

Program för kretssimulering

Electronics Workbench

Av SMOAQW Jan Gunmar
Gamla Ekerövägen 42, 178 38 Ekerö
Tel 08-56031996
e-post: jan.smoaqw@swipnet.se

Konstruktionsarbete – en upptäcktsfärd

Konstruktionsarbete är ofta en upptäcktsfärd - man varvar beräkningar med praktiska försök för att successivt närma sig sig ett konstruktionsmål. Under vägen upptäcker och lär man sig nya fakta, både om konstruktionen och sitt eget arbetssätt. Upptäcktsfärden kan dock bli en lång vilsevandring om man inte närmar sig uppgiften på ett systematiskt sätt.

Min egen erfarenhet är att tid för labarbete kan bli ganska improduktiv om man saknar odik och bra hjälpmedel. Metodik är oerövvis en kompetensfråga, men bra hjälpmedel för att beräkna, simulera och mäta bidrar starkt till att styra upp hur man planerar och genomför arbetet.

Vanligen börjar man vid skrivbordet med att analysera en enkel modell av den krets-funktion man vill åstadkomma. Sådana modeller är ofta rent matematiska (några ekvationer eller ett blockschema) och man gör olika analyser för hand för att övertyga sig om att man har tänkt principiellt riktigt. Nästa steg blir att låta verkligheten komma närmare - var kommer de praktiska svårigheterna in? Vilka antaganden om spänningsnivåer, uteffekter, förluster, förstärkning, bandbredd, noggrannhet osv behöver jag göra - vilka praktiska komponenter kommer jag att behöva? Vilka delar av kretsen är känd teknik som jag kan återanvända och vilka delar behöver provas? Skriv en liten specifikation!

Nu är det läge för att använda ett program som Electronic Workbench. Rita ett schema på bildskärmen, välj data för komponenterna, koppla in matningsspänningar, en signalkälla och ett eller flera mätinstrument (voltmeter, oscilloskop osv) och man kan direkt se sin kretsidé vakna till liv! Man kan ändra värden på komponenter och spänningar och direkt se förändringarna i kretsens beteende och man kan sedan dokumentera och spara resultat i form av diagram och listor.

ELECTRONIC WORKBENCH

Electronic Workbench 5.0 gör bra skäl för namnet. Man får en "lab-bänk" som innehåller de mätinstrument och de komponenter man behöver för att konstruera både analoga, digitala och blandat digitala-analog kretsar. Programmet finns i två versioner: en grund- ("amatör"-)version och en proffs-version EDA (EDA - Electronic Design Assistant). De båda versionerna har samma grundprestanda, men med proffsversionen kan man göra fler typer av analyser som är värdefulla när man till exempel vill studera

producerbarheten hos en konstruktion inför en serietillverkning. Proffsversionen EDA är dock betydligt dyrare än grundversionen. Det finns en 30 dagars demo av EDA på en CD för den som vill prova hur programmet uppför sig.

SPICE

Kretssimulering blev ett prioriterat område för programutveckling redan i början på 1960-talet. Många av de stora elektronikföretagen utvecklade egna kretssimulatorer och universitet och andra forskningsinstitutioner har också bidragit stort. Simulering är ju lika användbart vid undervisning och forskning som vid produktutveckling!

SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis) är en familj av simuleringsprogram som blivit en de facto standard världen över under årens lopp. SPICE började bli tillgängligt under 1970-talet och utvecklades fortfarande (Berkeley University, California). De stora versionerna av SPICE körs fortfarande på avancerade arbetsstationer och stordatorer, men numera finns också varianter för moderna persondatorer. Att jobba med SPICE är dock ganska knöligt om man inte är yrkesman. Det finns många bra böcker om SPICE och hur man använder det.

