

En faslåst slingas FM-demodulations- egenskaper vid dynamisk kanalbredd

Christoffer Tverin

Christoffer Tverin

Examensarbete

Elektroteknik

2010

EXAMENSARBETE																																																													
Arcada																																																													
Utbildningsprogram:	Elektroteknik																																																												
Identifikationsnummer:	3067																																																												
Författare:	Christoffer Tverin																																																												
Arbetets namn:	En faslåst slingas FM-demodulationsegenskaper vid dynamisk kanalbredd																																																												
Handledare:	Rene Herrmann																																																												
Uppdragsgivare:	Rene Herrmann																																																												
<p>Sammandrag:</p> <p>I detta arbete går jag igenom hur bandbredden och kanalen kan väljas med hjälp av en faslåst slinga. En faslåst slinga är en krets som genererar en signal med samma frekvens som insignalen så länge frekvensen ligger innanför bandbredden. Som utsignal får man en likspänning, varje frekvens motsvarar en viss spänningsnivå. Möjligheten att ställa in bandbredden är av intresse, för detta bestämmer hur snabbt information överförs. Breddare bandbredd ger inte alltid en snabbare hastighet utan man måste reglera bandbredden så att den också är felfri för att hastigheten skall vara hög. Jag använder mig av integrerade kretsen CD4046BCN som är en faslåst slinga och testar hur man ställer in den för att få en signal demodulerad. Detta innebär att den signal man tar emot konverteras till en likspänning och spänningen varierar då frekvensen varierar.</p> <p>För att ställa in kanalen och bandbredden använder jag mig av på för hand bestämda komponentvärden så att bandbredden är hela tiden känd. Att ändra bandbredden steglöst är inte att rekommenderas för då vet man inte exakt vilken bandbredd man har. Sändaren och mottagaren skall hela tiden ha samma bandbredd för att hastigheten skall vara hög och brusnivån låg.</p>																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">Vdd [Volt] = 10</th> <th colspan="4">Lågpassfilter</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Δf [kHz]</th> <th>f_{min} [kHz]</th> <th>f_{max} [kHz]</th> <th>R1 [kohm]</th> <th>R2 [kohm]</th> <th>C1 [pF]</th> <th>RS [kohm]</th> <th>R3 [kohm]</th> <th>C2 [pF]</th> <th>R4 [kohm]</th> <th>C3 [nF]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta f 1$</td> <td>60</td> <td>90</td> <td>150</td> <td>100</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> <tr> <td>$\Delta f 2$</td> <td>210</td> <td>90</td> <td>300</td> <td>27</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> <tr> <td>$\Delta f 3$</td> <td>370</td> <td>90</td> <td>460</td> <td>12</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table>		Vdd [Volt] = 10								Lågpassfilter					Δf [kHz]	f_{min} [kHz]	f_{max} [kHz]	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	RS [kohm]	R3 [kohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]	$\Delta f 1$	60	90	150	100	120	260	56	0,5	270	3,24	786	$\Delta f 2$	210	90	300	27	120	260	56	0,5	270	3,24	786	$\Delta f 3$	370	90	460	12	120	260	56	0,5	270	3,24	786
Vdd [Volt] = 10								Lågpassfilter																																																					
	Δf [kHz]	f_{min} [kHz]	f_{max} [kHz]	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	RS [kohm]	R3 [kohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]																																																		
$\Delta f 1$	60	90	150	100	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
$\Delta f 2$	210	90	300	27	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
$\Delta f 3$	370	90	460	12	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
<p><i>Tabell 1. Komponentvärden för dynamisk kanalbandbredd för en kanal.</i></p>																																																													
Nyckelord:	PLL, FM demodulation, Superheterodyn, filter, bandbredd.																																																												
Sidantal:	40																																																												
Språk:	Svenska																																																												
Datum för godkännande:																																																													

DEGREE THESIS																																																													
Arcada																																																													
Degree Programme:	Elektroteknik																																																												
Identification number:	3067																																																												
Author:	Christoffer Tverin																																																												
Title:	En faslåst slingas FM-demodulationsegenskaper vid dynamisk kanalbredd																																																												
Supervisor:	Rene Herrmann																																																												
Commissioned by:	Rene Herrmann																																																												
<p>Abstract:</p> <p>In this thesis I am going to explain why a dynamic bandwidth is interesting and how it is regulated with a phase locked loop. Phase locked loop is a circuit that generates a signal with the same frequency as the in signal as long as the frequency is inside the bandwidth. At the output we get a direct voltage, each frequency represents a specific voltage level. Possibility to change the bandwidth of interest because it determines the transfer rate. A wider bandwidth doesn't always give a higher transfer rate. The bandwidth must also be selected so that the noise level is low, this will give the highest transfer rate. I use the phase locked loop CD4046BCN and test how it's configured to get a signal demodulated. Demodulation means that the input frequency is converted to a direct voltage and it varies according to the frequency. To select the bandwidth I use components that are beforehand selected so that the bandwidth is known. To select components freely is not advice, because then the bandwidth is unknown. The bandwidth should be the same for the transmitter and receiver, so that the transfer rate is high and noise level is low.</p>																																																													
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">Vdd [Voltage] = 10</th> <th colspan="4">Low-pass filter</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Δf [kHz]</th> <th>fmin, [kHz]</th> <th>fmax [kHz]</th> <th>R1 [kohm]</th> <th>R2 [kohm]</th> <th>C1 [pF]</th> <th>RS [kohm]</th> <th>R3 [kohm]</th> <th>C2 [pF]</th> <th>R4 [kohm]</th> <th>C3 [nF]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta f 1$</td> <td>60</td> <td>90</td> <td>150</td> <td>100</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> <tr> <td>$\Delta f 2$</td> <td>210</td> <td>90</td> <td>300</td> <td>27</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> <tr> <td>$\Delta f 3$</td> <td>370</td> <td>90</td> <td>460</td> <td>12</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table>		Vdd [Voltage] = 10								Low-pass filter					Δf [kHz]	fmin, [kHz]	fmax [kHz]	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	RS [kohm]	R3 [kohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]	$\Delta f 1$	60	90	150	100	120	260	56	0,5	270	3,24	786	$\Delta f 2$	210	90	300	27	120	260	56	0,5	270	3,24	786	$\Delta f 3$	370	90	460	12	120	260	56	0,5	270	3,24	786
Vdd [Voltage] = 10								Low-pass filter																																																					
	Δf [kHz]	fmin, [kHz]	fmax [kHz]	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	RS [kohm]	R3 [kohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]																																																		
$\Delta f 1$	60	90	150	100	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
$\Delta f 2$	210	90	300	27	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
$\Delta f 3$	370	90	460	12	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
<p>Table 2. Components for a channel with a dynamic bandwidth.</p>																																																													
Keywords:	PLL, FM demodulation, Superheterodyne, filter, bandwidth.																																																												
Number of pages:	40																																																												
Language:	Swedish																																																												
Date of acceptance:																																																													

OPINNÄYTE																																																													
Arcada																																																													
Koulutusohjelma:	Elektroteknik																																																												
Tunnistenumero:	3067																																																												
Tekijä:	Christoffer Tverin																																																												
Työn nimi:	En faslåst slingas FM-demodulationsegenskaper vid dynamisk kanalbredd																																																												
Työn ohjaaja:	Rene Herrmann																																																												
Toimeksiantaja:	Rene Herrmann																																																												
<p>Tiivistelmä:</p> <p>Tässä opinnäytteessä kerron miten kaistanleveys ja kanavan voi valita vaihelukittu silmukan avulla. Vaihelukittu silmukka on piiri joka generoi signaalin jolla on sama taajuus kun sisääntulosignaali, niin kauan kun taajuus on kaistanleveyden sisällä. Ulostulosta saadaan tasajännite, jokainen taajuus antaa tietyn jännitetason. Vaihtelevasta kaistanleveydestä on hyötyä koska se määrittää siirtonopeuden. Leveämpi kaistanleveys ei aina anna korkeamman siirtonopeuden. Kaistanleveys pitää valita niin että myös melutaso on alhainen niin että siirtonopeus olisi korkea. Käytän vaihelukittu silmukka CD4046BCN ja kokeilen miten piirin avulla voi vaihdella kaistanleveyttä ja demoduloida signaalin. Demodulointi tarkoittaa että signaali muunnetaan tasajännitteeksi ja se vaihtelee taajuuden mukaan. Piirin komponentit valitaan valmiiksi niin että kaistanleveys on aina tunnettu. Jos komponentit valittaisiin vapaasti kaistanleveys olisi tuntematon. Lähettimen ja vastaanottimen kaistanleveys pitää aina olla sama jotta siirtonopeus olisi korkea ja melutaso alhainen.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">Vdd [Jännite] = 10</th> <th colspan="4">Alipäästösuodin</th> </tr> <tr> <th></th> <th>Δf [kHz]</th> <th>fmin, [kHz]</th> <th>fmax [kHz]</th> <th>R1 [kohm]</th> <th>R2 [kohm]</th> <th>C1 [pF]</th> <th>RS [kohm]</th> <th>R3 [kohm]</th> <th>C2 [pF]</th> <th>R4 [kohm]</th> <th>C3 [nF]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$\Delta f 1$</td> <td>60</td> <td>90</td> <td>150</td> <td>100</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> <tr> <td>$\Delta f 2$</td> <td>210</td> <td>90</td> <td>300</td> <td>27</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> <tr> <td>$\Delta f 3$</td> <td>370</td> <td>90</td> <td>460</td> <td>12</td> <td>120</td> <td>260</td> <td>56</td> <td>0,5</td> <td>270</td> <td>3,24</td> <td>786</td> </tr> </tbody> </table> <p><i>Taulukko 3. Komponentit kanavan kaistanleveyden vaihtamiseksi.</i></p>		Vdd [Jännite] = 10								Alipäästösuodin					Δf [kHz]	fmin, [kHz]	fmax [kHz]	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	RS [kohm]	R3 [kohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]	$\Delta f 1$	60	90	150	100	120	260	56	0,5	270	3,24	786	$\Delta f 2$	210	90	300	27	120	260	56	0,5	270	3,24	786	$\Delta f 3$	370	90	460	12	120	260	56	0,5	270	3,24	786
Vdd [Jännite] = 10								Alipäästösuodin																																																					
	Δf [kHz]	fmin, [kHz]	fmax [kHz]	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	RS [kohm]	R3 [kohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]																																																		
$\Delta f 1$	60	90	150	100	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
$\Delta f 2$	210	90	300	27	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
$\Delta f 3$	370	90	460	12	120	260	56	0,5	270	3,24	786																																																		
Avainsanat:	PLL, FM demodulointi, Superheterodyn, suodin, kaistanleveys																																																												
Sivumäärä:	40																																																												
Kieli:	Ruotsi																																																												
Hyväksymispäivämäärä:																																																													

Christoffer Tverin

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	8
2	TEORI	12
2.1	Superheterodynmottagare.....	14
2.2	PLL blockschema	16
2.3	FM-dekodning med PLL struktur	17
A)	<i>FM-dekodning med konstant bandbredd och valbar lokaloscillator</i>	<i>17</i>
B)	<i>FM-dekodning med valbar bandbredd och konstant lokaloscillator</i>	<i>17</i>
2.4	FM-dekodning med CD4046BCN	18
2.4.1	<i>Val av faskomparator.....</i>	<i>23</i>
3	MÄTNINGAR.....	24
3.1	Mätresultat.....	26
3.1.1	<i>Demodulationsspänningen.....</i>	<i>27</i>
3.1.2	<i>PLL med valbar bandbredd</i>	<i>29</i>
3.1.3	<i>PLL med valbar kanal.....</i>	<i>31</i>
3.1.4	<i>Övre gränsen för PLLs bandbredd</i>	<i>34</i>
4	SLUTSATS.....	37
5	KÄLLOR.....	39
6	BILAGOR.....	40

Figurer

Figur 1. Figur över effekt- och bandbreddsförhållande.....	8
Figur 2. Blockschema över sändarens och mottagarens samarbete.....	11
Figur 3. Blockschema för en FM-sändare [6].....	12
Figur 4. Bärvåg och den signal som skall skickas skilt [3].	12
Figur 5. Den färdiga signalen och den signal som skall skickas [3].	13
Figur 6. Superheterodynens blockschema [6].	14
Figur 7. Bandpassfilter[5].....	15
Figur 8. Frekvens till DC skala [8].	15
Figur 9. PLL strukturen [6].....	16
Figur 10. Kopplingsschema över CD4046BCN [8].	18
Figur 16. Skärmutskrift av mätinstrument.....	25
Figur 17. Graf över minimifrekvens och komponentvärden [8].	26
Figur 18. Mätresultat av test med varierande bandbredd, mätt vid utgång 1.	27
Figur 19. Mätresultat av test med varierande bandbredd, mätt vid utgång 2.	28
Figur 20. Graf över maximifrekvens och komponentvärden baserad på mätta värden..	29
Figur 21. Graf över maximifrekvens och varierande minimifrekvens.	30
Figur 23. Graf över tre olika bandbreddsområden.	31
Figur 24. Graf över minimifrekvens och komponentvärden.	32
Figur 25. Graf över minimifrekvens och komponentvärden [8].	33
Figur 27. Linjaritet av signalen procentuellt till kondensator- och motståndsvärde [8].	35
Figur 28. Figur över dynamisk kanalbandbredd.....	37
Figur 29. Krets över CD4046 med dynamisk kanalbandbredd.	38

