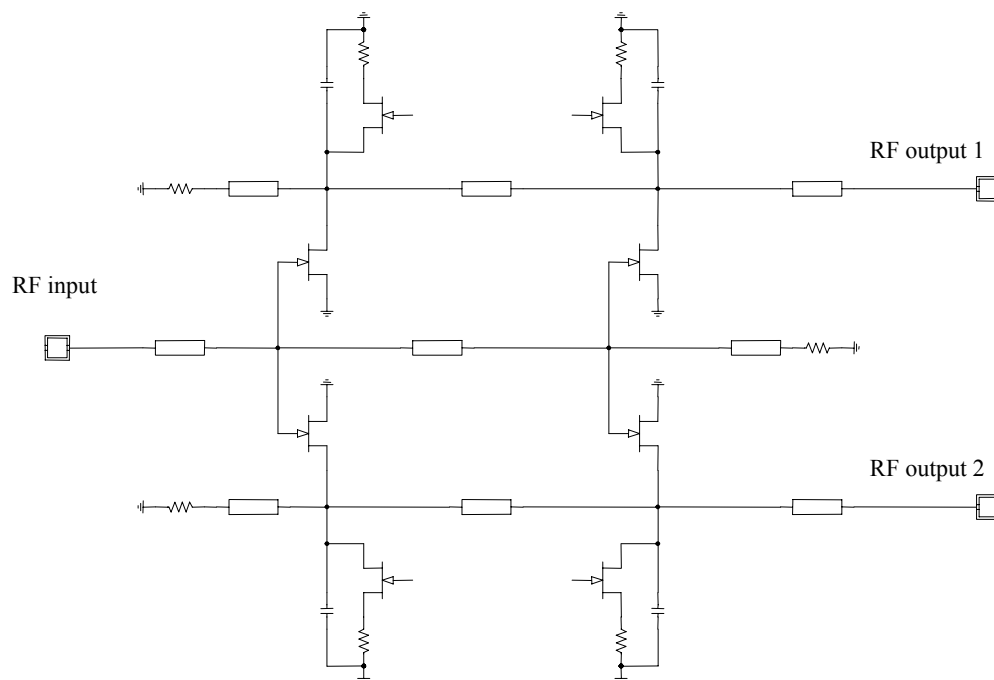
### 3. Bredbandig rekonfigurerbar aktiv effektdelare

#### 3.1 Beskrivning

Denna konstruktion är baserad på den tidigare konstruktionen ”Bredbandig aktiv effektdelare”. Grundkonceptet för effektdelaren är två distribuerade förstärkare med en gemensam ingång och två separata utgångar. Ingångarna till förstärkarna är kopplade till en gemensam transmissionsledning som kallas gateline. Utgångarna från förstärkarna är i sin tur kopplade till varsin transmissionsledning, drainlines. För att få bra anpassning är transmissionsledningarna terminerade. Varje kanal är uppbyggd av två förstärkarsteg.

Avsikten med förändringarna i denna konstruktion är att kunna styra hur effekten på ingången kopplas till de båda utgångarna. Den rekonfigurerbara effektdelaren har fyra olika tillstånd; båda kanalerna påslagna, båda kanalerna avstängda samt en kanal påslagen och en kanal avstängd och vice versa.

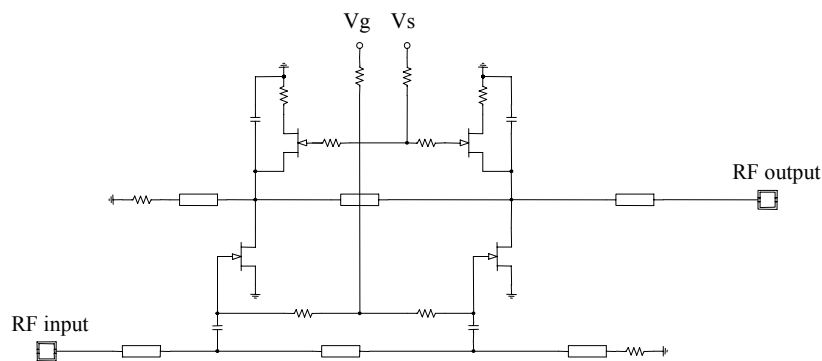
I den tidigare konstruktionen sitter det kapacitanser där det nu sitter anpassningsnät. Kapacitanserna bidrar till att ge högre förstärkning, något som är önskvärt även i denna konstruktion när kanalerna är påslagna. När kanalerna är avstängda dämpar anpassningsnäten rf-effekt från ingången och medverkar till att förbättra utgångsanpassningen. I fig. 4 visas en översiktlig bild av effektdelaren.



**Figur 4** Blockschema över den rekonfigurerbara effektdelaren.

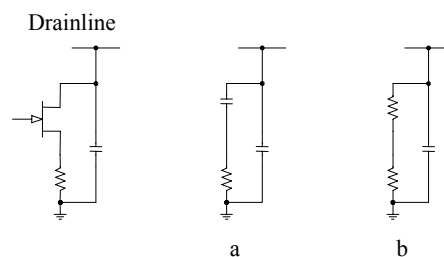
### 3.2 Kretsschema

Den programvara som använts vid konstruktionen är Libra från HP-EESOF. Komponentmodellerna kommer från OMMIC, tidigare Philips Microwave Limeil, och deras process ED02AH. Liksom i den tidigare konstruktionen har varje kanal två förstärkarsteg. Förstärkartransistorerna är 30 $\mu$ m breda och har 4 gatefingrar. Transistorerna i anpassningsnäten, switch-transistorerna, är 15 $\mu$ m breda och 4 gatefingrar. Då de endast fungerar som switchar är deras linjära område inte lika viktigt. Dessutom har nya biaseringsnät till förstärkartransistorerna konstruerats. Tidigare hade båda kanalerna gemensam biasering genom gateline. Kanalerna måste även kunna styras oberoende av varandra och har därför fått separata biaseringsnät. För att undvika DC-koppling mellan förstärkartransistorerna och gateline i de båda kanalerna används kapacitanser på 0.5 pF. För att blockera RF-signaler i biaseringsnätet används resistanser på 2 k $\Omega$ . Även anpassningsnäten har separata nät för styrning av switch-transistorerna. I fig. 5 visas kretsschema över en kanal med biasering för både förstärkartransistorerna ( $V_g$ ) och switch-transistorerna ( $V_s$ ).