Electronic Workbench 5 (EWB) är uppbyggt kring en "motor" som är en 32-bitars version av SPICE, version 3F5. Programets motor är utvidgad med av Interactive Images Technology utvecklat stöd för digital och blandad digital-analog simulering och medger upprepad användning av hierarkiska kretsblock ("subcircuits"). Det finns ingen förinställd gräns för kretsstorlek eller komplexitet påstår leverantören.

EWB är ett sk integrerat och interaktivt verktyg, vilket innebär att man omväxlande kan rita eller ändra på schemat, studera frekvenskaraktistikor och vågformer, mäta och analysera utan att behöva växla mellan olika programmoder. De "virtuella instrument" som man kan koppla in för att mäta eller stimulera är en digital V/A-meter, dubbelspåleoscilloskop, en funktions- (vågform-)generator, en frekvensgångsanalysator

(kallas Bode-plotter) samt digitala instrument: ordgenerator, logikanalysator och logikomvandlare. Man kan ändra kretsparametrar under simuleringen och direkt se ändringar på mätinstrumenten.

ANALYSER

Man kan göra sex olika typer av kretsanalyser med EWB5:

- Analys av DC arbetspunkter - man kan sammanställa rapporter som visar likspänningsnivån i varje knutpunkt (nod) av kretsen
- Transientanalys - man får en rapport med diagram över spänningar och strömmar som funktion av tiden vid utvalda noder. Man kan välja start- och stopptidpunkt
- Svept analys av frekvensgång - man erhåller diagram över amplitud- och fäsgång mellan utvalda noder i kretsen. Skälorna i diagrammet kan ändras inom vida gränser och kan väljas logaritmiska (dB) eller linjära
- Fourieranalys - storlek och fasläge hos spektralkomponenterna i en utsignal kan studeras
- Brusanalys - bidragen till kretsbrus från resistanser och halvledare rapporteras som ett effektivvärde för utvalda noder
- Distorsion - småsignal övertoner och intermodulationsprodukter analyseras över ett förvalt frekvensområde för en krets i fortvarighetstillstånd.

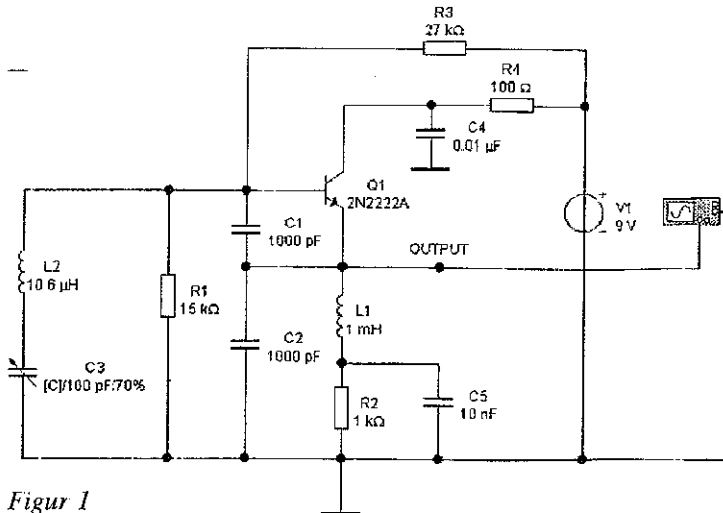
Alla rapporter och diagram från dessa analyser kan sparas.