Tabeller

Tabell 1. Komponentvärden för dynamisk kanalbandbredd för en kanal	2
Tabell 2. Components for a channel with a dynamic bandwidth.	3
Tabell 3. Komponentit kanavan kaistanleveyden vaihtamiseksi.	4
Tabell 4. Shannons formel som anger maximal överföringskapacitet [13].....	9
Tabell 5. Formel och värden över förstagradsåpassfilter [10].....	21
Tabell 6. Formel och värden över andragsradsåpassfilter [10]	22
Tabell 7. Tabell över mätningarna som ger en varierande bandbredd	28
Tabell 8. Komponentvärden för alla mätningar.....	36
Tabell 9. Komponentvärden för dynamisk kanalbandbredd för en kanal	37
Tabell 10. Mätning med bandbredden 90-150kHz, utgång2	41
Tabell 11. Mätning med bandbredden 90-300kHz, utgång2	41
Tabell 12. Mätning med bandbredden 90-460 kHz, utgång2	42
Tabell 13. Mätning med bandbredden 22,1-41,1 kHz, utgång2	43
Tabell 14. Mätning med bandbredden 60-90 kHz, utgång2	43
Tabell 15. Mätning med bandbredden 250-400 kHz, utgång2	44
Tabell 16. Mätning med bandbredden 90-150 kHz, utgång1	44
Tabell 17. Mätning med bandbredden 90-300 kHz, utgång1	45
Tabell 18. Mätning med bandbredden 90-460 kHz, utgång1	46
Tabell 19. Mätning med bandbredden 270-550 kHz, utgång2	47
Tabell 20. Mätning med bandbredden 410-630 kHz, utgång2	48
Tabell 21. Mätning med bandbredden 440-680 kHz, utgång2	49
Tabell 22. Mätning med bandbredden 370-580 kHz, utgång2	50
Tabell 23. Mätning med bandbredden 440-670 kHz, utgång1	51
Tabell 24. Mätning med bandbredden 320-510 kHz, utgång1	52
Tabell 25. Komponentvärden för låpassfiltren, samt insignalens kondensator.....	52

1 INTRODUKTION

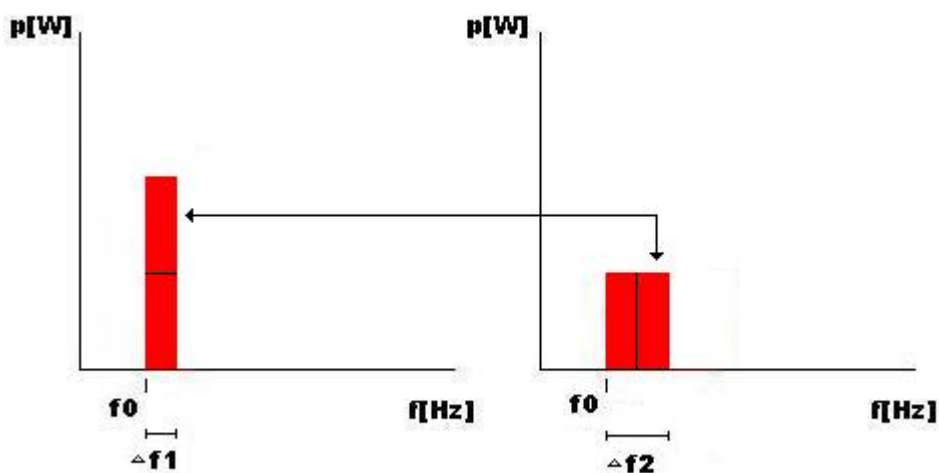
Radiosändare och mottagare används dygnetrunt för att skicka och ta emot information genom luft eller vakuum. Radiomottagare finns överallt i samhället (hushåll, bilar, båtar, mobiltelefoner). Alla dessa mottagare har sitt specifika frekvensområde och modulationsmetod som de är gjorda för.

Signalerna som skickas kan delas in i olika grupper beroende på vilken frekvens de har. Kommunikationsverket har gjort en frekvensallokeringsstabell [1] från 9 kHz till 400 GHz där alla tillåtna områden finns och deras användning.

För att kunna komma åt en viss frekvens måste sändaren och mottagaren ställas in för just den frekvensen. Arbetets syfte är att välja en kanal med en valbar bandbredd vid en konstant bärvågsfrekvens. Detta innebär att sändareffekten fördelas till en kanalbandbredd som överstiger den brusstyrka som existerar på samma kanal.

En sändare har en begränsad effekt som den klarar av att skicka information med. För att skicka mera information måste bandbredden ökas så att mera information kan skickas samtidigt. Figur 1 visar först hur informationen skickas med en hög effekt men med en smal bandbredd. Detta är bra om signalen skall skickas en längre sträcka för effekten avtar desto längre signalen rör sig. Är avstånden mellan sändaren och mottagaren mindre kan istället bandbredden ökas och på så sätt få en högre hastighet.

Figur 1 har i båda fallen lika stor yta eftersom sändaren har en maximal effekt som den inte kan överskrida utan endast fördela den jämt över bandbredden.



Figur 1. Figur över effekt- och bandbreddsförhållande.

Tabell 4 visar hur man beräknar överföringskapaciteten för en bandbredd med en viss signalstyrka och brusstyrka.

$C = B * \log_2 (1 + S/N)$
$C = B * \log_{10} (1 + S/N) / \log_{10}(2)$

Tabell 4. Shannons formel som anger maximal överföringskapacitet[13].

C= Överföringskapacitet [Hz]

B = Bandbredd [Hz]

S = Signalstyrka [W]

N = brusstyrka [W]

Tabell 4 har två stycken formler som båda ger samma resultat, den övre är Shannons formel som räknas med basen två för logaritmen. De flesta miniräknaren använder sig av logaritmen med basen tio och därför är den andra formeln i Tabell 1 ändrad så att den har basen som tio. Shannons formel berättar vad den maximala överföringskapacitet är. Överföringskapaciteten ger en teoretisk maximnivå som man kan överföra information med.

Som ett exempel kan man med hjälp av Figur 1 och Tabell 4 räkna ut en teoretisk överföringskapacitet för de båda bandbredderna f_1 och f_2 . Om f_1 är till exempel 100 kHz, signalstyrkan 1 μW per hertz och brusstyrkan 0,1 μW per hertz blir den teoretiska överföringskapaciteten:

$$B = 100\,000 \text{ Hz}$$

$$S = 1 \mu\text{W per hertz}$$

$$S = 100\,000 * (1 * 10^{-6})$$

$$S = 100 \text{ mW}$$

$$N = 0,1 \mu\text{W per hertz}$$

$$N = 100\,000 * (0,1 * 10^{-6})$$

$$N = 10 \text{ mW}$$

$$C = 100\,000 * (\log_{10}(1 + 100 / (10)) / \log_{10}(2)) \quad (1)$$

$$C = 345\,943 \text{ Hz} \quad (2)$$

När man räknar ut överföringshastigheten för f_2 i Figur 1 ser man att effekten har halverats från $1 \mu\text{W}$ till $0,5 \mu\text{W}$ per hertz, bandbredden dubblats till 200 kHz och brusstyrkan samma $0,1 \mu\text{W}$ per hertz blir överföringskapaciteten:

$$B = 200\,000 \text{ Hz}$$

$$S = 0,5 \mu\text{W per hertz}$$

$$S = 200\,000 * (0,5 * 10^{-6})$$

$$S = 100 \text{ mW}$$

$$N = 0,1 \mu\text{W per hertz}$$

$$N = 200\,000 * (0,1 * 10^{-6})$$

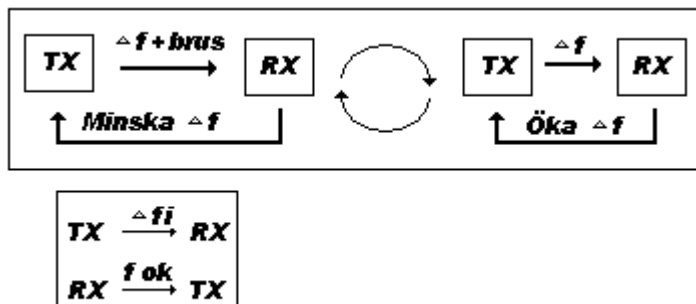
$$N = 20 \text{ mW}$$

$$C = 200\,000 * \log_{10} \left(1 + \frac{100}{20} \right) / \log_{10}(2) \quad (1)$$

$$C = 516\,992 \text{ Hz} \quad (2)$$

Man ser från uträkningarna att en högre hastighet kan uppnås med en högre bandbredd så länge brusstyrkan inte ökar allt för mycket. Om mera brus uppstår sjunker hastigheten som man kan överföra information med. För att få bort bruset minskar man bandbredden så att bruset hamnar utanför bandbredden.

Figur 2 visar hur sändaren och mottagaren samarbetar för att ändra bandbredden vid behov.



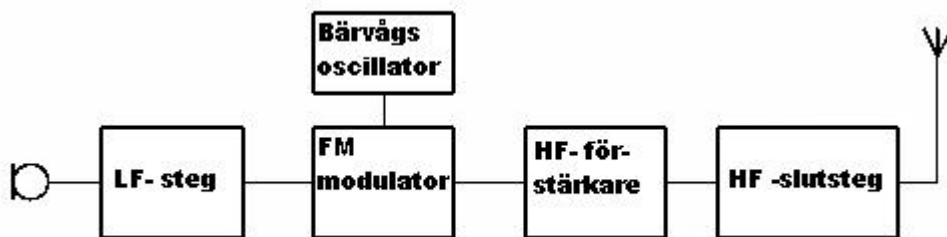
Figur 2. Blockschema över sändarens och mottagarens samarbete.

TX står för sändare (transmitter) och RX för mottagare (receiver), sändaren kan även ta emot en signal och mottagaren kan även skicka en signal så att de kan kommunicera med varandra. Mottagaren meddelar alltid med jämna mellanrum om signalen är felfri eller om det är brus. Är signalen felfri ökar sändaren bandbredden så att en högre hastighet uppnås. Är brusnivån allt för hög skickar mottagaren ett meddelande att brusnivån är hög och man minskar bandbredden tills bruset inte orsakar problem.

2 TEORI

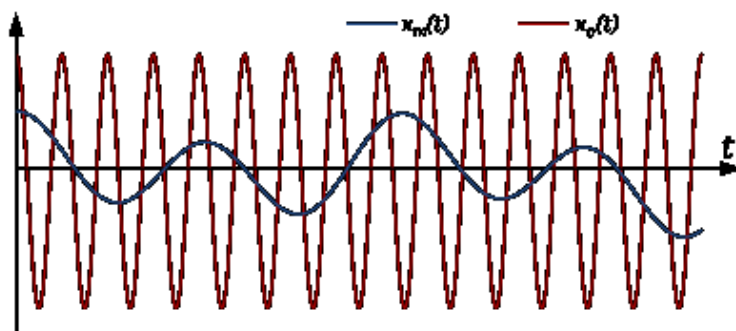
När man ställer in bilens radio på en viss frekvens som är t.ex. 101,1 Mhz och hör radio Vega så måste signalen dekodas för den är som sådan allt för hög för att öra skulle uppfatta signalen.

Radiostationen modulerar signalen och sedan tar mottagaren och demodulerar den.



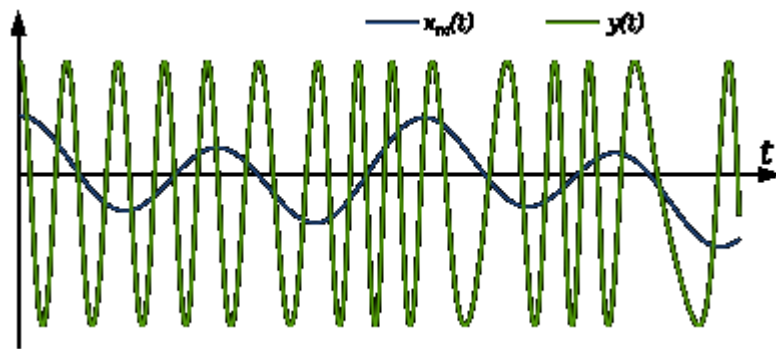
Figur 3. Blockschema för en FM-sändare [6].

Moduleringen börjar med att man tar den signal man vill skicka t.ex. en låt som skall spelas på en viss radio kanal. Sedan har man en specifik frekvens som radiokanalen använder t.ex. 101,1 Mhz för radio Vega



Figur 4. Bärvåg och den signal som skall skickas skilt [3].

Den röda signalen representerar 101.1 Mhz bärvåg och den blåa signalen representerar ljudet som skall skickas.

