

TSTE05 Elektronik och mätteknik

Projektet (Lab2a och Lab2b): Aktivt filter

Sune Söderkvist, Kent Palmkvist, Mikael Olofsson

4 augusti 2017

Fyll i detta med bläckpenna

Laborant
Person- nummer
Datum
Närvaro lab 2a (ej obligatoriskt)
Godkänd lab 2b

1 Allmänt

Dimensionering av aktiva filter innebär i regel att man bestämmer värden på kondensatorer och motstånd i ett standardmässigt kopplingsschema. Valet av filterstruktur, dvs. kopplingsschemats utseende, bestäms av vilken typ av filter man vill ha (lågpass, högpass, bandpass, etc.) samt av krav på amplitudkarakteristikens branthet i övergången mellan passband och spärband. Komponentvärden för ingående motstånd och kondensatorer bestäms huvudsakligen av vilken gränsfrekvens eller vilka gränsfrekvenser man vill ha, samt av vilken förstärkning man vill att filtret ska ge. I denna projekt ska du dimensionera, simulera, koppla upp, mäta på och använda ett aktivt filter.

2 Översikt av uppgiften

Projektuppgiften innebär konstruktion av aktivt filter där flera moment som karaktäriserar ingenjörsmässigt konstruktionsarbete finns med. Den genomförs i grupper om två studenter, och *kvitteras ut separat av lektionsassistenten*.

Första momentet innebär beräkning av vissa komponentvärden för att filtret skall få önskade egenskaper. Detta måste varje grupp genomföra som förberedelse till nästa moment, som innebär simulering av konstruktionen varvid man verifierar att beräkningarna är korrekta. Simuleringsmomentet utgör 2 timmars-laborationen enligt schemat och äger rum i PC-labbet Freja, som ligger på 2:a våningen i hus B, mellan ingång 25-27, mellan B- och C-korridorerna. Detta är den laboration vi kallar lab 2a. Detta moment kan man också arbeta med hemma i sin egen dator, om man har tillgång till något lämpligt simuleringsprogram. Det går också att göra detta i Freja utanför schemalagd tid.

Nästa steg består av en hårdvarumässig uppkoppling av konstruktionen, där man mäter upp och jämför filtrets karaktäristik med simuleringsresultatet. Detta moment avslutas med att man får filtrera signalen från en CD-spelare genom sitt filter och lyssna på resultatet. Detta är den andra 4 timmars-labben, som också är en obligatorisk laboration och därför räknas in i lab-kursen. Detta moment genomförs i labsalen Transistorn.

Slutligen inlämnas skriftlig redogörelse, där samtliga moment i konstruktionsprocessen skall vara noggrant dokumenterade, till examinator. Bedömning av denna redogörelse sker på samma sätt som bedömningen av inlämningsuppgifterna (se Examination), och påverkar slutbetyget på samma sätt som en inlämningsuppgift.

3 Teori

Läs följande avsnitt i läroboken (*S Söderkvist: Kretsteori och elektronik*), sidorna 177-184, 373-391. Se också exemplet från föreläsning 8.

4 Förberedelse: Analysera och dimensionera

Bilda labpar och kvittera ut en projektuppgift av din lektionsassistent. I denna projektuppgift finns just ert aktiva filter, med uppgifter om vilka krav som ställs på det. Det är gränshfrekvens(er) och eventuella samband som ska gälla.

4.1 Analysera filtret

Det första du ska göra är att analysera ert filter.

1. Bestäm ett uttryck för frekvensfunktionen $H(\omega)$, där ω i vanlig ordning är vinkel-frekvens, samt motsvarande amplitudkaraktistik $|H(\omega)|$ för det aktiva filtret i din projektuppgift. Betrakta operationsförstärkaren som ideal.
2. Bestäm ett uttryck för maxvärdet för $|H(\omega)|$ samt om du har ett bandpassfilter, ett uttryck för den frekvens där detta maxvärde inträffar. Denna frekvens brukar kallas centerfrekvens eller mittfrekvens. Notera att denna frekvens normalt inte är mitt emellan gränshfrekvenserna.