**Figur 5** Schema för en kanal, med biaseringsnät och anpassningsnät.

Anpassningsnäten är uppbyggda genom att kombinera en transistor med en resistans på 100  $\Omega$  och en kapacitans på 0.1 pF. När en switch-transistor är avstängd ( $V_s < V_t$ ) kan den användas som kapacitans, vilket är önskvärt då en kanal är påslagen. Den ekvivalenta kopplingen för anpassningsnätet kan ses i fig. 6a. När en kanal är avstängd arbetar anpassningsnätets switch-transistorer i det mättade området och kan ses som resistorer, fig. 6b. På så sätt erhålls bra egenskaper både vid påslagen och avstängd kanal.

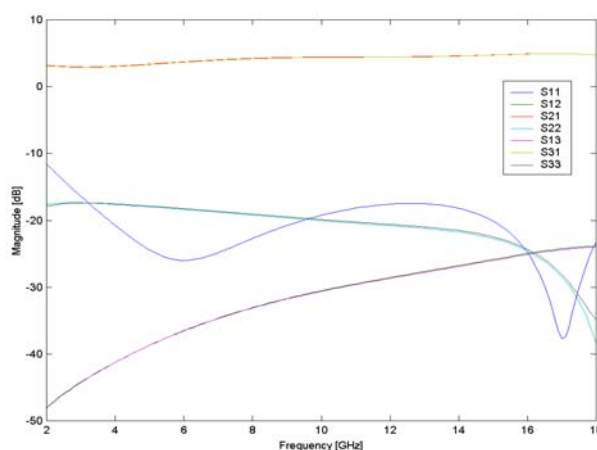


**Figur 6** Anpassningsnätets lägen, a då  $V_s < V_t$ , b då  $V_s > V_t$ .

### 3.3 Simuleringsresultat

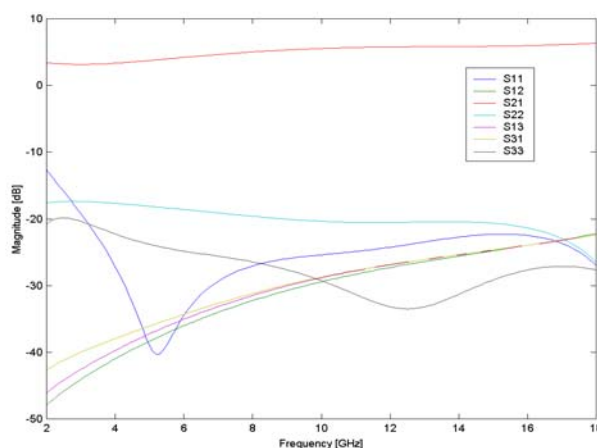
Den rekonfigurerbara effektdelaren har simulerats linjärt för S-parametrar och brusegenskaper. Olinjärt har 1dB kompression och IP3 simulerats. Dessutom har sju effektdelare kopplats ihop till ett 1:8 fördelningsnät och S-parametrarna simulerats.

När båda kanalerna är påslagna, se fig. 7, är transmissionerna S21 och S31 ca 2.5-5 dB över bandet 2-18 GHz. Utgångsanpassningarna S22 och S33 är under -15 dB. Ingångsanpassningen S11 är något sämre. Bakåttransmissionerna S12 och S13 är under -20 för hela bandet. Detta kan jämföras med den tidigare konstruktionen av effektdelaren, då liknande värden erhöles.



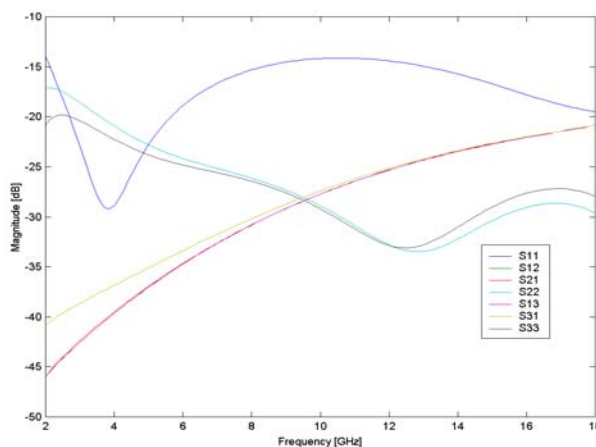
**Figur 7** S-parametrar för kretsen då båda kanalerna är påslagna.

Då en kanal är avstängd och en kanal påslagen, se fig. 8, ökar förstärkningen i den påslagna kanalen med ca 1 dB jämfört med när båda kanalerna är påslagna. Den avstängda kanalen undertrycks till ca -20 dB över hela bandet. Utgångsanpassningen för den avstängda porten är ca -20 dB för större delen av bandet. Även anpassningen på ingången förbättras.



**Figur 8** S-parametrar för kretsen då en kanal är påslagen och en kanal avstängd.

Då båda kanalerna är avstängda, se fig. 9, undertrycks S21 och S31 till under  $-20$  dB för hela bandet. Ingångsanpassningen S11 är i stort sett som när båda kanalerna är påslagna, ca  $-15$  dB.