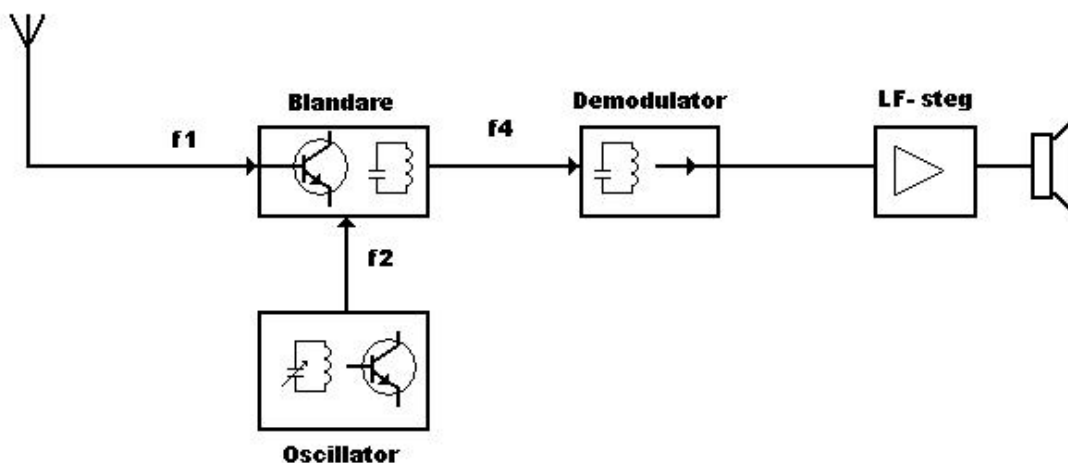


Figur 5. Den färdiga signalen och den signal som skall skickas [3].

Den gröna signalen representerar multiplikationen av bärvågen 101.1Mhz och ljudet som ska skickas. Den blåa signalen är endast ljudet som skall skickas. Den modulerade signalen (gröna signalen) leds till en förstärkare som förstärker signalen så att den kan skickas till ett större område sedan leds den till antennen och skickas ut i luften [2].

2.1 Superheterodynmodtagare

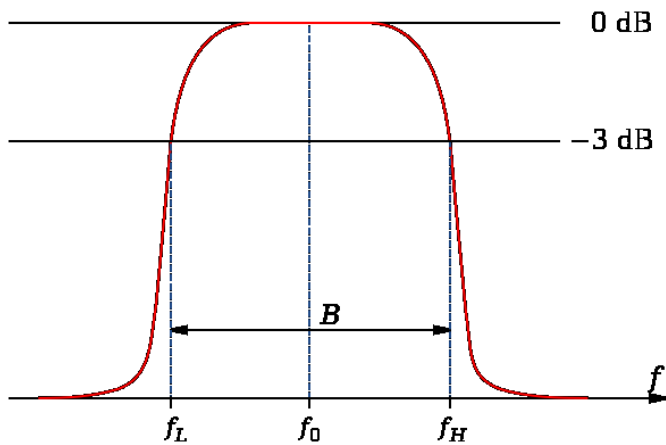
Superheterodynmodtagaren eller Superhet som den också kallas är en metod att modulera signalen så att den kan skickas och tas emot med så lite brus som möjligt.



Figur 6. Superheterodynens blockschema [6].

När man tar emot signalen via antennen så skickas den mottagna signalen till en blandare som blandar den inkommande signalen med en signal som genereras från en lokal oscillator. Vi kallar antensignalen för f_1 och den signal som kommer från oscillatoren för f_2 . Resultatet vi får ut från blandaren blir $f_1+f_2 = f_3$ som är en högfrequens signal, samt $f_1-f_2 = f_4$ som är en lågfrequens signal. Det är lågfrequens signalen alltså f_4 som är av intresse.

Efter detta leder man signalen f_4 genom ett bandpassfilter och får bort brus som finns med i signalen f_4 .

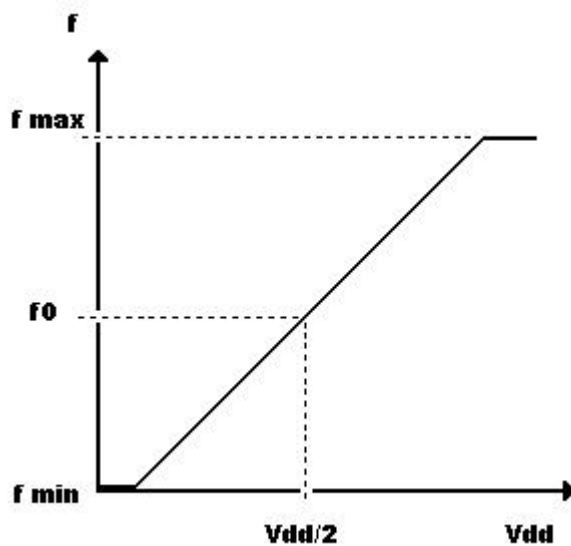


Figur 7. Bandpassfilter[5].

Ett bandpass filter har en mittfrekvens f_0 och sedan två frekvenser f_L och f_H som är gränserna var den egentliga dämpningen börjar.

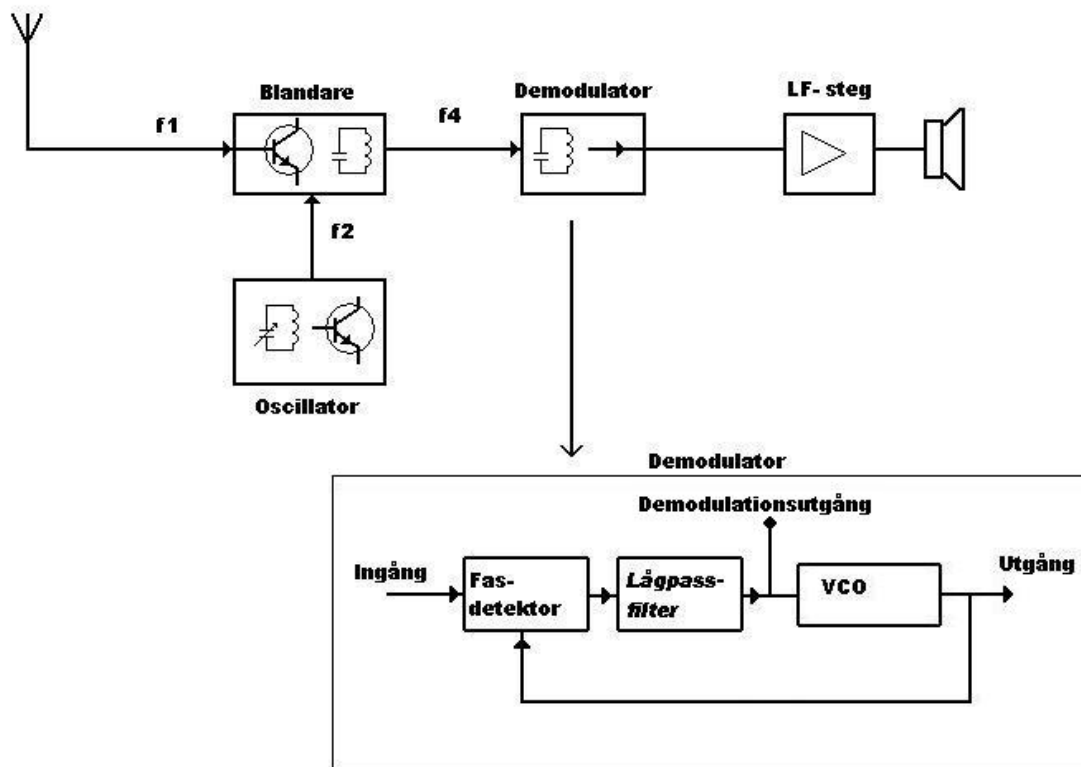
Följande steg är demodulationen där den frekvensen man matar in konverteras till en likspänning.

Konverteringen av signalen sker så att den lägsta frekvensen man får igenom motsvarar en spänningsnivå nära noll volt och maximifrekvensen som bandpassfiltret släpper igenom motsvarar en spänning nivå nära maximispänningen.



Figur 8. Frekvens till DC skala [8].

2.2 PLL blockschema



Figur 9. PLL strukturen [6].

Inkommande signalen (Ingång) är den signal som man har tagit emot. Den går in i fas-detektorn tillsammans med en signal från oscillatoren VCO (Voltage Controlled Oscillator). Dessa två signalers faser jämförs i fas detektorn, och via ett lågpassfilter går signalerna vidare till oscillatoren som ändrar signalen så att fas skillnaden blir mindre och till sist är oscillatorns och inkommande signalens fas samma, men så fort insignalen ändras börjar oscillatoren ställa in sig på nytt till samma fas som insignalen. Från demodulationsutgången kommer den demodulerade signalen ut.

2.3 FM-dekodning med PLL struktur

FM-dekodningen kan göras på två olika sätt.

A) FM-dekodning med konstant bandbredd och valbar lokaloscillator

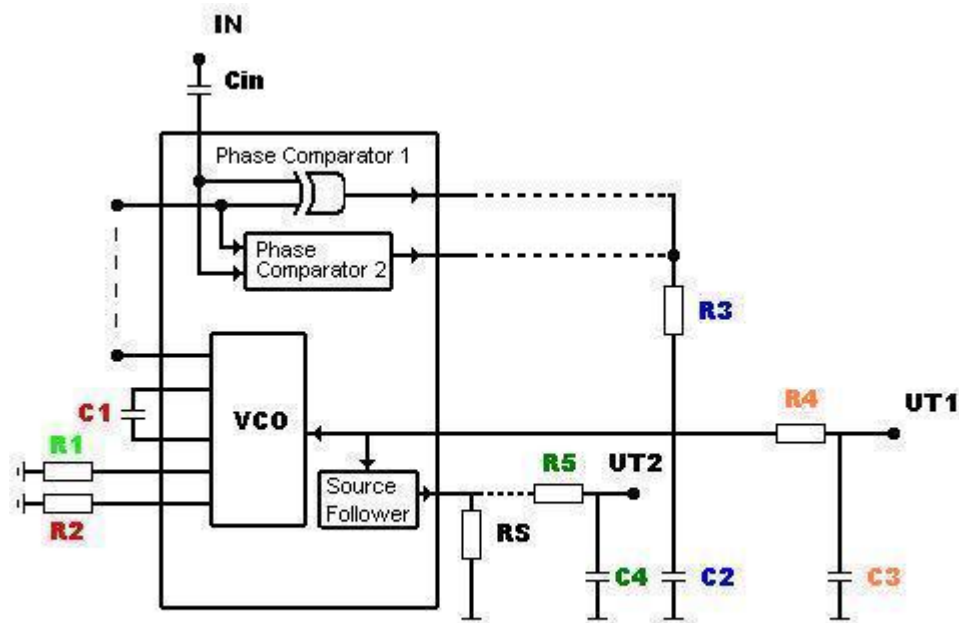
Första alternativet är att man har en lokal oscillator som man ställer in så att blandarens utsignal är vid den specifika frekvens man vill ha. Demodulatorn använder då hela tiden samma frekvens.

B) FM-dekodning med valbar bandbredd och konstant lokaloscillator

Andra möjligheten är att man har en lokal oscillator som jobbar med en konstant frekvens som är inom den bandbredd man vill välja mellan. Det är demodulatorn som man ändrar frekvensområdet och bandbredden på, så att man får ut endast det man vill.

2.4 FM-dekodering med CD4046BCN

CD4046BCN är en integrerad krets som innehåller en faslåst slinga (Phase Locked Loop, PLL)[8]



Figur 10. Kopplingschema över CD4046BCN [8].

Jag valde kretsen CD4046BCN för den fanns färdigt i skolan och är en faslåst slinga som kan användas till FM-dekodning.

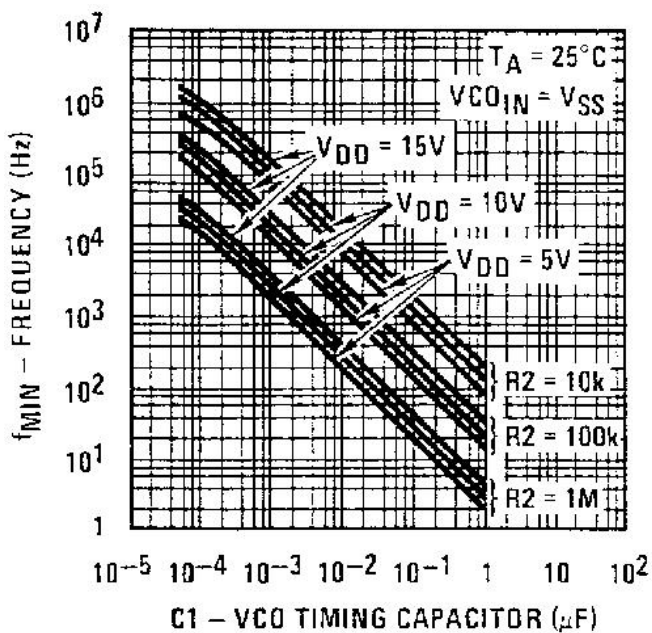
Kretsen fungerar så att den signal man tar emot skickas in vid ingången IN och kondensatorn blockerar likspänning vid ingången, om likspänning skulle matas in i kretsen skulle kretsen sluta fungera som en faslåst slinga, sedan går signalen till faskomparator 1 (Phase Comparator 1) som är en XOR-grind och faskomparator 2 (Phase Comparator 2).