4.2 Dimensionera filtret

Nästa steg är att dimensionera filtret, dvs. att bestämma komponentvärden så att filtret uppfyller de krav som är ställda i projektuppgiften.

3. Bestäm de komponentvärden som efterfrågas i projektuppgiften. Bestäm maxvärdet för $|H(\omega)|$ samt om du har ett bandpassfilter, bestäm vid vilken frekvens där detta maxvärde inträffar. Här kan det vara lämpligt att kontrollera att allt stämmer genom att sätta in gränsvinkelfrekvensen(-erna) i uttrycket för $|H(\omega)|$ och försäkra dig om att den förstärkningen är 3 dB lägre än maxvärdet.
4. Alla resistans- och kapacitansvärden finns inte att tillgå i labsalen. Närmare bestämt finns resistansvärden enligt E6-serien mellan 1 k Ω och 1 M Ω , medan kapacitanserna finns med värden enligt E6-serien mellan 1 nF och 100 nF. Dessa serier finns på sidan 199 i *S Söderkvist: Kretsteori och elektronik*. Bestäm därför också närmevärden för era uträknade komponentvärden genom att helt enkelt ta de närmaste värdena i respektive serie.

Antal lösningar

En del projektuppgifter har en entydig lösning. Andra har två eller oändligt många lösningar. Det räcker att hitta en lösning.

I fallet oändligt många lösningar, så är det alltid så att du får ett värde för produkten av en resistans och en kapacitans. Välj då lämpligen det ena värdet ur E6-serien och räkna sedan ut det andra. Försäkra dig då om att båda värdena ligger i de intervall som finns att tillgå i labsalen. Se ovan.

Tips för den som har ett bandpassfilter

Har man ett bandpassfilter erhålls en amplitudkaraktäristik av typen

$$|H(\omega)| = \frac{A}{\sqrt{g_1^2(C_1, C_2) + g_2^2(C_1, C_2, \omega)}}$$

g_1 är således en funktion av C_1 och C_2 , medan g_2 är en funktion av C_1 , C_2 och ω . Samtliga resistansvärden antas vara givna och insatta i funktionsuttrycken. Vid den ena gränsvinkelfrekvensen gäller $g_1 = g_2$ och vid den andra gäller $g_1 = -g_2$. Vilken hör till vilken gränsvinkelfrekvens? Kalla den ena gränsvinkelfrekvensen för ω_1 och den andra för ω_2 . Relationerna $g_1 = g_2$ och $g_1 = -g_2$ ger två samband mellan C_1 , C_2 , ω_1 och ω_2 . Ur dessa båda samband kan man dels bestämma ett uttryck på summan $C_1 + C_2$ uttryckt i ω_1 och ω_2 , samt dels ett uttryck på produkten $C_1 C_2$ uttryckt i ω_1 och ω_2 . Ur de uttrycken är det sedan enkelt att bestämma de två sökta värdena.

Notera att C_1 och C_2 alltid är reella och positiva, och därmed också deras summa och produkt. Skulle detta inte gälla för din lösning, så är det mycket möjligt att du har tagit fel på vilken gränsvinkelfrekvens som hör ihop med $g_1 = g_2$ och vilken som hör ihop med $g_1 = -g_2$.

I vissa uppgifter är det R_1 och R_2 som söks och inte C_1 och C_2 . C_1 och C_2 får då bytas mot R_1 respektive R_2 i ovanstående resonemang.