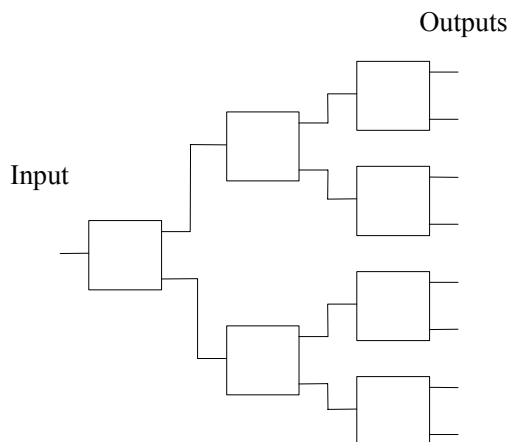


**Figur 9** S-parametrar för kretsen då båda kanalerna är avstängda.

Brusmoduleringen ger en noise figure på  $7.5$ - $4.5$  dB över bandet  $2$ - $18$  GHz då båda kanalerna är påslagna. Noise figure är något lägre med en kanal avstängd vilket troligen beror på ökad förstärkning i den påslagna kanalen.

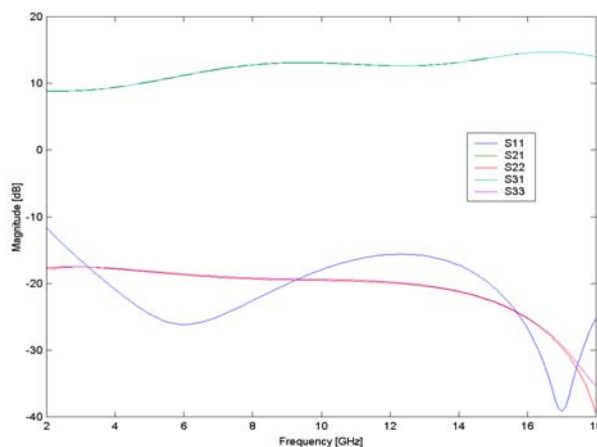
De olinjära simuleringarna visar på god linjäritet i kretsen.  $1$ dB kompression ligger över  $10$  dBm på ingången. IP3 på ingången är ca  $25$  dBm. De olinjära simuleringarna har utförts vid  $10$  GHz.

I  $1:8$  fördelningsnätet, se fig. 10, har några olika tillstånd simulerats. De tillstånd som valts är de som borde ge mest avvikelse från varandra på grund av osymmetri i kretsen och den ökade förstärkningen då en kanal är avstängd och en kanal påslagen.



**Figur 10** Blockschema över ett  $1:8$  fördelningsnät.

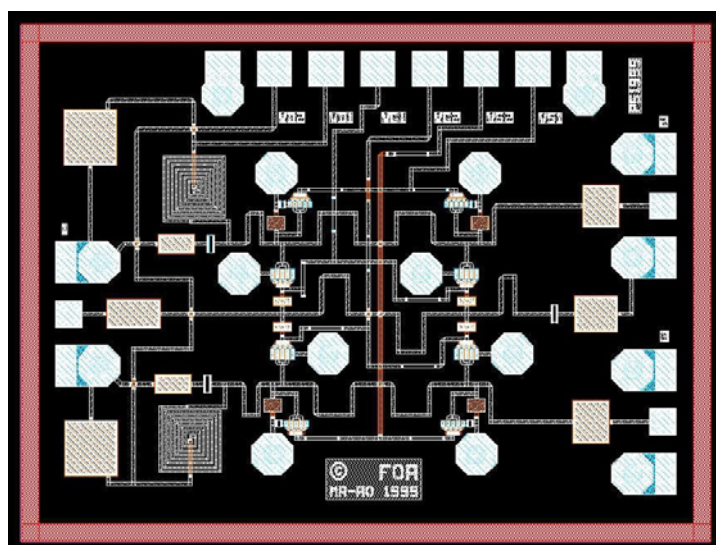
Eftersom förstärkningen i effektdelarna adderas, blir den totala förstärkningen i tre steg ca 10-15 dB. Den maximala skillnaden i förstärkning för en enskild påslagen kanal är ca 3 dB, beroende på vilka tillstånd de olika effektdelarna har. Maximal skillnad för två olika kanaler som är påslagna samtidigt är också ca 3 dB, se fig. 11.



Figur 11 S-parametrar för ett 1:8 fördelningsnät då alla kanaler är påslagna.

### 3.4 Realisering

I fig. 12 visas kretslayouten för effektdelaren. De stora synliga förändringarna jämfört med den ursprungliga layouten är de nya biaseringsnäten för switch-transistorerna och förstärkartransistorerna. Alla DC-anslutningar sitter på samma sida i kretsen. Det gör att ledningar korsar varandra vilket medför att kanalerna inte är helt symmetriska. Avvikelserna kan ses i simuleringsresultaten.