KOMPONENTMODELLER

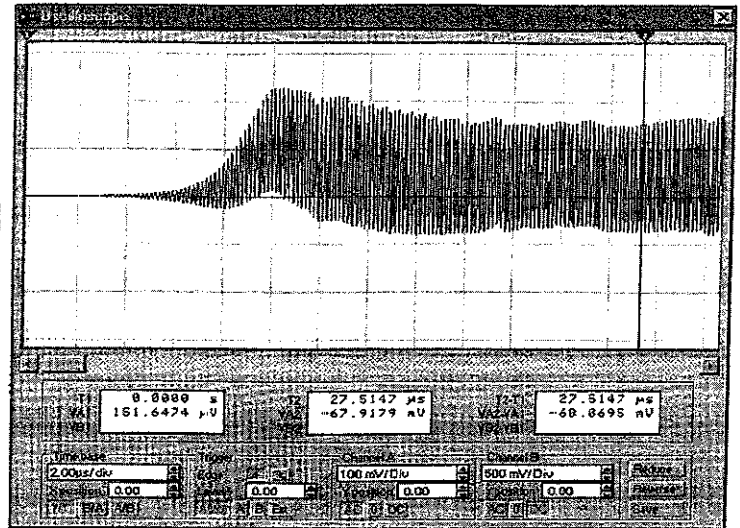
Det finns ca 4000 komponentmodeller i EWB. De gängse passiva elementen - motstånd, kondensatorer, spolar och transformatorer - finns med liksom reläer, kristaller och transmissionsledning. För många aktiva element - transistorer, dioder och IC - finns ett stort antal separata modeller för olika tillverkarens typnummer: Texas, Motorola, Philips, National och många andra finns representerade. Det finns tolv olika typer av MOSFET transistorer i komponentmenyn.

Bland digitalkretsarna finns de vanligaste 74XX- och 74XXX-kretsarna medtagna. Det finns A/D och D/A omvandlare (Analog Devices, Burr-Brown m fl), 555-timern och andra specialkretsar. Det finns också elektronrör, dock endast trioder - t ex 12AT7 om någon minns den typen! Även en DC-motor finns med om man vill simulera ett servosystem.

Man kan göra en egen komponentmodell genom att modifiera och spara en EWB-komponent under ett nytt namn. För enkla passiva komponenter är detta inte så svårt, men modifiering av t ex en transistor eller IC fordrar ingående kunskaper om vad de olika parametrarna representerar - en transistor beskrivs med 41 parametrar! Modifiering av mer komplexa komponenter kräver god kän-



Figur 1
Exempel på schema - serieavstämmd Colpittsoscillator ("Clapp-oscillator") avritat ur en gammal ARRL-handbok. Schemat förses automatiskt med komponentbeteckningar (om man vill) men dessa går att editera. Kondensatorn C3 i schemat är variabel och inställd på 70 nF = 70% av 100 pF. Utgången OUTPUT skapas genom en extra knutpunkt. Det virtuella oscilloskopet är anslutet till oscillators utgång.



Figur 2 - Startförlopp för Colpittsoscillator. Visar oscilloskopbild när Colpitts-oscillatoren i figur 1 startas. Oscilloskopet är ett dubbelstråleinstrument, men här används endast kanal A. De tre sifferfönstren i bilden visar signalens amplitud vid tidpunkterna T1 (VA1) och T2 (VA2) samt differenserna T2-T1 och VA2-VA1. Kanal A är AC-kopplad med tidbasen 2 ms/cm och känsligheten 100 mV/cm. Det tar tydligen ca 27 ms (T2 - T1) innan oscillatoren kommit igång med någorlunda konstant amplitud.

nedom om SPICE och hur detta behandlar komponentbeskrivningar.

Det finns också ett antal modeller av reglersystemkomponenter: integrator, differentiator, förstärkarblock, summeringsblock, olinjära element m m samt dynamiska block med en överföringsfunktion (Laplace-operator) som man kan specificera själv. Om man har litet förkunskaper kan man göra ganska komplexa analogsimuleringar av elektromekaniska system.

SCHEMATITNING OCH START AV SIMULERING - UTSKRIFTER

VB är lätt att använda. Med litet vana vid konstruktionsarbete och Windows kan man vara i full färd med simulering inom en timme efter att man installerat programmet!