Faskomparator 2 består av 4 stycken vippor, samt ett PMOS NMOS nätverk [8].

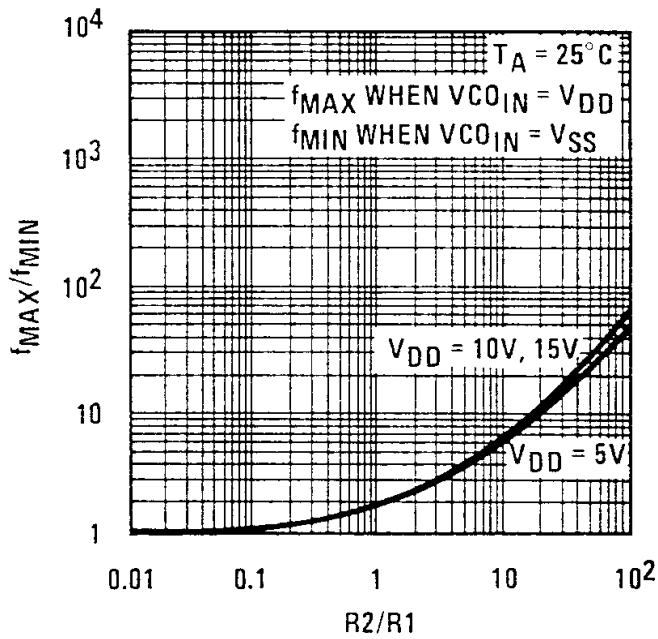
Efter signalen gått genom faskomparatorn går den genom ett lågpasfilter (R3, C2) och in till oscillatorn och sedan tillbaka in till faskomparatorn och blandas med insignalen. Man kan ta ut signalen från UT1 eller UT2. Signalen kommer till UT2 efter den passerat två lågpasfilter (R3, C2, R5, C4) och en buffertförstärkare (Source Follower).

Signalen kommer till UT1 efter den passerat ett andragrads lågpasfilter (R3, C2, R4, C3).

Man börjar med att välja vilken minimifrekvens man vill använda. Från Figur 11 framgår vilka komponenter som skall användas för att komma till den frekvensen, det är då **C1** och **R2** som bestäms. När minimifrekvensen är bestämd skall bandbredden och maximifrekvensen bestämmas från Figur 12, man bestämmer värdet på **R1**. När bandbredden är bestämd skall lågpassfilter beräknas för att minimera brus. Första lågpassfiltret är uppbyggt av **R3** och **C2** och syns i Figur 10. Filtret bestäms så att det släpper igenom hela bandbredden som kretsen använder och endast hindrar det som ligger utanför.



Figur 11. Minimifrekvens och komponent förhållande [8].



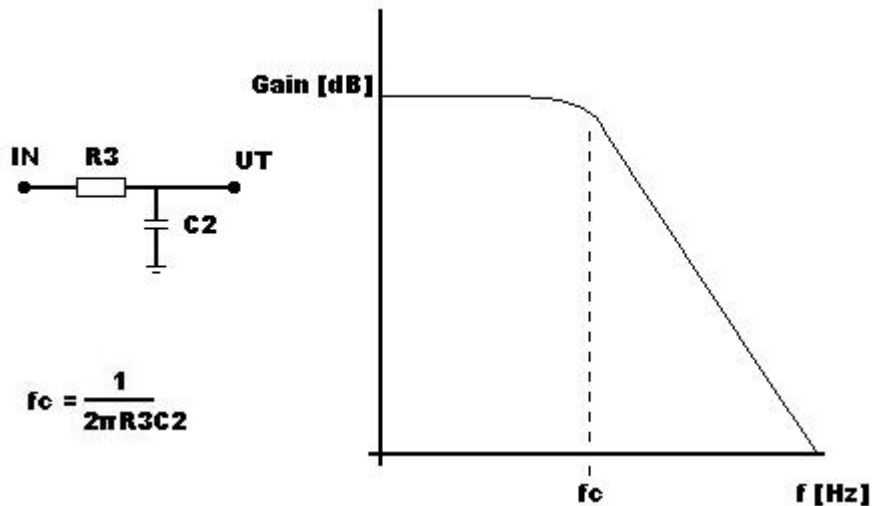
Figur 12. Maximifrekvens och motstånds förhållande [8].

Databladet anger att den maximala frekvensen som man kan få är åtminstone 1,3 MHz. Man börjar med att bestämma ett filter vid det området, till exempel 1 MHz med hjälp av formeln i

Figur 13.

F_c är 1 MHz och så behöver man värdena för $R3$ och $C2$. Båda skall vara små så att F_c blir stort.

Man måste välja ett värde på antingen $R3$ eller $C2$ och beräkna det andra. Om man har $R3$ som till exempel 2 kohm blir det kondensatorn som skall beräknas.



Figur 13. Formel samt graf och schema över förstegradslåpassfilter [10].

$F_c = 1 / 2 * \pi * R_3 * C_2$	
F_c	1 000 000 Hz
R_3	2000 Ohm

Tabell 5. Formel och värden över förstegradslåpassfilter [10].

$$1\ 000\ 000 = 1 / 2 * \pi * 2000 * C_2 \quad (1)$$

$$C_2 = 1 / 2 * \pi * 2000 * 1\ 000\ 000 \quad (2)$$

$$C_2 = 7,958 * 10^{-11} \quad (3)$$

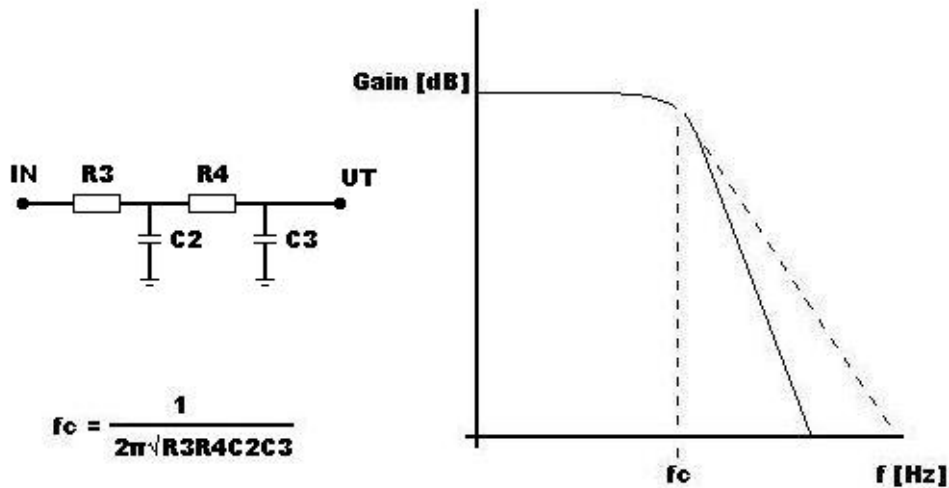
$$C_2 = 79,6\ \text{pF} \quad (4)$$

Med detta låpassfilter som beräknats får man dämpat störningen som ligger utanför bandbrädden, alltså över 1MHz.

För att få ut en likspänning på utgången måste signalen filtreras. Filtreringen sker med hjälp av ett andragsradslåpassfilter.

Det filter som används till att filtrera bort störningar utanför bandbrädden används även till att filtrera utsignalen men man måste addera en resistor och en kondensator till kretsen.

Filtret skall ha en frekvens som är lägre än kretsens minimifrekvens Om kretsens minimifrekvens är till exempel 100 kHz skulle filtret kunna vara vid 50 kHz. Figur 14 visar formeln för att beräkna andragradsfiltrets komponentvärden. Beräkningen görs med F_c som 50 kHz, R_3 och C_2 har samma värden som i beräkningen för förstgradsfiltret. Man måste sätta ett värde på antingen R_4 eller C_3 , R_4 är till exempel 4 kohm och då skall C_3 beräknas.



Figur 14. Formel samt graf och schema över andragradslåpassfilter [10].

$F_c = 1 / 2 * \pi \sqrt{(R_3 * R_4 * C_2 * C_3)}$	
F_c	50 000 Hz
R_3	2000 Ohm
C_2	79,6 pH
R_4	4000 ohm

Tabell 6. Formel och värden över andragrads låpassfilter [10].

$$50\,000 = 1 / 2 * \pi \sqrt{(2000 * (79,6 * 10^{-12}) * 4000 * C_3)} \quad (1)$$

$$\sqrt{C_3} = 1 / 50\,000 * 2 * \pi \sqrt{(2000 * (79,6 * 10^{-12}) * 4000)} \quad (2)$$

$$\sqrt{C_3} = 1 / 2 * \pi (50\,000 * \sqrt{(2000 * (79,6 * 10^{-12}) * 4000)}) \quad (3)$$

$$\sqrt{C_3} = 1,26139 * 10^{-4} \quad (4)$$

$$(\sqrt{C_3})^2 = C_3 \quad (5)$$

$$C3 = 1,591 \cdot 10^{-8} \quad (6)$$

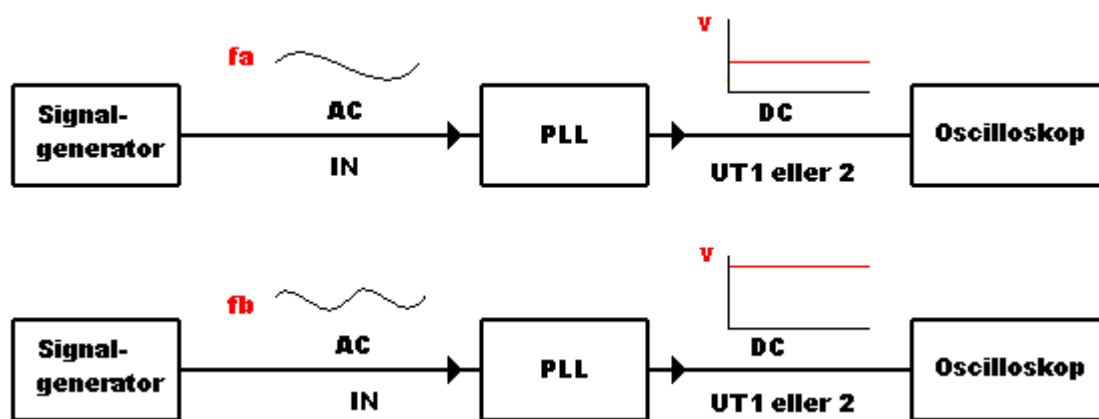
$$C3 = 15,91 \text{ nF} \quad (7)$$

2.4.1 Val av faskomparator

Vi har möjlighet att använda antingen faskomparator 1 eller 2 (Figur 10). Båda ger samma utspänning fastlåst vid samma infrekvens, skillnaderna syns när insignalen är utanför önskat område eller när insignal saknas. Faskomparator 1 har en utspänning som är hälften av totala spänningen då insignalen är högre än bandbreddens maximivärde, lägre än bandbreddens minimivärde eller om insignalen saknas. Faskomparator 2 ger en utspänning som är maximal spänning då frekvensen är högre än bandbreddens maximivärde. När insignalens frekvens är lägre än bandbreddens minimivärde eller saknas blir utspänningen mycket nära noll. Faskomparator 2 visar tydligare om bandbredden är olika för mottagaren och sändaren. Detta sker om man valt fel värden på komponenterna.