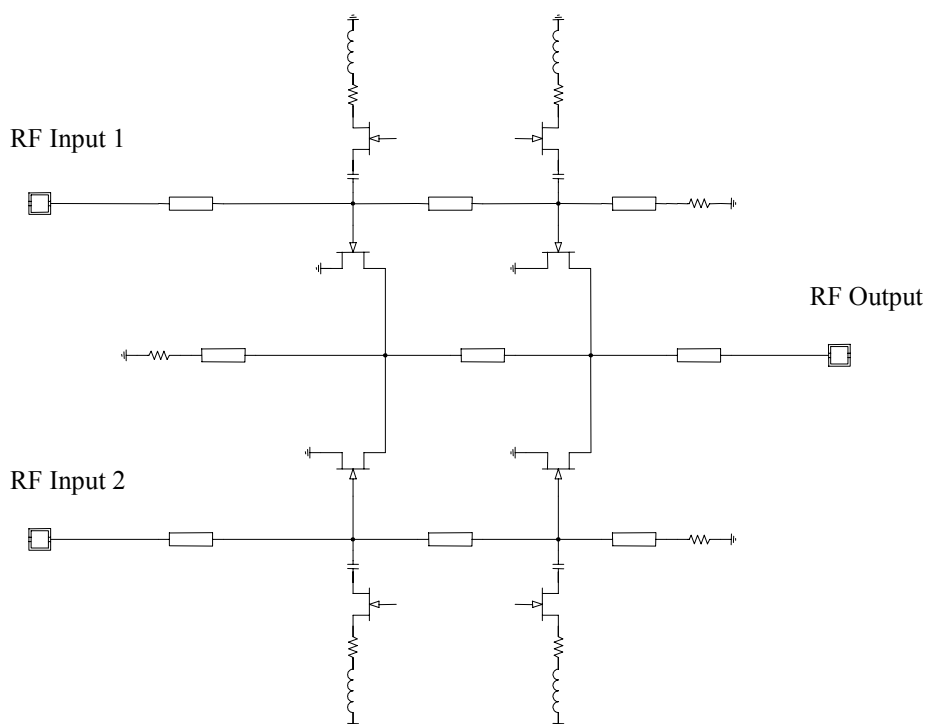
Figur 12 Kretslayout för den färdiga effektdelaren.

## 4. Bredbandig rekonfigurerbar aktiv effektkombinerare

En bredbandig rekonfigurerbar effektkombinerare är konstruerad. Det är tänkt att den ska användas i bredbandiga aktiva distributionsnät. Dessa nät är ofta en del av sändar- och mottagardelen av bl.a. radar och telekrigssystem. Kretsen kan konfigureras till fyra olika lägen.

### 4.1 Beskrivning

Effektkombinerarens konstruktion är i grunden baserad på distribuerade förstärkarteknik. Tidigare har en bredbandig aktiv effektkombinerare konstruerats med distribuerad förstärkarteknik i grunden, det är denna krets som nu har vidareutvecklats. Prestanda i den rekonfigurerbara effektkombineraren skulle vara lika bra som i föregångaren. Det vill säga, förstärkning på 3-6 dB; bandbredd på 2-18 GHz; god dämpning av reflektioner på portarna  $< -15$  dB; samt god isolation mellan ingångsportarna  $< -25$  dB, och goda brusegenskaper.



Figur 13 Principskiss av rekonfigurerbar aktiv effektkombinerare.

Kretsen har två ingångar och en utgång, se fig. 13. RF-insignalerna kommer in via två separata transmissionsledningar "gatelines" dessa är kopplade till styrena (gates) på förstärkartransistorerna. RF-signalen förstärks i två steg och leds till en gemensam utgång "drainline" som är kopplade till förstärkartransistorernas utgångar (drains). Två förstärkarsteg anses ge fullt tillräcklig förstärkning (3-6 dB). För att åstadkomma bra anpassning på portarna, finns det termineringsnät som är anslutna till ändarna på "drainline" respektive "gatelines". Till varje ingång (gateline) finns dessutom två anpassningsnät som i princip är kopplade till förstärkartransistorernas styren (gates), tidigare satt det kapacitanser här. Anpassningsnäten styrs av fyra switch-transistorer

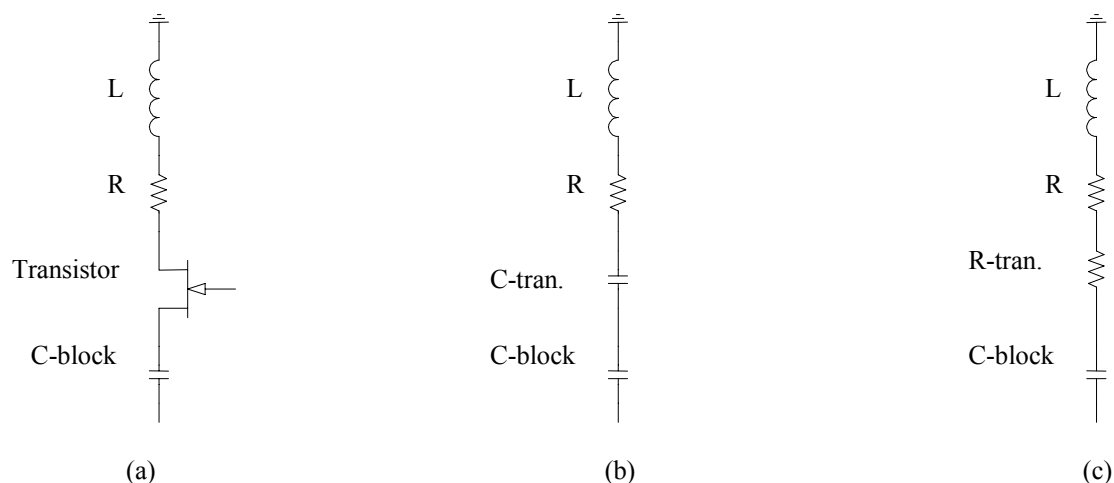


vilka aktiveras i av-läget för att ge bra anpassning i av-läget. Effektkombineraren kan konfigureras till fyra stycken olika lägen, genom att styra biaseringsspänningarna till förstärkartransistorerna styren (gates) och DC-spänningarna till switch-transistorernas styren (gates). De olika lägena som kan antas är: Båda kanalerna på, båda kanalerna avstängda, en kanal på och en kanal avstängd och vice versa. I de avstänga kanalerna ska ingen signal komma igenom, för att åstadkomma detta kopplas anpassningsnäten in och dämpar bort de oönskade RF-signalerna.