Man börjar alltid med att rita ett schema. Schemaritning kan göras med amerikanska (ANSI) eller europeiska (DIN) symboler. De olika komponentsymbolerna finns samlade i grupper på ett antal grundmenyer. Man öppnar t ex menyn för passiva komponenter och "drar" sedan ner komponenter på arbetsytan med musen. Behöver man t ex fyra kondensatorer på 47 pF drar man ner symbolen för en standard kondensator (1uF), modifierar kapacitansen till 47 pF och kopierar sedan symbolen tre gånger till arbetsytan. Sedan flyttar man symbolerna till de platser där de ska ligga. Kopiering och editering styrs med höger musknapp efter att man markerat komponenten. Via den knappen kan man också rotera eller vända på en komponent-nöbol.

Komponenter förbinds med varandra genom att klicka intill en komponentanslutning och sedan dra en ledare till nästa komponent med musen. Ledningsdragningen blir snygg från början - 90 graders böjar läggs in auto-

matiskt när de behövs och det är lätt att finjustera ledningsdragningen när man börjar bli färdig. Schemat annoteras automatiskt om man vill - komponentbeteckningarna går att ändra för hand. Det går fort att rita schema efter litet övning. Ett sätt att snabba upp jobbet är att först bygga upp ett komponentförråd på ena sidan av bildskärmen och sedan dra symbolerna till sina preliminära platser och förbinda dem.

När schemat är färdigt kopplar man in källor för driv- och matningsspänningar av olika slag som hämtas från en särskild meny. En trivial men viktig symbol är jordpunkten - om en jordpunkt inte är ansluten startar inte simuleringen! Till sist kopplar man in de mätinstrument man vill använda. Man kan bara utnyttja ett exemplar vardera av de "virtuella" mätinstrumenten (DVM, oscilloskop, funktionsgenerator osv) men det finns också en särskild meny med olika "indikatorer" (V-meter, A-meter, LED-display m fl) som man kan använda många av inne i kretsen för att hålla reda på vad som händer.

Figur 1 visar ett krets-schema för en Colpitts-oscillator avritat ur en gammal ARRL-handbok. Det tog mig ca 10 minuter att rita schemat i EWB.

Bilden har kopierats som bitmap till Windows klippbord och sedan klistrats in i manuset för denna artikel (skriven i Word 7 och sedan importerad till Pagemaker).

SIMULERING

Man startar en simulering genom att trycka på en "ON/OFF"-knapp i verktygsraden. Figur 2 ovan visar oscilloskopbild när Colpitts-oscillatoren i figur 1 startas. Om man ska döma av EWB-s oscilloskopbild är denna oscillator ingen höjdark. Utsignalen är ganska ful - signalenveloppen är modulerad

med en lågfrekvent signal.

Man kan göra en paus i beräkningen ("PAUSE") och sedan fortsätta igen där man slutade. Simuleringsdata lagras i en temporär fil för att ge möjlighet att spara dem. Man kan sedan spara spänningsvärdena vid ett antal utvalda krets-noder i en ASCII-fil. Då används en särskild virtuell "komponent" som heter "Write Data" som ansluts till de noder man vill registrera. Se upp med filstorleken efter en lång simulering!

LAGRING OCH UTSKRIFT AV RESULTAT

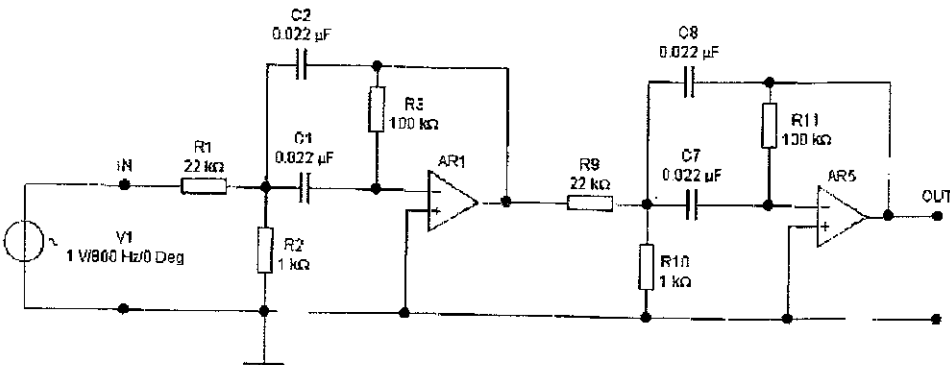
När en simulering är klar kan man skriva ut ett komplett resultat via Print-kommandot. Man kan i ett svep skriva ut några eller alla av schema, kretsbeskrivning, komponentlista, egna modelldefinitioner samt resultat av de analyser som gjorts: diagram, oscilloskopbilder, listor m m.