3 MÄTNINGAR

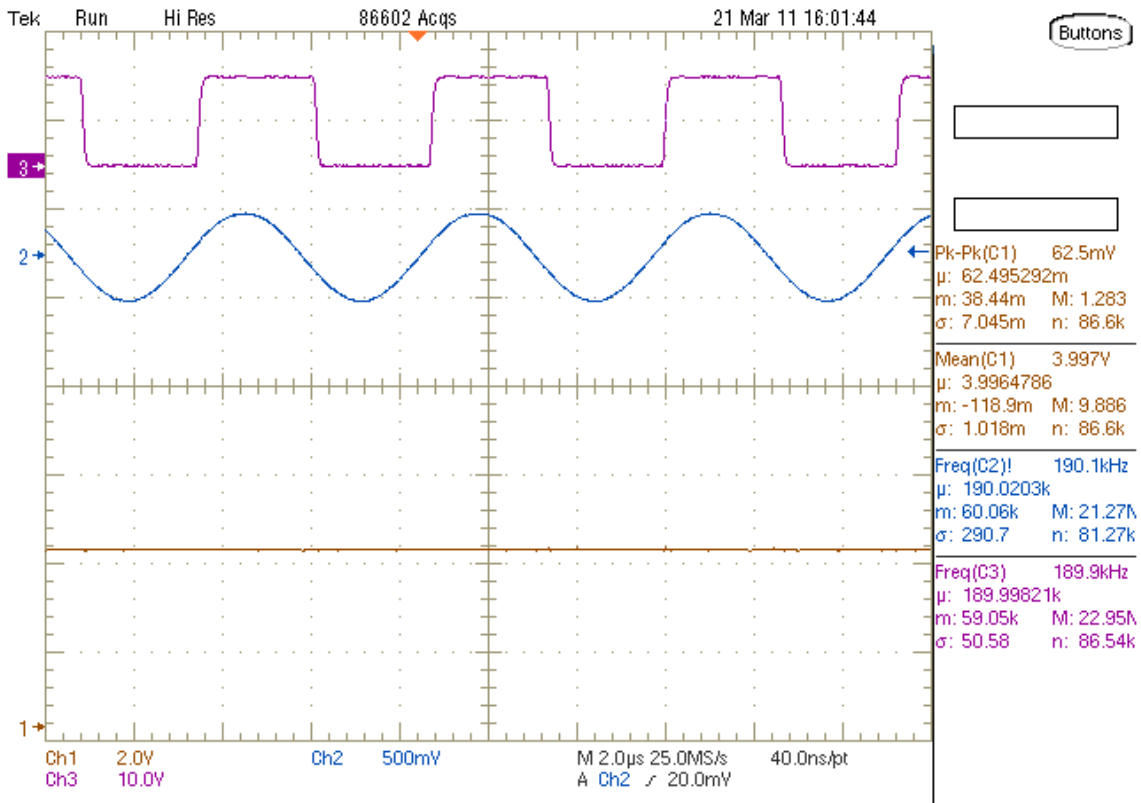
För att mäta resultatet av den demodulerade insignalen har ett oscilloskop kopplats till UT1 eller UT2. Oscilloskopet är även kopplat till ingången för att man skall kunna jämföra insignalen med den demodulerade utsignalen. Oscilloskopets tredje ingång är kopplad till C1 för att man skall kunna jämföra insignalen med den signal som genereras av oscillatoren. Figur 15 illustrerar hur demodulationen sker.



Figur 15. Figur över hur signalen demoduleras.

Ett exempel på hur det kan se ut visas i Figur 16, den orange färgade linjen visar utsignalen efter att den passerat andragslågpassfiltret vid UT1, den blåa kurvan visar insignalen och lila kurvan visar vad oscillatoren C1 ger ut.

In signalen är ritad med skalan 500 mV per ruta och utsignalen är ritad med skalan 2 V per ruta, man ser att utsignalen har nästan ingen amplitud och är mycket nära en likspänning.



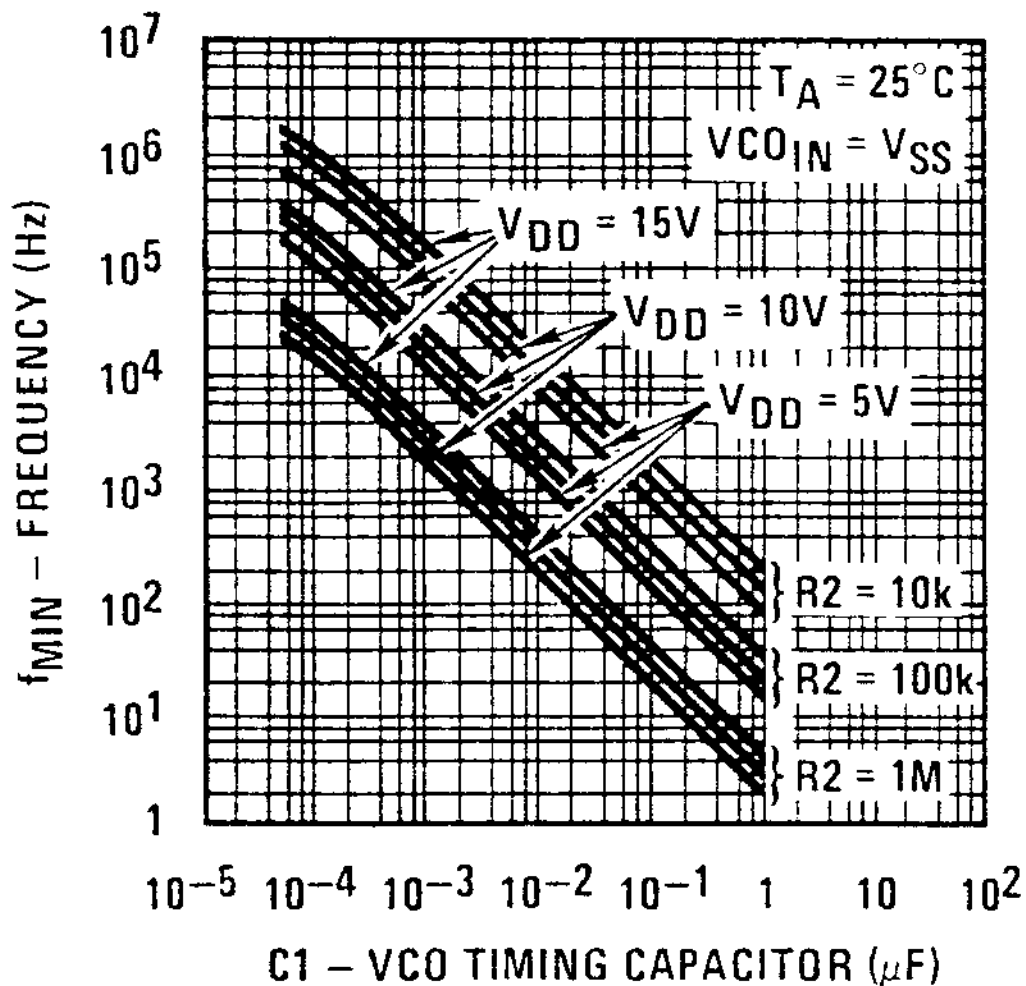
Figur 16. Skärmskrift av mätinstrument.

Man ser även att signalen ligger innanför det område som kretsen låser sig vid eftersom blåa och lila kurvorna har samma frekvens och spänningen ligger mellan 0 och 9 V.

Kretsen CD4046 har en 10 V likspänning kopplad till Vdd så att den skall fungera. Databladet anger att Vdd kan väljas mellan 3 och 15V. Den maximala spänningen som kretsen kan ha vid utgångarna ligger lite under Vdd spänningen, alltså i detta fall 9V.

3.1 Mätresultat

Mätningarna har utförts med en signalgenerator vid ingången för att skapa en specifik frekvens och oscilloskop för att visa resultaten. Insignalens amplitud skall vara högre än 500 mV för att kretsen CD4046BCN skall fungera som en faslåst slinga. Med hjälp av databladet har först en riktgivande beräkning gjorts för att få fram en viss bandbredd, minimi- samt maximifrekvensen. Databladets graf över frekvensen i samband med komponent värde är riktgivande på grund av dålig noggrannhet på grafen.

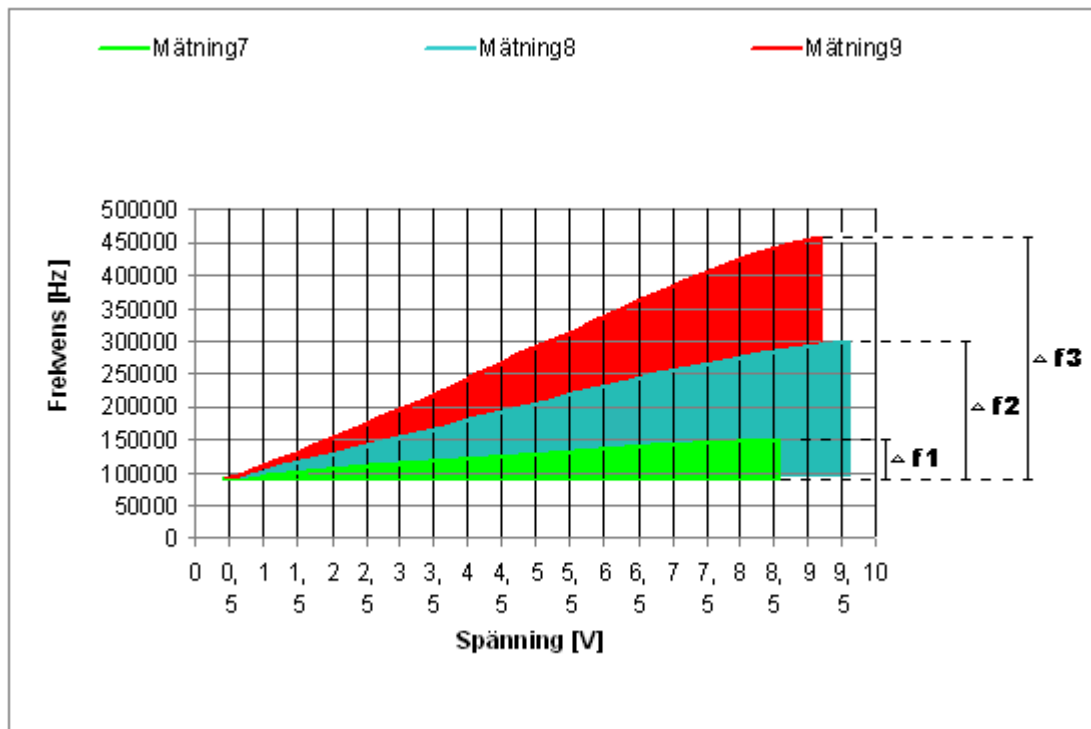


Figur 17. Graf över minimifrekvens och komponentvärden [8].

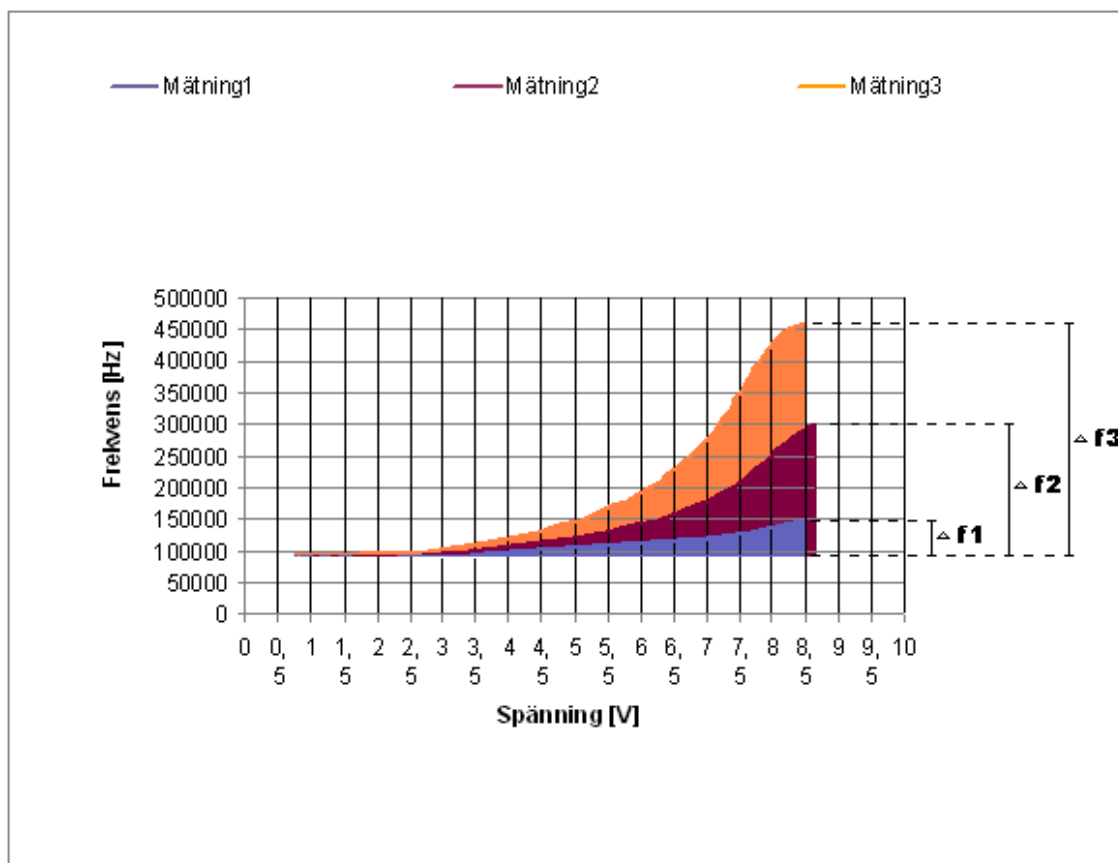
På basen av denna graf kan man bestämma minimifrekvensen som kretsen kommer att låsa sig vid.

3.1.1 Demodulationsspänningen

I figurerna 18 och 19 har samma minimifrekvens använts men med variation på maximifrekvensen. Alla mätningarna i Figur 18 och 19 har R2 som 119,3 kohm och C1 som 260 pF, i mätning 1 och mätning 7 är R1 99,5 kohm och i mätning 2 och mätning 8 är R1 26,9 kohm, i mätning3 och 9 är resistansen för R1 12 kohm. Med att variera endast på R1 får man en variation på maximifrekvensen. Med denna metod får man en kanal som man varierar bandbredden på.



Figur 18. Mätresultat av test med varierande bandbredd, mätt vid utgång 1.



Figur 19. Mätresultat av test med varierande bandbredd, mätt vid utgång 2.