5 Lab 2a: Simulering

Detta labpass genomförs i labsalen Freja. Inloggning på datorerna i Freja görs med det lösenord man fick när man hämtade ut sitt studentmejl. Fungerar inte detta lösenord, gå till adressen <https://account.liu.se/password> och välj ett nytt lösenord. Inom ett dygn är det valda lösenordet användbart för inloggning. OBS! Man måste vara registrerad på kursen för att kontot ska fungera på ISYs datorer. Får du trots det problem, kontakta ISYs datorsupport support@isy.liu.se eller läs mer under adressen <http://www.isy.liu.se> (klicka där på "grundutbildning" sedan på FAQ under rubriken ISY-s studentdatorsystem). Då det tar ett dygn innan inloggningen fungerar, så kan det vara en bra idé att kontrollera att inloggningen fungerar någon dag *innan* lab 2a.

5.1 Användning av NI Multisim

Under simuleringspasset används simuleringsverktyget NI Multisim från National Instruments. I mappen Kursdokument/Laborationer Elektronik i kursrummet i Lisam finns filen TSTE05-Projektet-Exempelfil.ms12, som innehåller exempel på ett aktivt filter uppkopplat kring en operationsförstärkare.

Programmet startas från Start->All programs->National Instruments
->Circuit Design Suite 12.0->Multisim 12.0

Lägg till komponenter genom att välja bland de tre symbolerna längst till vänster på 2:a raden av ikoner längst upp på sidan. "Place basic" ger tillgång till R, L och C. Välj typ i "Family" kolumnen till vänster, och sedan värde i mittkolumnen. Tryck OK och symbolen dyker upp på schemat. Tryck på schemat där den ska placeras.

Koppla ihop komponenter: Flytta markören till komponentens anslutning, symbolen byts till ett kors med en punkt i. Klicka på en punkt som ska anslutas. Flytta markören till dit ledningen ska kopplas, och klicka även där.

OP-amp (741) hittas i "group" Analog, Family opamp. Det visas med pin-nummer. Anslutningarna anges med de nummer som sedan gäller vid hårdvarulabben: 1 och 5 används inte. 2 och 3 är inverterande respektive icke-inverterande insignal. 6 är utsignal. 4 och 7 är negativ respektive positiv matningsspänning. De sistnämnda måste kopplas till likspänningskällor relativt jord för att simuleringen ska fungera.

Insignal tas från group Sources och family SIGNAL_VOLTAGE_SOURCES. Där finns AC_voltage. Glöm inte heller att lägga in en jord (GROUND) på rätt ställe i schemat. AC-källan styrs automatiskt av bode-plottern när bode-plottern läggs till schemat (se nedan).

Mätinstrument: För koppla in mätinstrument hittas olika oscilloskop, bode plotter (amplitudkaraktistik) etc i kolumnen till höger. För att få reda på spänningar och strömmar i schemat kan en "Measurement probe" läggas till (Simulate->Instruments

->Measurement probe), vilket ger en gul ruta med potential och ström beskriven både som DC och AC. Genom högerklick->properties kan man välja vilka värden som ska visas.

Parametrar för amplitudkaraktistiken: Dubbelklicka på bode-plottern för att ställa in parametrar och se kurvan. Det finns en röd trekant längst upp vilket styr en röd cursor (röd vertikal linje). Högerklicka på cursor för att kunna ställa in speciell frekvens eller amplitud.

Spara en plot: För att få en plot att skriva ut används **Tools->capture screen area** vilket ger en streckad fyrkant som kan flyttas och justeras storleksmässigt. Tryck därefter på den lilla symbolen överst till vänster precis ovanför den streckade rutan. Detta lägger denna del av skärmen i copy-paste bufferten, och kan därefter klistras in i t ex paint.

5.2 Detta förväntas som resultat av simuleringen

Simuleringen har två syften:

1. Verifiering av filterkraven. Det ska alltså framgå att filtret har rätt gränsfrekvens(er), och att maxvärdet på amplitudkaraktistiken stämmer med era beräkningar.
2. Förberedelse inför uppkopplingen. Eftersom du kommer att använda närmevärden ur E6-serien, så kommer filtrets amplitudkaraktistik inte exakt att stämma med era beräkningar. Vi vill därför se hur amplitudkaraktistiken ser ut med dessa närmevärden.