## 4.2 Kretsschema

Kretsen konstruerades med hjälp av Libra, ett kretskonstruktionsverktyg ifrån HP eesof. Processen som den är gjord i heter ED02AH, denna process och dess komponent-modeller kommer ifrån OMMIC. Det är samma process som den tidigare använts, därför valdes denna process även för den här kretsen.

För samtliga transistorer har storsignal-modeller använts. Förstärkartransistorerna har en bredd på  $32 \mu\text{m}$  och har fyra gate-fingrar, dessa transistorer klarar av större strömmar jämfört med den föregående kretsens förstärkartransistor som hade en bredd på  $22 \mu\text{m}$ . Samtliga switch-transistorer har en bredd på  $18 \mu\text{m}$  och har fyra gate-fingrar. I kretsen realiseras ledningar samt spolar med  $10 \mu\text{m}$  breda transmissionsledningarna. Termineringsnäten på ingångarna och utgången består av RC-nät, vidare består anpassningsnäten av en switch-transistor och ett RL-nät, samt en kapacitans placerad innan switch-transistorn, kapacitansen fungerar som DC-block, dvs den blockerar likspänningar. Nedan i fig. 14 ses det hur anpassningsnäten fungerar i de olika konfigurationerna. I fig. 14, del a, ses kretsschemat för anpassningsnätet. Fig. 14, del b, visar att kretsen är i på-läget, d.v.s. anpassningsnätet är avstängt med hjälp av switch-transistorn, när transistorn är avstängd kan den ses som en kondensator. I fig. 14, del c, är kretsen i av-läget d.v.s. anpassningsnäten är inkopplade, när transistorn är öppen kan den ses som en resistans.

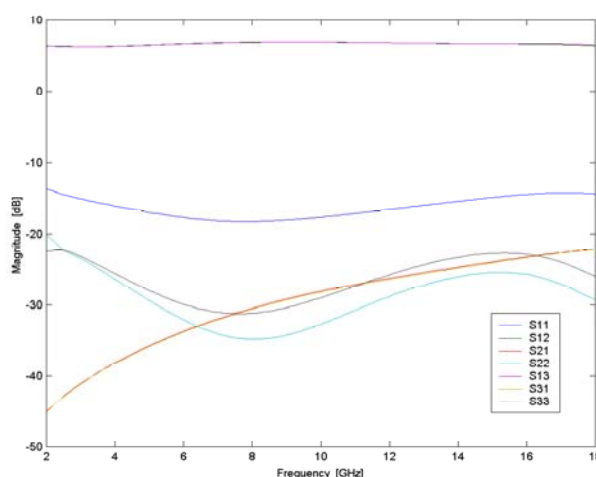


Figur 14 Kretsschema som visar anpassningsnätets olika lägen.

### 4.3 Simuleringsresultat

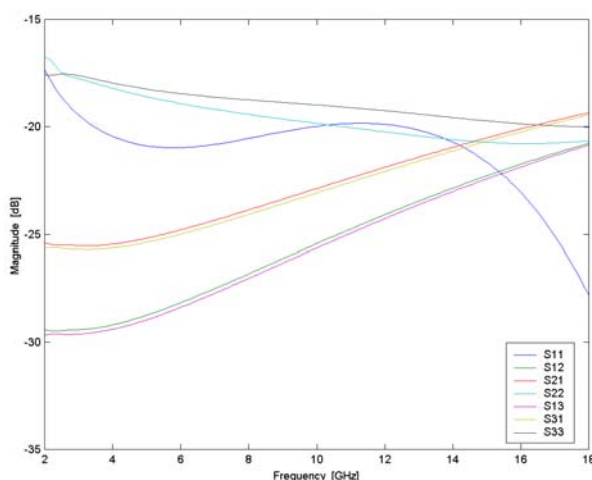
Nedan presenteras simuleringsdata från effektkombineraren. Simuleringarna har utförts i bandet 2-18 GHz. I fig. 15 till 17 visas simuleringsresultaten från de olika konfigurationerna.

Med båda kanalerna i på-läget, fås att transmissionerna, dvs.  $S_{12}$  och  $S_{13}$  ligger mellan 5-6 dB. Ingångsanpassningarna på portarna  $S_{22}$  och  $S_{33}$ , ligger under  $-17$  dB över hela bandet. För utgångsanpassningen  $S_{11}$  är anpassningen på porten ständigt under  $-12$  dB. Bakåttransmissionerna  $S_{21}$  och  $S_{31}$  och isolationerna  $S_{23}$  och  $S_{32}$  mellan kanalerna ligger under  $-19$  dB. S-parametrarna kan ses i fig. 15.



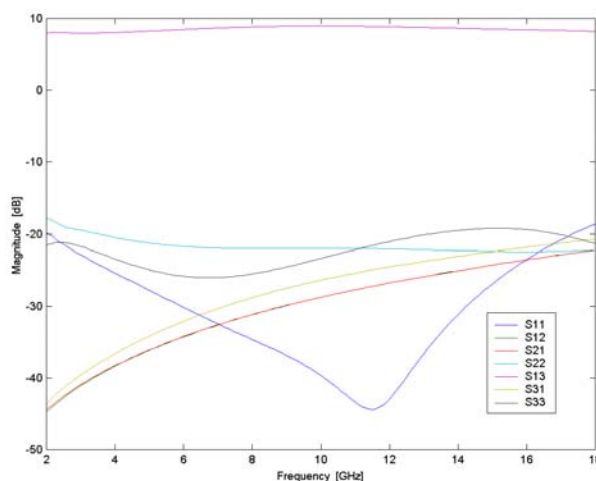
**Figur 15** Simulerade S-parameterdata från läget med båda kanalerna på.