Demodulationsresultatet för utgångarna 1 och 2 visas av Figurerna 18 och 19. Båda utgångarna har samma bandbreddsvariation i de tre olika fallen. F1 är mätningarna 1 och 7, f2 är mätningarna 2 och 8, f3 är mätningarna 3 och 9. Tabell 5 visar de värden som använts för R1, R2 samt C1.

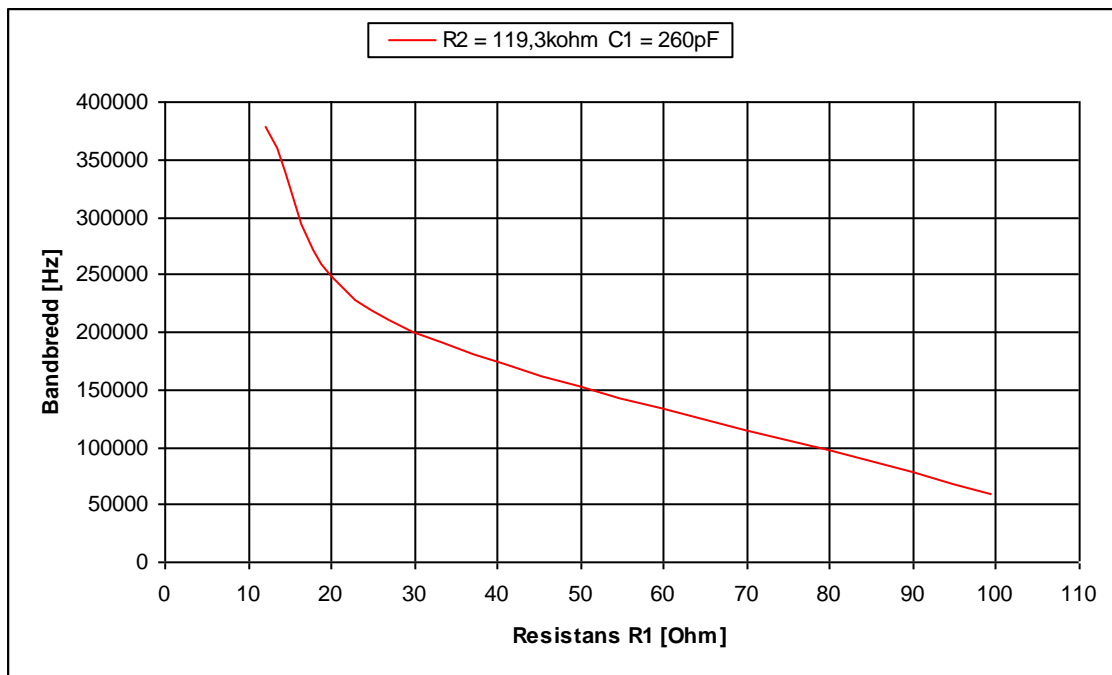
	R1[kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]
Mätning1	99,5	119,3	260
Mätning2	26,9	119,3	260
Mätning3	12	119,3	260
Mätning7	99,5	119,3	260
Mätning8	26,9	119,3	260
Mätning9	12	119,3	260

Tabell 7. Tabell över mätningarna som ger en varierande bandbredd.

Tabell 7 visar komponentvärdena för kretsen och filtren vid alla mätningar.

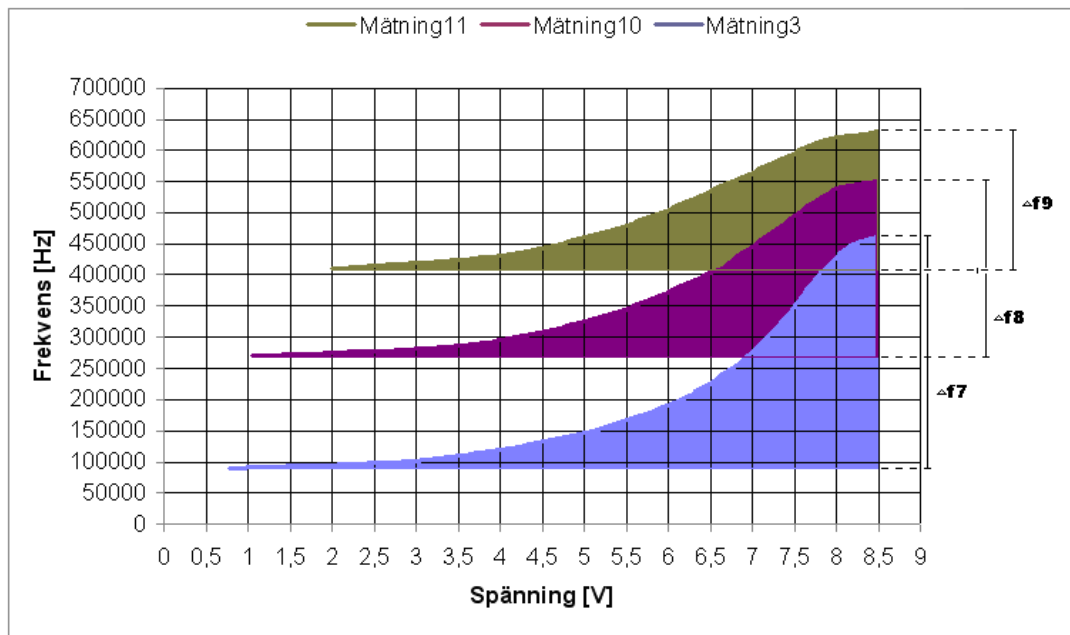
3.1.2 PLL med valbar bandbredd

Från mätningarna 1,2,3,7,8,9 kan en graf göras hur R1 bestäms när R2 är 119,3 kohm och C1 är 260 pF. Grafen i Figur 20 visar att resistansen R1 inte kan väljas helt linjärt. Detta leder till att det blir lättare att ställa in maximifrekvens då den inte är så hög, eftersom vid höga frekvenser blir det en stor variation på bandbredden fast det är endast en liten variation av resistansen. Figur 12 visar databladets graf över hur R1 bestäms. Δf_1 , Δf_2 , Δf_3 anger bandbredden.



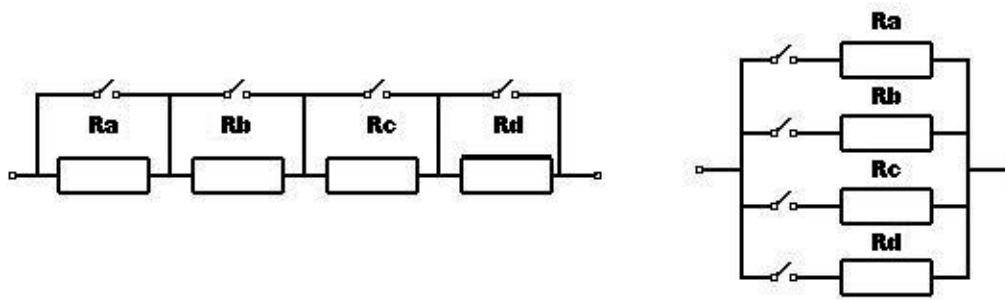
Figur 20. Graf över maximifrekvens och komponentvärden baserad på mätta värden.

Har man en övre gräns för kanalbandbredden som inte får överstigas, till exempel nästa kanal vore det teoretiskt lättast att låsa övre gränsen vid en viss frekvens och endast variera på bandbreddens nedre gräns, för att inte komma in på nästa kanal. Figur 21 visar hur minimifrekvensen varieras med att endast ändra värdet på R2. Från figuren ser man att det inte är möjligt att endast variera på minimifrekvensen utan R2 påverkar även maximifrekvensen.



Figur 21. Graf över maximifrekvens och varierande minimifrekvens.

För att variera på bandbreddens övre gräns har en seriekoppling av resistenser använts för R1. Figur 22 visar till vänster seriekoppling av motstånd. En annan möjlighet är att parallellkoppla motstånden, så som högra Figuren 22. Samma kopplingsschema fungerar för R2 då man vill variera på minimifrekvensen.

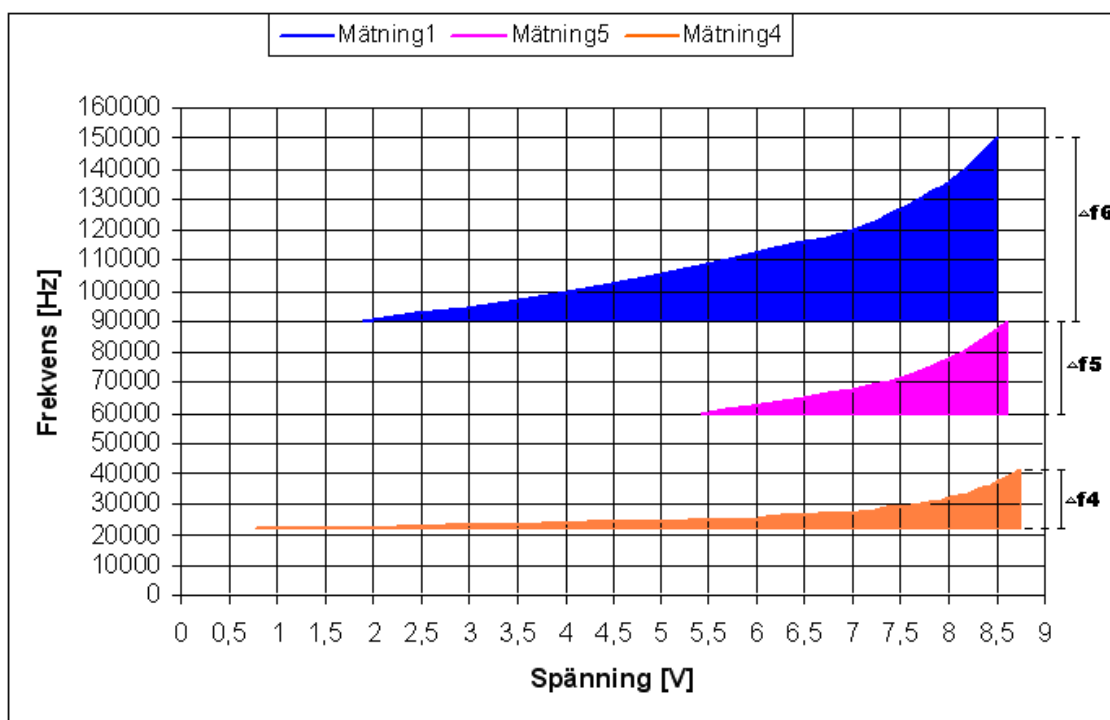


Figur 22. Kopplingsscheman för bandbredds val med hjälp av resistorer.

3.1.3 PLL med valbar kanal

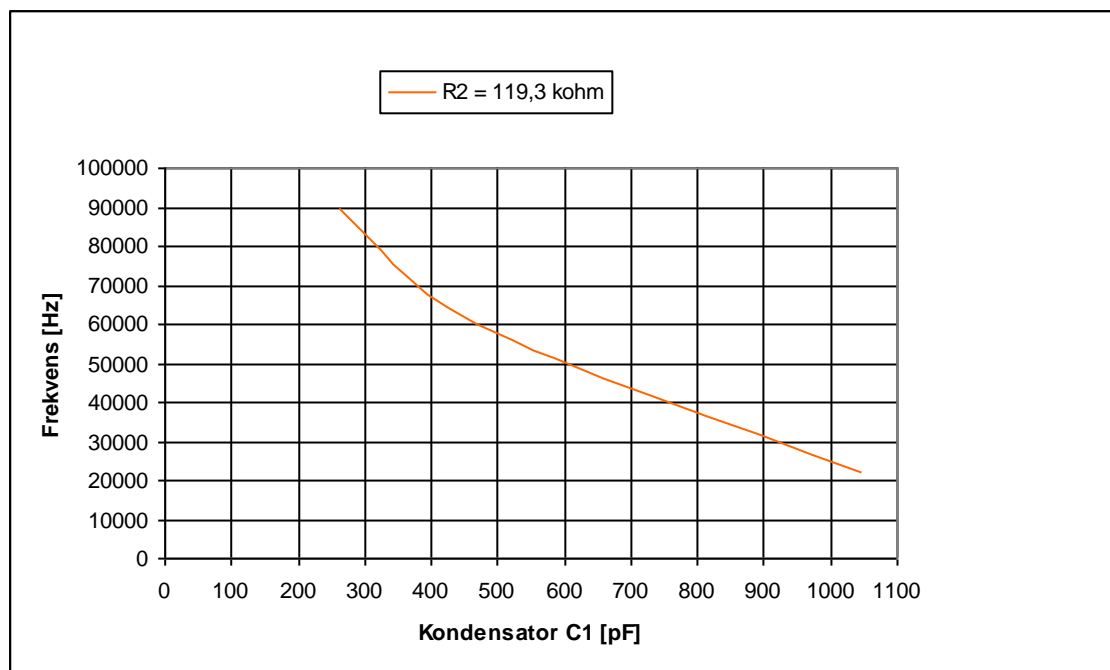
Ifall kanalen har brus trots att bandbredden är liten måste en ny kanal väljas. Mätningarna i Figur 23 visar hur en ny kanal kan väljas. En ny kanal kan väljas med att hålla R2 konstant och endast variera på C1. I Figur 23 är värdena på R1 och R2 de samma i alla tre mätningar. Man ser att kanalernas bandbredd inte är samma, lägre C1 värde ger en större bandbredd och en kanal vid en högre frekvens. Man ser i Figur 23 att det inte är möjligt att hålla samma bandbredd vid olika kanaler med att endast variera på C1 utan man måste även beräkna R1 på nytt om man vill ha samma överföringskapacitet.