För att uppnå dessa två syften behövs två simuleringar:

1. Simulera filtret med exakt uträknade komponentvärden. Resultatet ska vara en eller flera grafer som tillsammans visar att filterkraven uppfylls.
2. Simulera filtret med valda komponentvärden ur E6-serien. Resultatet ska vara en eller flera grafer som tillsammans visar amplitudkaraktistikens resulterande maxvärde och gränsfrekvens(er).

Det finns markörer som man kan använda för att göra sifferavläsningar i graferna. Använd vettiga gränser för grafernas axlar. Simuleringsverktyget har en tendens att använda onödigt stort spann på dB-axeln. Det finns aldrig någon anledning att titta på dämpningar som är så stora som 200 dB.

Kom ihåg att gränsfrekvenser definieras som de frekvenser där amplitudkaraktistiken är 3 dB lägre än dess maxvärde.

Om simuleringen stämmer

Be gärna din labassistent att verifiera att era kurvor ser rimliga ut, att de indikerar det de ska indikera, innan du lämnar labsalen.

Om simuleringen inte stämmer

Om gränsfrekvenserna inte stämmer med kraven i projektuppgiften, så har du fel komponentvärden, och behöver göra om era beräkningar. Gör därefter om simuleringen enligt ovan. Det behöver du antagligen göra utanför schemat. Programvaran finns endast i labsalen Freja, och den salen är åtminstone öppen under kontorstid. Närhelst ingen undervisning sker där, så kan du använda en ledig dator. Du kommer åt din fil från alla datorerna. Inget sparas lokalt på någon dator.

6 Lab 2b: Uppkoppling, mätning och användning

Den sista delen utförs på lab 2b, ett 4-timmarspass som genomförs i labsalen Transistorn. Då kopplar du upp filtret, mäter på det för att se hur väl det uppfyller ställda krav, och slutligen får du använda filtret genom att lyssna på musik som filtrerats med ert filter.

6.1 Labutrustning

Även i denna laboration används labutrustningen ELVIS II. Titta därför gärna ännu en gång i *Bilaga till ISY-laborationer med ELVIS II* av Lasse Alfredsson som beskriver mätinstrument och annan utrustning som skall användas i laborationerna. Den senaste versionen av den bilagan ska finnas på

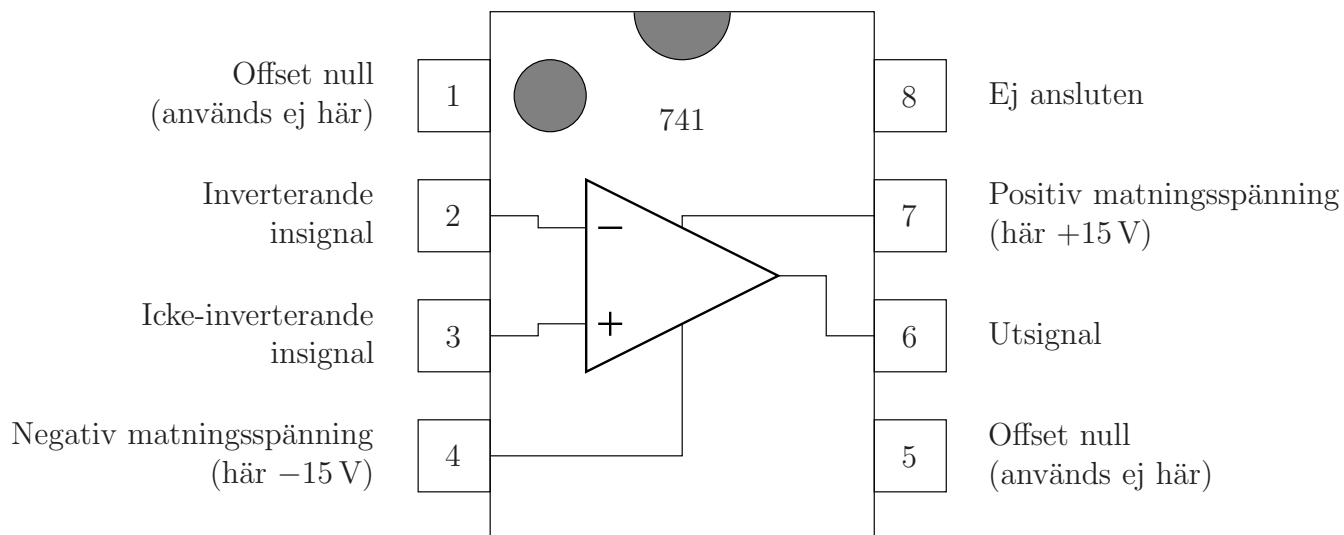
http://www.cvl.isy.liu.se/education/Lab-bilaga.ELVIS_II.pdf.