När båda kanalerna ställs i av-läget får man att både framåt och bakåttransmissionerna ligger väl under  $-17$  dB. Anpassningen på samtliga portarna ligger under  $-15$  dB och isolationen ligger under  $-43$  dB för hela bandet. För en mer utförlig beskrivning se fig. 16.



**Figur 16** Simulerade S-parameterdata från läget med båda kanalerna avstängda.

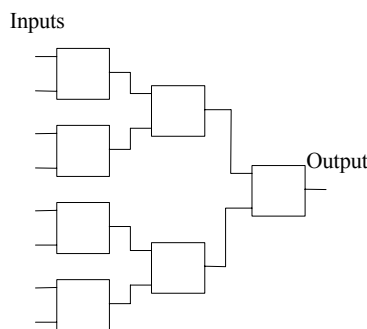
När man konfigurerar effektkombinerare till läget med en kanal i på-läget och en kanal i av-läget kan man observera att transmissionen i den kanal som är i på-läget blir 0,8 till 1,7 dB högre (total 6,8-7,7 dB) jämfört med transmissionen i fallet då båda kanalerna är på. Detta tros bero på att mer effekt tvingas att gå igenom den öppna kanalen när den andra är stängd. För övrigt ligger transmissionen på den avstängda kanalen och bakåttransmissionerna på båda kanalerna under  $-18$  dB. Anpassningen på samtliga portar är väl under  $-15$  dB. Isolationen är hög och ligger under  $-47$  dB för hela bandet (2-18 GHz). Resultatet kan ses i fig. 17.



**Figur 17** Simulerade S-parameterdata ifrån läget med en kanal på och den andra avstängd.

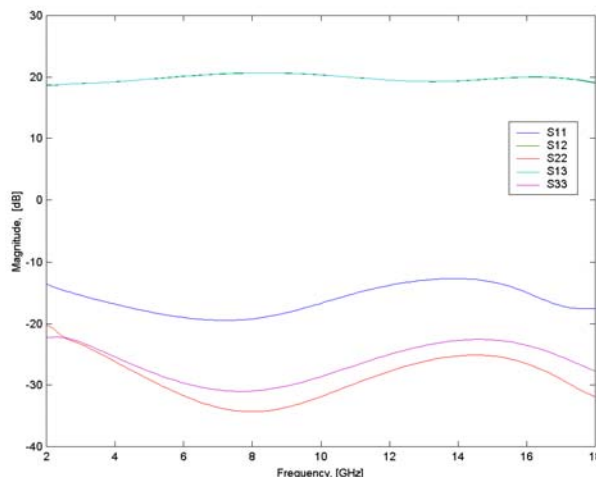
Utöver S-parametersimuleringar har även brusfaktorerna för båda kanalerna simulerats fram, de ligger under 8,2 dB för hela bandet, detta är något högt men beror på att förstärkningen är relativt låg. Vidare har det även gjorts simuleringar av effektkombineraren i en olinjär testbänk. Simuleringarna visar att  $IP3 = 20,2$  dBm på ingången och  $P_{1dB} = 8,2$  dBm, vilket tyder på god linjäritet i kretsen.

För att få reda på hur kretsen fungerar i ett analogt fördelningsnät, gjordes simuleringar i ett fördelningsnät med åtta ingångar och en utgång. Nätet har tre olika nivåer och kan anta en mängd olika lägen. Genom att stänga av och öppna vissa bestämda kanaler, simulerades sex signifikanta lägen. Av resultatet kan man dra slutsatsen att effektkombineraren fungerar väl i det flesta fall. Fördelningsnätets struktur kan ses i fig. 18.



**Figur 18** Blockschema av fördelningsnät i tre nivåer.

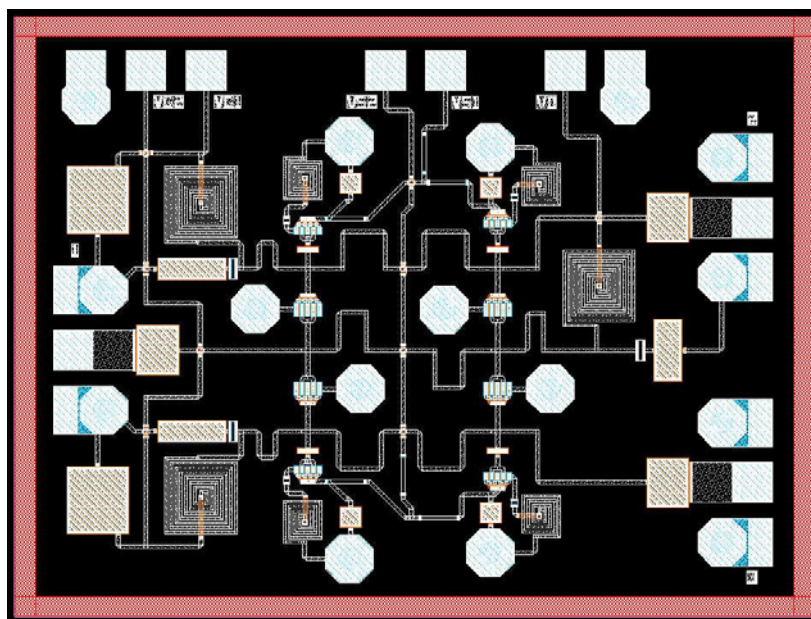
Den maximala skillnaden i förstärkning på en enskild kanal, mellan då fördelningsnätets samtliga kanaler är påslagna och när alla kanaler utom en är avstängda, uppgår till ca: 5 dB. Vidare är den största skillnaden i förstärkning mellan två kanaler i samma fördelningsnät ca: 4dB. I fig. 19 kan S-parametrarna för ett 8:1 fördelningsnät med samtliga kanaler på ses.