Diagram, bilder och listor från någon av de sex analyserna kan lagras i särskilda diagramfiler. Diagramfilerna kan öppnas senare och redigeras m a p skaltyp (lin eller log) och skalområde. Man kan också "fylla på" en diagramfil för en given krets med ytterligare data. Detta är en värdefull funktion, men man får vara noga med att annotera (sätta in förklarande text) i de olika diagrammen så att man inte förväxlar dem senare.

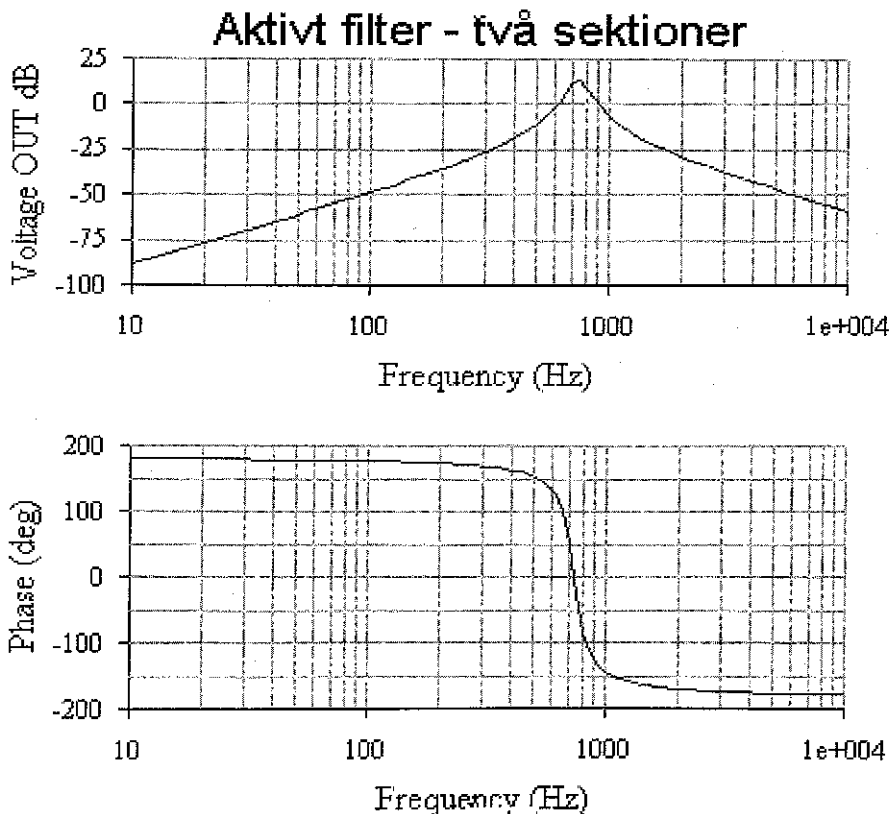
Det går också att kopiera schemabilder till Windows klippbord via "Copy as Bitmap". Därifrån kan de direkt klistras in i text Word-dokument. Använder man den vanliga Copy-funktionen får klippbilden andra komponentbeteckningar än originalet - se kommentar ovan. Om man vill redigera schemat kan det vara lämpligt att först klistra in det i Windows Paint, Photoshop eller något annat bitmap-program, redigera där (och spara) och sedan kopiera över till Word (eller lägga in som objekt).