Det dokumentet ska också finnas på skrivbrdet på datorerna i Transistorn.

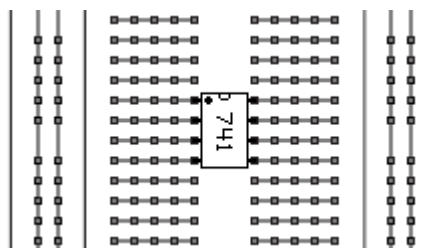
6.2 Uppkoppling

- Koppla upp filtret på ELVIS kopplingsplatta. Använd de komponentvärden som du har valt ur E6-serien.
- I figur 1 framgår hur operationsförstärkarens anslutningar är fördelade, och i figur 2 visas hur operationsförstärkaren bör placeras på kopplingsytan.
- Se figur 7 på sidan 7 i *Bilaga till ISY-laborationer med ELVIS II* av Lasse Alfredsson för information om hur kopplingsplattans kontaktpunkter är sammankopplade.
- Kontrollera alla motståndsvärden och kapacitansvärden genom att mäta dem med den multimeter (DMM) som finns till ELVIS. Använd då krokodilklämmor vid inkopplingen. Trycker man komponenternas anslutningar mot banankontakterna med händerna kommer kroppens resistans och kapacitans att påverka mätningen. Anteckna gärna märkvärden och uppmätta värden. De kan vara bra att ha till rapporten.
- Undvik långa jordledningar, och speciellt jordslingor, då det kan orsaka att kretsen tar upp störningar från omgivningen. Dessa störningar kommer framför allt från elnätet och har därför en grundfrekvens på 50 Hz. Idealt ska alla jordanslutningar samlas i en punkt. Koppla denna jord till anslutning nummer 53 (märkt GROUND) långt ner till vänster på ELVIS.
- Operationsförstärkaren behöver matningsspänning. I denna lab är det +15 V och -15 V, och de finns på anslutningarna 51 och 52 (märkta just +15 V och -15 V).
- Innan du går vidare med de egentliga mätuppgifterna, använd signalgeneratoren och oscilloskopet för att försäkra dig om att filtret i princip fungerar som avsett.

Be gärna din labassistent att verifiera att ert filter uppför sig som det ska.



Figur 1: Pinout för operationsförstärkaren 741. Tre av benen används inte. *Det innebär inte att de benen ska brytas bort eller åt sidan!!!* Alla kretsens åtta ben ska tryckas ner i kopplingsplattans hål. Men, sedan kopplas inget till de hål som är hopkopplade med dessa tre ben.



Figur 2: Hur operationsförstärkaren bör placeras på kopplingsytan. De grå linjerna indikerar hur hålen i kopplingsplattan är sammankopplade.