Figur 19 Simulerade S-parametrar ifrån ett 8:1 fördelningsnät med samtliga kanaler på.

#### 4.4 Realisering

Kretslayouten för effektkombineraren är baserad på layouten för den föregående kretsen. Anpassningsnäten har gjorts så symmetriska som möjligt, men på grund av kretstopologin har det inte varit möjligt att göra en helt symmetrisk krets, dels har biaseringsnäten (DC-matningen) och dels ledningarna för DC-spänningarna till switch-transistorerna satt begränsningar. Effekten av de kopplingar som kan uppstå när ledningar av olika lager korsar varandra beräknas var liten, eftersom det går DC-signaler i de korsande ledningarna och RF-blockar har lagts in, se fig. 20.



Figur 20 Layout av den rekonfigurerbara aktiva effektkombineraren.

## 5. Simulering av systemprestanda

För att ytterligare utvärdera och ge en bild av användbarheten hos de rekonfigurerbara effektdelarna/kombinerarna har några simuleringar av systemprestanda utförts. Detta när de används i ett fördelningsnät till en analog lobformare. I denna konfiguration medger rekonfigurerbarheten hos effektdelarna/kombinerarna att valda grenar och i sin tur antennelement kan stängas av och på utan att påverka andra grenar i alltför stor omfattning, se kap. 3.3 respektive 4.3. Denna funktion ger i sin tur möjligheten att använda olika stor del av antennen vid olika frekvenser, sk. frekvensberoende tapering. I en gruppantenn betyder detta att lobbredden kan bevaras när frekvensen ändras. I dessa simuleringar har simuleringsdata för ett 1-8 rekonfigurerbart fördelningsnät av effektdelare använts. Fallet med ett kombineringsnät utförs på liknande sätt och visas ej. Dessa har i sin tur kopplats samman med tidsskiftare för att möjliggöra bredbandig utstyrning. Vidare har ideal utstyrning antagits eftersom effekten av fördelningsnätet är det som studeras, dvs utstyrningen beskrivs av:

$$l_{tot} = m \cdot \Delta l_x + n \cdot \Delta l_y \quad (\text{Total längd})$$

$$\Delta l_x = d_x \cdot \sin \theta \cdot \cos \phi \quad (\text{längd } x\text{-led})$$

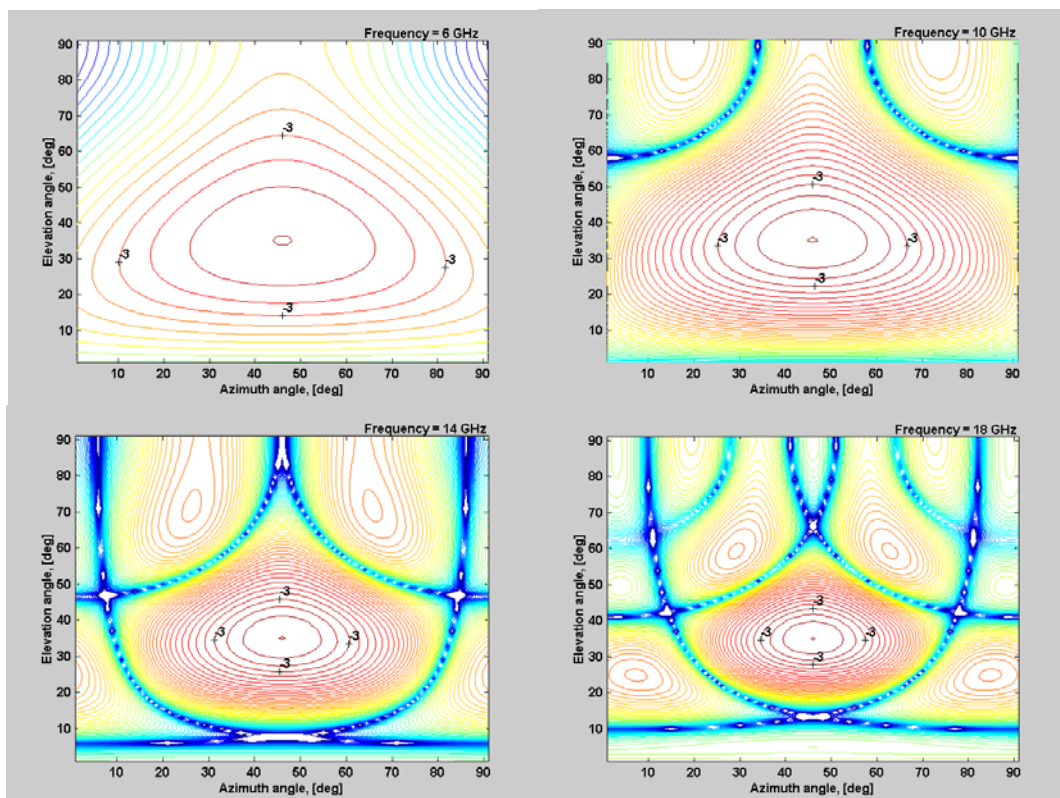
$$\Delta l_y = d_y \cdot \sin \theta \cdot \sin \phi \quad (\text{längd } y\text{-led})$$