Δf_4 , Δf_5 , Δf_6 är bandbredden för de olika kanalerna.

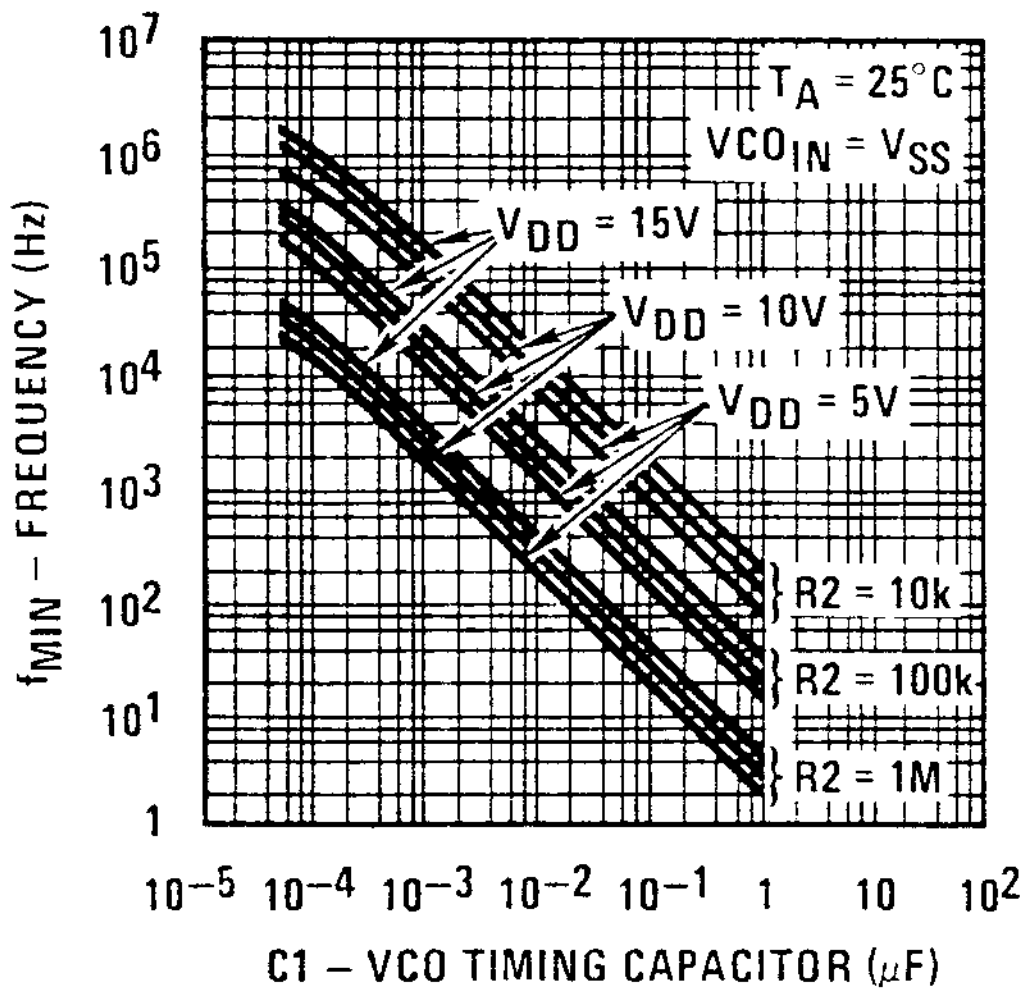


Figur 23. Graf över tre olika bandbreddsområden.

Vill man göra olika kanaler med konstant R1 och R2 som i Figur 23 kan man lätt se i Figur 24 att C1 värden kan bestämmas nästan linjärt, grafen visar vad minimifrekvensen är för ett visst värde på C1 när R2 är 119,3 kohm. Figur 25 visar databladets graf på hur minimifrekvensen skall väljas. De båda visar samma resultat men eftersom Figur 24 visar ett smalare område går det noggrannare att bestämma C1 från Figur 24.



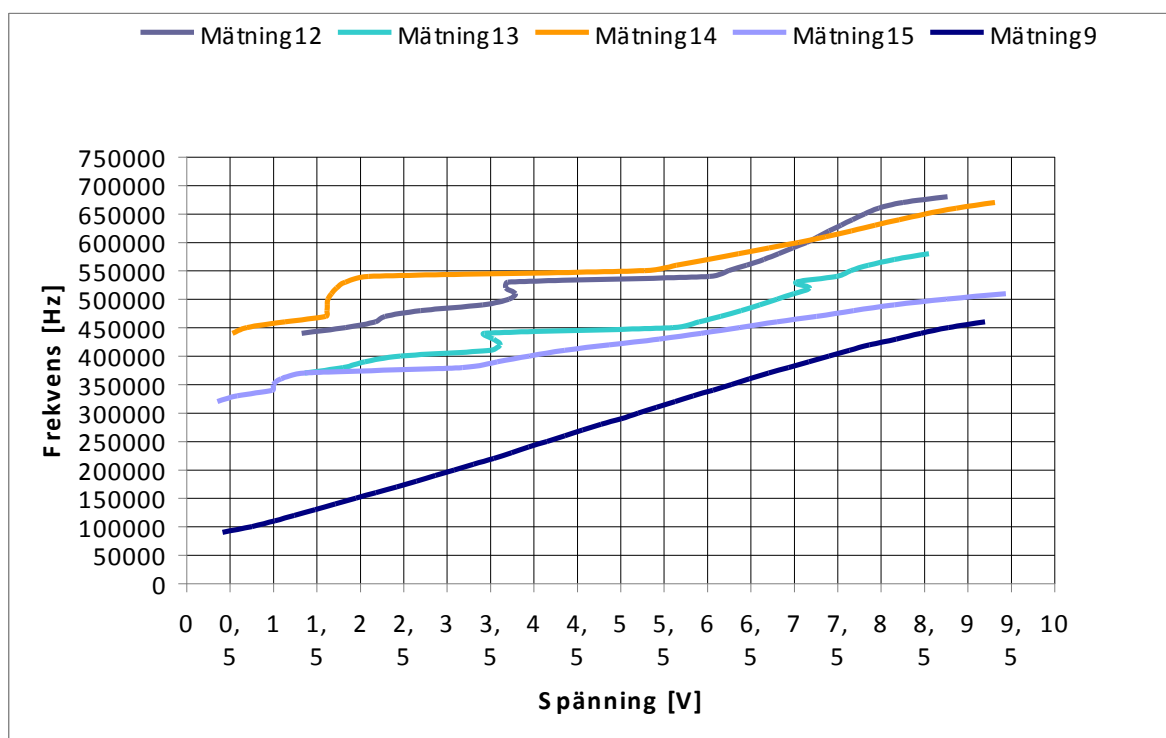
Figur 24. Graf över minimifrekvens och komponentvärden.



Figur 25. Graf över minimifrekvens och komponentvärden [8].

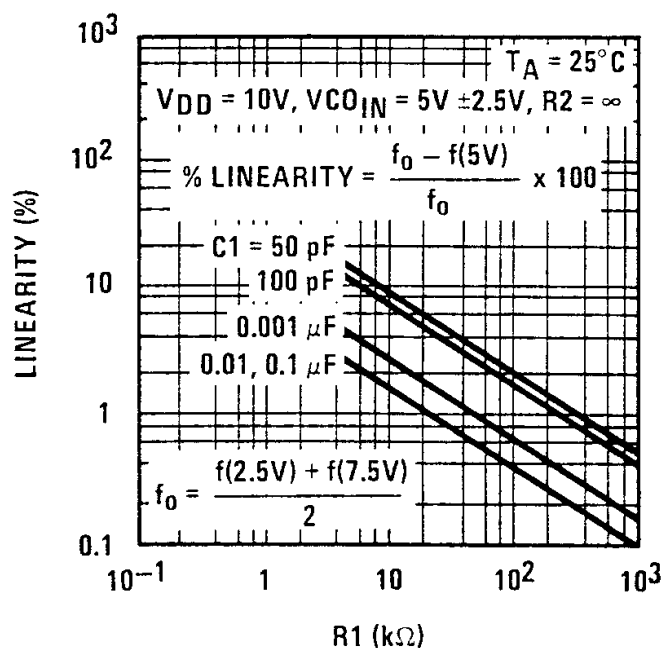
3.1.4 Övre gränsen för PLLs bandbredd

Figur 26 visar vad som sker när man ändrar komponentvärdena och höjer frekvensen utanför det tillåtna området, man ser att mätningarna inte mera är linjära och spänningen sjunker vid vissa punkter av bandbredden fast frekvensen ökar. Man ser från graferna i Figur 26 att högre än 500 kHz maximifrekvens gör bandbredden icke-linjär. Databladet har angett att R1, R2 och RS skall vara större än 10 kohm och C1 större än 50 pF. Kopplingsplattan som använts har en kapacitans, detta orsakar en minskning i maximifrekvensen i detta fall 500 kHz.



Figur 26. Graf över bandbredd och maximifrekvens med komponentvärden utanför databladets angivna område.

Av Figur 27 kan man avläsa hur stor avvikelse från en helt linjär signal det finns beroende på komponentvärdena. Största variationen som kan uppstå är teoretiskt kring 10%. Detta sker då R1 är som minst alltså 10 kohm och C1 är 50 pF. Vid utgång 1 är uppmätta värdet ett par procent från linjärt medan vid utgång 2 är variationen mellan 10 och 20 %.



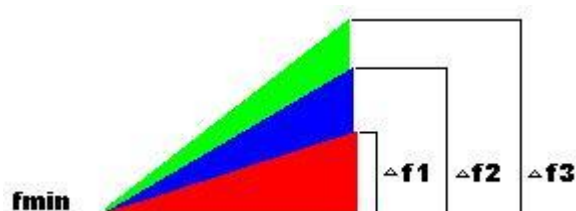
Figur 27. Linjaritet av signalen procentuellt till kondensator- och motståndsvärde [8].

Vdd[Volt] = 10	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	R3 [ohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]	R5 [kohm]	RS [kohm]	C4 [nF]	Ut- gång	Cin [nF]
Mätning1	99,5	119,3	260	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning2	26,9	119,3	260	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning3	12	119,3	260	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning4	99,5	119,3	1045	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning5	99,5	119,3	470	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning6	12	14	470	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning7	99,5	119,3	260	503	270	3,24	786	-	56,2	-	UT1	160
Mätning8	26,9	119,3	260	503	270	3,24	786	-	56,2	-	UT1	160
Mätning9	12	119,3	260	503	270	3,24	786	-	56,2	-	UT1	160
Mätning10	12	26,9	260	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning11	12	14	260	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning12	99,5	119,3	41	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning13	99,5	119,3	51	503	270	-	-	3,24	56,2	786	UT2	160
Mätning14	99,5	119,3	41	503	270	3,24	786	-	56,2	-	UT1	160
Mätning15	99,5	119,3	61	503	270	3,24	786	-	56,2	-	UT1	160

Tabell 8. Komponentvärden för alla mätningar.

4 SLUTSATS

Mätningarna visar att utgång 2 inte ger ut en linjär signal medan utgång 1 har en utsignal som är nästan linjär. Databladet stämmer bra överens med det som uppmätts vid utgång 1. Att utsignalen är linjär gör att man lätt vet vad för spänning man väntar sig för en viss frekvens. Det enda som inte är helt enligt databladet är maximala frekvensen som är lägre än vad databladet anger. Detta beror på att kretsen byggts upp på ett kopplingsdäck som ökar kapacitansen. Integrerade kretsen CD4046 fungerar bra som en fastlåst slinga så länge man håller sig till en maximifrekvens kring 0,5 MHz och använder utgång 1 som signalutgång. Insignalen måste förstärkas så att den alltid är över 500 mV för att kretsen skall fungera. Steglös ändring på komponentvärdena är inte att rekommenderas på grund av olinjär skala. Ett bättre alternativ är att bandbredden för sändaren och mottagaren skulle ändras med hjälp av på förhand bestämda komponenter. Man måste börja med att välja minimifrekvensen för den kanal man vill skapa och efter det bestämma maximifrekvensen, eftersom maximifrekvensen påverkas av minimifrekvensen. För att ändra bandbredden reglerar man på R1. Figur 28 visar hur bandbredden varierar och minimifrekvensen är konstant.