6.3 Mätuppgifter

I dessa mätningar: *Gör skärmdumpar av varje graf som du skapar, så att du kan använda dig av dessa då du redovisar laborationen i labrapporten.*

Här ska mätinstrumentet Bode användas. Det utför de mätningar du gjorde för hand i lab 1 automatiskt och genererar en så kallad Bode-plot, vilket är amplitudkaraktistiken i en graf och faskarakteristiken i en annan. Då används samma resurser för signalgenereringen som annars används av signalgeneratoren. Vidare används samma resurser för själva mätningen som annars används av oscilloskopet. Därför måste både signalgeneratoren och oscilloskopet vara avstängda. Insignalen till kretsen tas från anslutning 33 (märkt FGEN) nere till vänster på ELVIS. Mätningen görs med oscilloskopsingångarna på vänster *sida* av ELVIS (märkta CH0 och CH1). Insignalen mäts med CH0 och utsignalen mäts med CH1.

Man ställer in ett frekvensintervall att mäta över genom att ange intervallets gränser och man anger antalet mätpunkter per dekad. Man anger också en amplitud. Amplituden kan genomgående vara 1 V i dessa mätningar. När man kör instrumentet, gör det en mätning per sådan frekvens och bygger successivt upp de två kurvorna. En sådan mätning vid en frekvens är då en sinusformad insignal med just den frekvensen, och så mäts amplitud och fasvridning för såväl insignal som utsignal, och sedan plottas kvoten mellan amplituderna i amplitudkurvan och skillnaden mellan fasvridningarna i faskurvan.

Det finns en markör som man kan använda för att göra avläsningar i grafen vid de frekvenser där mätningar gjorts. Använd denna markör i avläsningarna nedan och låt markören stå på rätt ställe då du gör skärmdumpar.

1. Först ska du göra en mätning för att se amplitudkaraktistiken över ett relativt stort frekvensområde. Denna graf gör du lämpligen för frekvenser mellan 10 Hz och 100 kHz. För att mätningen inte ska ta orimligt lång tid är det lämpligt att välja 10 mätpunkter per dekad. Detta blir en grov mätning såtillvida att frekvensupplösningen är låg. Anteckna nu ungefärligt var gränsfrekvenserna ligger enligt denna mätning, och vad största förstärkningen är. För BP-filter, anteckna även ungefärlig centerfrekvens.
Anteckna och gör skärmdump!

2. Bestäm max-förstärkningen. För ett LP-filter, så läser du av amplitudkurvan för en mycket låg frekvens. För ett HP-filter läser du av amplitudkurvan för en mycket hög frekvens. Det kan hända att maxförstärkningen inte infaller sig vid mycket låg frekvens (LP) eller mycket hög frekvens (HP). Var därför uppmärksam på det och se i så fall BP-filter nedan. För ett BP-filter (och för LP resp HP om inte maxförstärkningen är där den ska vara), bestäm den faktiska centerfrekvensen och den största förstärkningen. För detta mäter du över ett mindre frekvensintervall, men med högre frekvensupplösning. Välj ett *litet* frekvensområde som innehåller din uppskattade centerfrekvens enligt ovan, och gör en ny mätning med minst 200 punkter per dekad.
Anteckna och gör skärmdump!

3. Bestäm de(n) faktiska gränsfrekvensen(-erna). För var och en av gränsfrekvenserna, så gör du på samma sätt som för centerfrekvensen ovan. Alltså, välj ett litet frekvensområde som innehåller den uppskattade gränsfrekvensen enligt ovan, och gör en ny mätning med minst 200 punkter per dekad. *Anteckna och gör skärmdump!*

Era mätningar avviker antagligen en aning från de teoretiska siffrorna. *Vad kan det bero på? Vad tror du dominerar bilden?*

Redovisa detta för labassistenten innan du går vidare till nästa del. Redovisa speciellt era grafer.