FREKVENSPANALYS

Ett annan värdefull analysmod är AC Frequency Analysis. Analysen kan göras antingen med instrumentet Bode Plotter m a p amplitud- och frekvensgång mellan två utvalda punkter eller med kommandot AC Frequency Analysis. I det senare fallet kan man rita amplitud- och faskurvor för flera utvalda noder i kretsen. Figureerna 3 och 4 visar schemat och resultatet av en frekvensanalys för ett aktivt CW-filter med två operationsförstärkare



Figur 3 Schema för aktivt filter. Filtret är beräknat för att ge en resonansstopp vid ca 750 Hz, men komponentvärdena är avrundade till närmaste $\pm 10\%$ standardvärde. Schemat gjort genom att först rita en filtersektion, markera och kopiera den ("copy") och sedan klistra in ("paste") den igen på arbetsytan och förbinda. När man klistrar in urklippad ändras dess komponentnumrering så att konflikt med originalet undviks. Det är därför som resistanserna heter R1 - R3 och R9 - R11; varför R9 inte heter R4 i stället får man fråga programkonstruktören om. Det går dock bra att sedan ändra numreringen från R9 - R11 till t ex R4 - R6 om man vill. Kurvorna i figur 4 visar amplitud i dB rel 1 V samt fäsvridning för filtret som funktioner av frekvensen



Figur 4 - Aktivt filter - förstärkning och fäsvridning
Man kan gå in och förstora upp ett litet område av ett diagram för att göra noggrannare avläsningar, se fig 5. Det går att lägga in "pekare" (cursors) i EWB-s analysfönster för finavläsning (de vertikala linjerna) och man kan också läsa de utpekade numeriska värdena i ett litet datafönster. Förstärkningen vid resonans avläses till 14 (2214) dB och resonansfrekvensen hamnar på 740 (4355) Hz (siffrorna i parentes kan säkert försummas i praktiken!). I figur 6 kan man se att 3 dB-bandbredden blir $2 \times (787.2128 - 740.4355) =$ ca 94 Hz för detta filter.

Ytterligare ett sätt att dokumentera är att använda skärmdumpfunktionen i Windows (Print Scrn eller Alt Print Scrn) och sedan editera och lagra skärmbildklippet med ett bitmap-program

Programmet har ett särskilt textfönster där man kan skriva en beskrivning av sin krets och göra anteckningar om resultatet. Möjligheterna att dokumentera är bra men det kan ta litet tid innan man utforskat alla möjligheter och förstått hur man ska använda dem. Återigen: det är lätt att skapa ett sammelsurium av diagram som man inte förstår efteråt, därför att man inte varit noga med bokföringen!

NOGGRANNHET

De flesta beräknings- och simuleringsprogram ger resultat som avviker från de värden som kan anses vara "exakta". Avgörande för noggrannheten i en simulering är beräkningsgången (algoritmen) och dess avrundningsfel. Om beräkningsgången t ex innehåller beräkning av differenser mellan stora tal och värdena hos differenserna är de resultat som man är ute efter, så kan avrundningsfel i beräkningarna påverka resultatet avsevärt - det är ju de sista decimalerna som bestämmer resultatet.

Jag har inte kunnit hitta några utfästelser om beräkningsnoggrannhet i dokumentationen för EWB. Programmet medger ju att man kan "skruva" på åtskilliga parametrar i de beräkningsrutiner som används för ekvationslösning och integration ("analysis options"). Därför har jag gjort några enkla tester av programmet och jämfört de resultat EWB5 ger med redan kända resultat