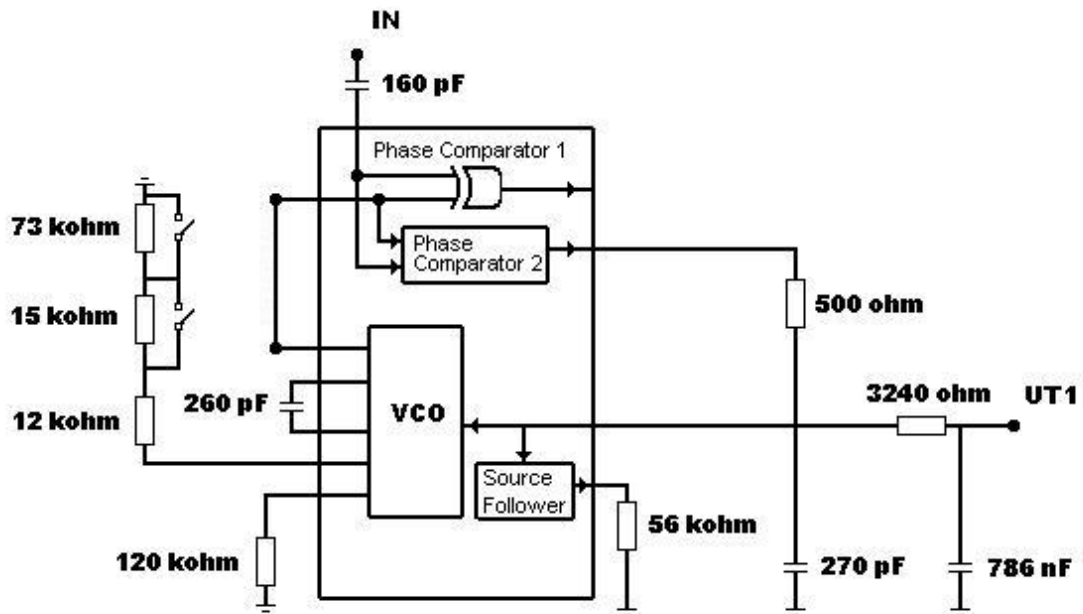
Figur 28. Figur över dynamisk kanalbandbredd.

Tabell 7 visar alla värden som behövs för att skapa en kanal med dynamisk bandbredd.

$V_{dd}[\text{Volt}] = 10$				$R_S[\text{kohm}] = 56$				Lågpasfilter			
	Δf [kHz]	f_{\min} , [kHz]	f_{\max} [kHz]	R1 [kohm]	R2 [kohm]	C1 [pF]	Cin [nF]	R3 [kohm]	C2 [pF]	R4 [kohm]	C3 [nF]
Δf_1	60	90	150	100	120	260	160	0,5	270	3,24	786
Δf_2	210	90	300	27	120	260	160	0,5	270	3,24	786
Δf_3	370	90	460	12	120	260	160	0,5	270	3,24	786

Tabell 9. Komponent värden för dynamisk kanalbandbredd för en kanal.

Databladet anger att komponentvärdena R1, R2, RS skall vara över 10kohm och C1 större än 50pF. Så länge inte komponentvärden mindre än databladets begränsningar används fungerar kretsen.



Figur 29. Krets över CD4046 med dynamisk kanalbandbredd.

Figur 29 visar en färdig krets samt komponentvärden. Kretsen har R1 som alltid är minst 12 kohm så att inte resistansen går under 10 kohm och kretsen slutar fungera.

5 KÄLLOR

- 1 Kommunikationsverket - Frekvensallokeringsstabell 9 kHz - 400 GHz 17.3.2011
http://www.ficora.fi/attachments/ruotsiav/511ypU46f/TJT_ruotsi.pdf
- 2 Frequency Modulation 20.3.2011
<http://www.fas.org/man/dod-101/navy/docs/es310/FM.htm>
- 3 Frequency modulation 20.3.2011
http://en.wikipedia.org/wiki/Frequency_modulation
- 4 Miomir Filipovic – Radio Receivers 25.3.2011
<http://www.mikroe.com/old/books/rrbook/rrbook.htm>
- 5 Band-pass filter 25.3.2011
http://en.wikipedia.org/wiki/Band-pass_filter
- 6 Kaj Grahn - Kursmaterial från kursen RF_Teknik 25.3.2011
Kursmaterial RF-Teknik
- 7 SGS-THOMSON – HCC/HCF4046B 30.3.2011
http://www.datasheetcatalog.org/datasheets/270/85007_DS.pdf
- 8 Fairchild – CD4046BC 7.5.2010
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/d/0kikqiw9kc6zt2jd05xrct2azhfy.pdf>
- 9 Vipppa 10.4.2011
<http://sv.wikipedia.org/wiki/Vipppa>
- 10 Low Pass Filter 10.4.2011
http://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_2.html
- 11 Ilmainen sanakirja 10.4.2011
<http://www.sanakirja.org/>
- 12 Svenska Akademien – Ordlista 9.5.2011
<http://www.svenskaakademien.se/web/Ordlista.aspx>
- 13 Channel Capacity 24.5.2011
http://www.dip.ee.uct.ac.za/~nicolls/lectures/eee482f/04_chancap_2up.pdf
- 14 Google Translate 21.6.2011
<http://translate.google.com/>

6 BILAGOR

1. Mätvärden

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	260p
OUT2	
Mätning1	
f	V
90000	1,91
100000	4,026
110000	5,709
120000	7,001
130000	7,691
140000	8,166
150000	8,5

Tabell 10. Mätning med bandbredden 90-150 kHz, utgång2.

R1	26,9k
R2	119,3k
C1	260p
OUT2	
Mätning2	
f	V
90000	1,959
100000	3,387
110000	4,297
120000	4,962
130000	5,479
140000	5,934
150000	6,275
160000	6,563
170000	6,829
180000	7,042
190000	7,22
200000	7,377
210000	7,529
220000	7,646
230000	7,756
240000	7,872
250000	7,981
260000	8,081
270000	8,199
280000	8,307
290000	8,431
300000	8,662

Tabell 11. Mätning med bandbredden 90-300 kHz, utgång2.

R1	12k
R2	119,3k
C1	260p
OUT2	
Mätning3	
f	V
90000	0,78
100000	2,787
110000	3,51
120000	4,013
130000	4,444
140000	4,79
150000	5,096
160000	5,343
170000	5,574
180000	5,781
190000	5,987
200000	6,145
210000	6,29
220000	6,415
230000	6,537
240000	6,644
250000	6,75
260000	6,854
270000	6,945
280000	7,028
290000	7,105
300000	7,183
310000	7,254
320000	7,322
330000	7,383
340000	7,444
350000	7,505
360000	7,561
370000	7,616
380000	7,67
390000	7,734
400000	7,794
410000	7,868
420000	7,936
430000	8,01
440000	8,1
450000	8,22
460000	8,488

Tabell 12. Mätning med bandbredden 90-460 kHz, utgång2.

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	1045p
OUT2	
Mätning4	
f	V
22100	0,7811
23100	2,735
24100	4,66
25100	5,736
26100	6,385
27100	6,865
28100	7,22
29100	7,485
30100	7,7
31100	7,881
32100	8,029
33100	8,155
34100	8,26
35100	8,35
36100	8,434
37100	8,505
38100	8,571
39100	8,628
40100	8,682
41100	8,743

Tabell 13. Mätning med bandbredden 22,1-41,1 kHz, utgång2.

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	470p
OUT2	
Mätning5	
f	V
60000	5,433
70000	7,39
80000	8,137
90000	8,593

Tabell 14. Mätning med bandbredden 60-90 kHz, utgång2.

R1	12k
R2	14k
C1	470p
OUT2	
Mätning6	
f	V
250000	0,652
260000	3,531
270000	4,547
280000	5,279
290000	5,767
300000	6,199
310000	6,542
320000	6,837
330000	7,085
340000	7,301
350000	7,487
360000	7,651
370000	7,805
380000	7,961
390000	8,137
400000	8,543

Tabell 15. Mätning med bandbredden 250-400 kHz, utgång2.

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	260p
OUT1	
Mätning7	
f	V
90000	0,386
100000	1,35
110000	2,579
120000	3,85
130000	5,176
140000	6,683
150000	8,579

Tabell 16. Mätning med bandbredden 90-150 kHz, utgång1.

R1	26,9k
R2	119,3k
C1	260p
OUT1	
Mätning8	
f	V
90000	0,4366
100000	0,9196
110000	1,304
120000	1,701
130000	2,095
140000	2,5
150000	2,883
160000	3,266
170000	3,674
180000	4,023
190000	4,4
200000	4,777
210000	5,184
220000	5,565
230000	5,963
240000	6,368
250000	6,794
260000	7,271
270000	7,756
280000	8,318
290000	8,906
300000	9,6

Tabell 17. Mätning med bandbredden 90-300 kHz, utgång I.

R1	12k
R2	119,3k
C1	260p
OUT1	
Mätning9	
f	V
90000	0,414
100000	0,753
110000	1,016
120000	1,242
130000	1,479
140000	1,713
150000	1,949
160000	2,179
170000	2,417
180000	2,646
190000	2,867
200000	3,083
210000	3,304
220000	3,538
230000	3,744
240000	3,942
250000	4,149
260000	4,357
270000	4,559
280000	4,774
290000	5,003
300000	5,204
310000	5,414
320000	5,628
330000	5,84
340000	6,062
350000	6,278
360000	6,483
370000	6,706
380000	6,934
390000	7,166
400000	7,401
410000	7,636
420000	7,866
430000	8,177
440000	8,459
450000	8,777
460000	9,199

Tabell 18. Mätning med bandbredden 90-460 kHz, utgång 1.

R1	12k
R2	26,9k
C1	260p
OUT2	
Mätning10	
f	V
270000	1,045
280000	2,87
290000	3,747
300000	4,185
310000	4,561
320000	4,874
330000	5,136
340000	5,373
350000	5,591
360000	5,78
370000	5,952
380000	6,117
390000	6,276
400000	6,456
410000	6,634
420000	6,72
430000	6,826
440000	6,94
450000	7,04
460000	7,15
470000	7,255
480000	7,359
490000	7,459
500000	7,562
510000	7,662
520000	7,777
530000	7,895
540000	8,053
550000	8,47

Tabell 19. Mätning med bandbredden 270-550 kHz, utgång2.

R1	12k
R2	14k
C1	260p
OUT2	
Mätning11	
f	V
410000	1,999
420000	3,101
430000	3,981
440000	4,396
450000	4,74
460000	5,021
470000	5,278
480000	5,511
490000	5,72
500000	5,928
510000	6,1
520000	6,273
530000	6,433
540000	6,594
550000	6,766
560000	6,93
570000	7,085
580000	7,246
590000	7,4
600000	7,563
610000	7,731
620000	7,963
630000	8,484

Tabell 20. Mätning med bandbredden 410-630 kHz, utgång2.

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	41,4p
OUT2	
Mätning12	
f	V
440000	1,326
450000	1,831
460000	2,175
470000	2,286
480000	2,694
490000	3,412
500000	3,714
510000	3,787
520000	3,679
530000	3,7
540000	6,022
550000	6,243
560000	6,453
570000	6,65
580000	6,821
590000	6,982
600000	7,143
610000	7,275
620000	7,399
630000	7,54
640000	7,67
650000	7,81
660000	7,974
670000	8,253
680000	8,767

Tabell 21. Mätning med bandbredden 440-680 kHz, utgång2.

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	51,2p
OUT2	
Mätning13	
f	V
370000	1,363
380000	1,802
390000	2,054
400000	2,463
410000	3,5
420000	3,613
430000	3,539
440000	3,43
450000	5,602
460000	5,905
470000	6,152
480000	6,388
490000	6,604
500000	6,805
510000	6,997
520000	7,174
530000	7,025
540000	7,49
550000	7,652
560000	7,856
570000	8,152
580000	8,552

Tabell 22. Mätning med bandbredden 370-580 kHz, utgång2.

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	41p
OUT1	
Mätning14	
f	V
440000	0,5263
450000	0,6941
460000	1,134
470000	1,601
480000	1,619
490000	1,622
500000	1,629
510000	1,67
520000	1,727
530000	1,828
540000	2,099
550000	5,278
560000	5,644
570000	6,008
580000	6,36
590000	6,708
600000	7,049
610000	7,365
620000	7,66
630000	7,932
640000	8,208
650000	8,508
660000	8,867
670000	9,313

Tabell 23. Mätning med bandbredden 440-670 kHz, utgång1.

R1	99,5k
R2	119,3k
C1	61p
OUT1	
Mätning15	
f	V
320000	0,353
330000	0,582
340000	0,985
350000	0,998
360000	1,088
370000	1,366
380000	3,177
390000	3,577
400000	3,953
410000	4,357
420000	4,868
430000	5,442
440000	5,928
450000	6,371
460000	6,802
470000	7,256
480000	7,686
490000	8,152
500000	8,75
510000	9,438

Tabell 24. Mätning med bandbredden 320-510 kHz, utgång1.

Lågpasfilter UTGÅNG 1			Lågpasfilter UTGÅNG 2			Cin
R3	503 ohm		R3	503 ohm		160 nF
R4	3,24k		R4	-		
R5	-		R5	3,24k		
C2	270p		C2	270p		
C3	786n		C3	-		
C4	-		C4	786n		
RS	56,2k		RS	56,2k		

Tabell 25. Komponentvärden för lågpasfiltren, samt insignalens kondensator.