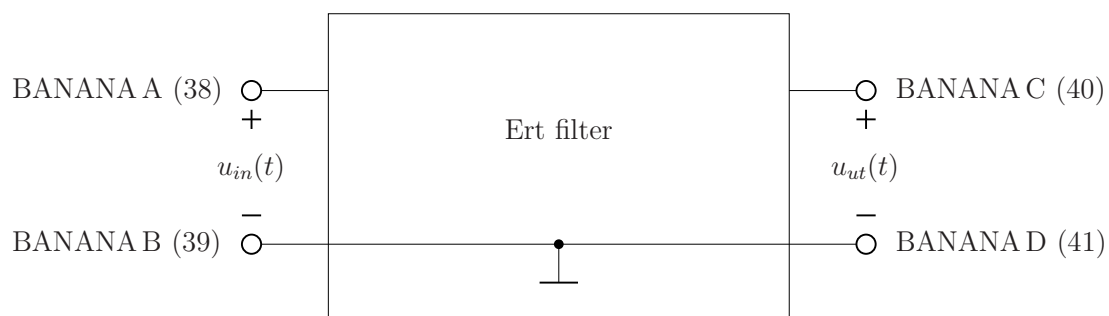
6.4 Lyssna

Avslutningsvis ska du få använda ert filter. Du ska få lyssna till hur musiken från en CD-spelare påverkas om den får passera ert filter.

Koppla bort insignalanslutningen från FGEN och oscilloskopsanslutningarna. Anslut sedan kretsens insignal och utsignal till banankontakterna via anslutningarna 38–41 enligt figur 3.

Labassistenten hjälper dig sedan att koppla in detta till en enkel ljudanläggning.

Hur förändras ljudbilden av filtret? Anteckna!



Figur 3: Ert filter med angivelse om inkoppling till banankontakter.

7 Rapporten

Rapporten ska vara typsatt. Här duger det alltså inte med en handskriven redogörelse. Rapporten ska redovisa allt du har gjort i detta projekt. Här ska finnas följande:

- **Från förberedelserna:**

Alla beräkningar och alla resultat av dessa beräkningar. Samma krav ställs här som på övriga inlämningar, nämligen att använda storheter är definierade, att det går att följa ert resonemang, att svaren är korrekta och att lösningen är i allt väsentligt korrekt.

- **Från simuleringarna:**

Alla grafer med markering för maxförstärkning (centerfrekvens) och gränsfrekvens(er), både för fallet exakt uträknade komponentvärden och för fallet med komponentvärden valda ur E6-serien. Siffervärden ska framgå från dessa grafer.

- **Från mätningarna:**

Relevanta grafer med markering för maxförstärkning och gränsfrekvens(er). Siffervärden ska framgå från dessa grafer.

- **Från lyssningen:**

Kommentarer om hur musiken låter när den är filtrerad genom ert filter, jämfört med hur den låter när den är ofiltrerad.

- **Kommentarer och jämförelser:**

Jämför teoretiska värden med resultat från simulering användande exakt uträknade komponentvärden. Jämför simulering användande exakt uträknade komponentvärden med simulering användande E6-värden. Och jämför simulering användande E6-värden med mätningar. Hur lika eller olika är det? Vad kan observerade olikheter bero på?

Vad händer om man får komplettering på rapporten?

Precis som med de övriga inlämningsuppgifterna, så får du fixa till det som behöver fixas till, och göra en ny inlämning. Vi är lite mer tillmötesgående med kommentarer till labrapporten, jämfört med de vanliga inlämningsuppgifterna, i händelse av komplettering.

- Om analysen eller dimensioneringen inte stämmer, så får du göra om den. Då kan det vara så att simuleringen behöver göras om. Kasta därför inga filer förrän kursen är avslutad.
- Om något är otillräckligt i simuleringen, så behöver den definitivt göras om.
- Om graferna från mätningarna inte duger, så får du göra om uppkopplingen och mätningarna. I det fallet får du boka en tid med kursledningen då du kan göra det. Det brukar ta c:a en timme att göra om det. Ha därför inte för bråttom med att gå hem från lab 2b.