EXEMPEL

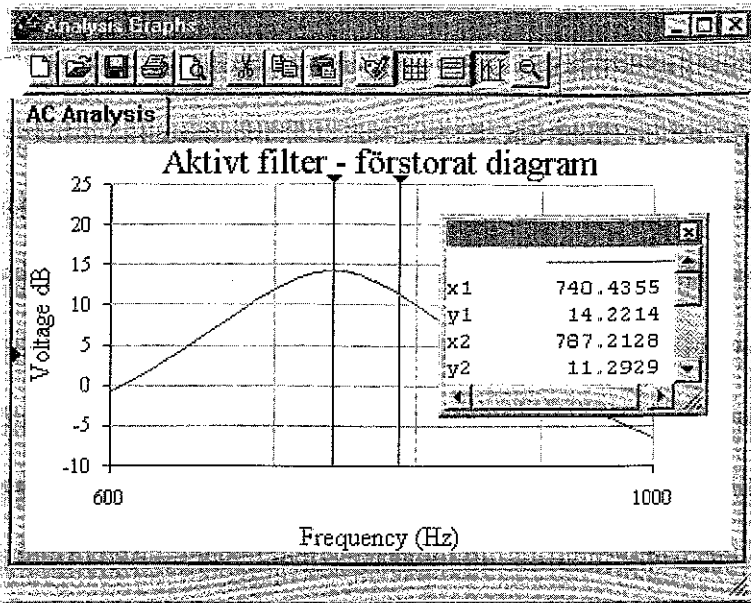
Enkelt RC-filter

Det första provet är en simulering av ett enkelt RC-lågpassfilter - $R = 1000$ ohm och $C = 1$ mF. En beräkning med en HP-kalkylator ger brytfrekvensen 159.1549 Hz och EWB svarar med en frekvens av 159.1858 Hz för en indikerad fäsvridning av -45.0000 grader. Inte illa! Avvikelsen från det handräknade värdet är mindre än 0.02%, vilket måste ges klart godkänt

Fakta Electronic Workbench

EWB5 kräver minst Windows 3.1 och en dator med lägst 486-processor med minst 8 Mb RAM (16 Mb rekommenderas). Programmet behöver ca 20 Mb utrymme på hårddisken och kan köras under Windows 95 eller Windows NT. Jag har själv provat EWB5 under Windows 95 på en 90 MHz Pentium med 32 Mb RAM.

Cirka pris: **Electronic Workbench** version 5.0 (grundversion) 6 analysmodeller, 4000 modeller 2.900 kr + moms
14 analysmetoder, 8000 modeller 9.800 kr + moms
Leverantör: Terco, Huddinge. Tel 08-7404201



Figur 5 - Mätning av resonansfrekvens och bandbredd hos aktivt filter

En sinusoscillator med två integratorer.

Om man motkopplar över två integratorer (funktionsblock) i serie får man en oscillator som lämnar en sinussvängning med konstant amplitud. EWB ger här en ganska snabbt avklingande svängning (figur 6) när man använder integrationsrutinen "trapezoidal" som är standardrutinen. Detta resultat tycker jag inte är acceptabelt

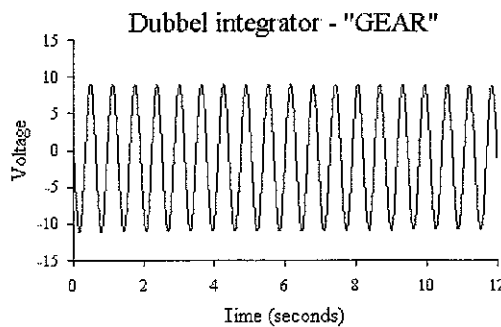
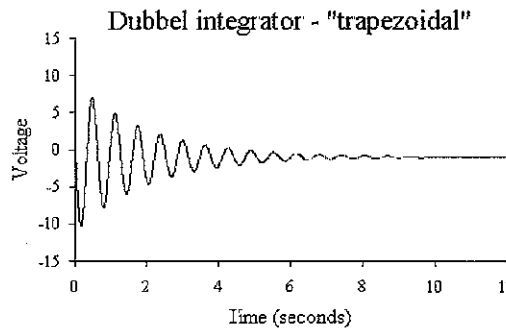
Ändrar man inställningen för integrationsmetod till den som kallas "Gear integration" och är noggrannare, blir precisionen avsevärt bättre (figur 7), men låter man simuleringen pågå länge kan man fortfarande se att svängningen klingar av så småningom. Resultatet med Gear-rutinen kan dock anses godkänt. Detta är ett ganska svårt prov för en simulator (provet användes förr i världen för att testa sk analogmaskiner). Provet visar tydligt av de avrundningsfel som naturligtvis uppstår så småningom även om man räknar med 32 bitar.