$$\theta = \text{Elevationsvinkel}, \quad \phi = \text{Azimuthvinkel},$$

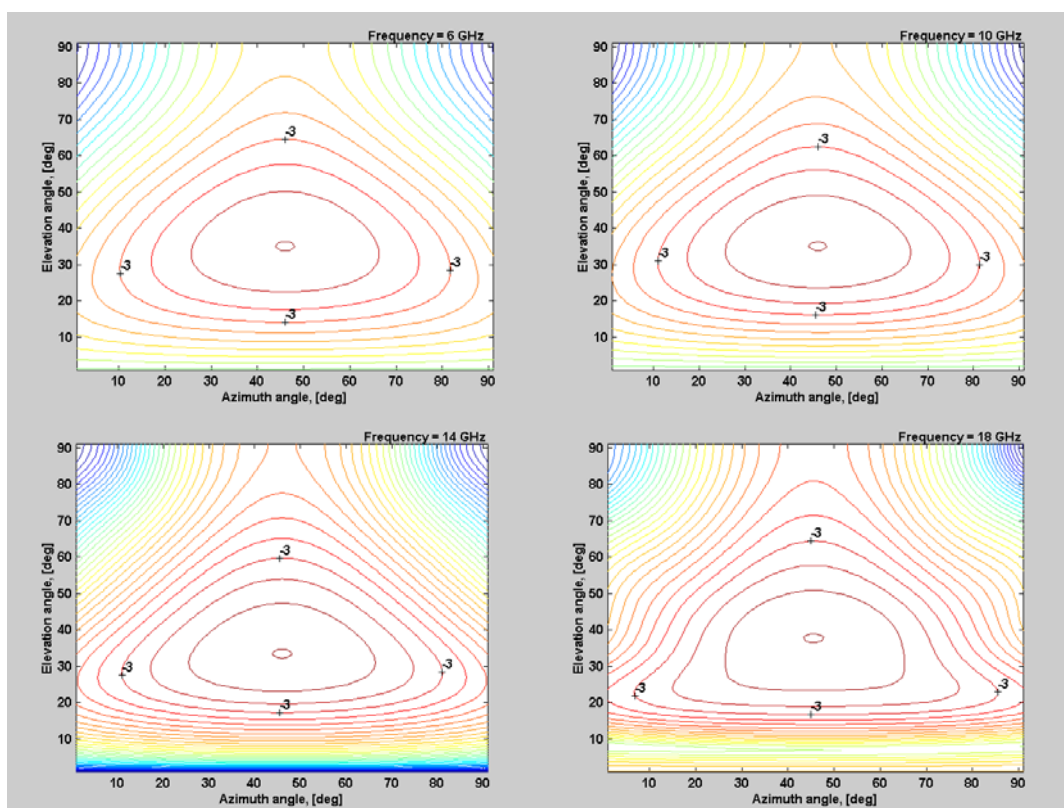
$$d_x = \text{elementavst. } x\text{-led}, \quad d_y = \text{elementavst. } y\text{-led},$$

$$m = \text{antal element } x, \quad n = \text{antal element } y$$

För en teoretisk tidsskiftare med 5 bitar blir maxutstyrningen i en 8x8 elements gruppantenn 34 grader i elevation vid en azimuthvinkel på 45 grader. Huvudloben vid denna utstyrning har studerats och kan ses i fig. 21 respektive fig 22. I fig. 21 har inte fördelningsnätet rekonfigurerats för att hantera minskningen av lobbredd vid högre frekvenser, hela fördelningsnätet har använts. Antennendiagrammet i fjärrfält visas och simuleringarna har skett vid 6, 10, 14 samt 18 GHz. Som kan ses är lobriktningen konstant men lobbredden blir smalare vid högre frekvens. I fig. 22 har sedan fördelningsnätet rekonfigurerats till olika antennstorlekar vid de olika frekvenserna. Storlekarna som användes var 8x8 vid 6 GHz, 6x6 vid 10 GHz, 5x5 vid 14 GHz samt 4x4 vid 18GHz. I denna bild ses tydligt att både lobriktningen och lobbredden har möjlighet att bevaras.



Figur 21 Lobbredd vid olika frekvenser när ett icke rekonfigurerbart fördelningsnät används.



Figur 22 Lobbredd vid olika frekvenser när ett rekonfigurerbart fördelningsnät används.

## 6. Sammanfattning

I detta arbete har rekonfigurerbara bredbandiga aktiva effektdelare och effektkombinerare i MMIC utförande studerats. Dels som enskilda kretsar och som byggstenar i ett gruppantennsystems lobformningsnät. Kretsarna har simulerats och visar på goda prestanda som aktiva bredbandiga effektdelare/kombinerare. Vidare har visats på rekonfigurerbarhet där en gren kan stängas av med god isolation och utan att i stor omfattning påverka den andra. Tillverkningsunderlag för dessa kretsar i MMIC-utförande har även framtagits. Systemsimuleringar har sedan utförts som visar på möjligheten att med dessa kretsar som byggblock sätta samman rekonfigurerbara lobformningsnät. Dessa lobformningsnät kan sedan utgöra en viktig del i framtida gruppantennsystem avsedda för multifunktionstillämpningar. Om dessa multifunktionsantennrealiseras kommer det att kunna medföra såväl ökad funktionalitet som exempelvis minskade totalkostnader och minskad radarmålarea för systemen.

## 7. Referenser

- [1] M. Alfredson, A. Ouacha, R. Jonsson "Broadband bidirectional active MMIC power splitter and combiner for feed networks", Proc. of 2001 Asia-Pacific Microw. Conf., vol. 1, pp. 135-138, Dec. 2001.
- [2] A. Ouacha, "Rekonfigurerbar bredbandig aktiv effektdelare, dito effektkombinerare och dito dubbelriktad effektdelare/effektkombinerare samt kretsar uppbyggda av dessa", Svenskt patent nr: 4242-4.
- [3] J. B. Beyer, S. N. Prasad, R. C. Becker, J. E. Nordman and G. K. Hohenwarter, "MESFET Distributed Amplifier Design Guidelines", IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-32.