Transformatormodeller

EWB innehåller flera transformatormodeller. Komponenten "Ideal transformer" karakteriseras med ömsesidig induktans, primär- och sekundärresistans och dito läckinduktanser och är den man troligen bör använda i beräkningar av t ex HF-filter med luftlindade spolar. Då jag provat denna transformator i simulering av t ex enkla fasskiftare och antennfilter har jag sett skillnader mellan simulering och en exakt beräkning för hand. Om man i EWB jämför en enkel 1:1 "ideal transformer" med dess ekvivalenta T-krets, båda belastade med samma resistans, får man avvikelser som förefaller mig litet fulla. I passbandet har "ideal transformer" ca 3 dB högre dämpning än sin ekvivalenta krets, medan fassgångskurvorna är tämligen lika. Om man vill göra noggranna filterberäkningar i EWB får man kanske se upp om man använder transformatorer i kretsen.

EXPORT TILL ANDRA VERKTYG

EWB medger export av nätlistor till andra konstruktionshjälpmedel: dels kan programmet generera SPICE-kompatibla nätlistor som kan importeras av andra SPICE-baserade simulatorer, dels kan det exportera nätlistor för kretsschema till ett antal layoutverktyg för mönsterkort som Tango, OrCAD m fl. Programmet kan också importera SPICE nätlistor



Figur 6 (övre)
Två seriekopplade integratorer simulerade med enkel integrationsmetod ("trapezoidal")

Figur 7 (undre)
Två seriekopplade integratorer simulerade med noggrann integrationsmetod ("Gear")

DOKUMENTATION OCH HJÄLP-FIL

Dokumentationen för EWB består av en teknisk referenshandbok, en användarguide, en katalog över komponentmodeller samt en handledning om export och import av nätlistor. Referenshandbok och användarguide är rediga, men är litet väl kortfattade. Om man är måttligt kunnig i numerisk analys och hur SPICE fungerar kan beskrivningarna av komponentmodellerna förefalla ganska kryptiska ibland. Modifierar man en komponentmodell enligt egna idéer kan man bli (mycket!) ställd om den sedan inte fungerar som tänkt!

Den tekniska referenshandboken skiljer inte på den grundläggande versionen av EWB och proffsversionen EDA när den beskriver de analyser man kan göra. De analyser som kan göras med amatörversionen är endast de som räknas upp ovan under ANALYSER!

HJÄLP-filen innehåller i stort samma information som den tekniska referenshandboken, men verkar mer aktuell. Det finns några felaktigheter i handboken - ett exempel är beskrivningen av hur man ställer in överföringsfunktionen hos ett funktionsblock - men i HJÄLP-filen står de riktiga uppgifterna

SAMMANFATTNING

Electronic Workbench 5 är lätt att arbeta med och man kommer igång fort, eftersom användargränssnittet är mycket intuitivt och de flesta funktioner är tillgängliga samtidigt. Programmet förefaller vara en guldgruva för den som vill pröva nya idéer och "labba" utan att behöva offra dyra komponenter (det finns faktiskt säkringar med bland de passiva komponenterna, så man kan se när det har gått åt skogen!). Programmet är ett mycket bra stöd för utbildning och självstudier i elektronikkonstruktion - man kan lära sig åtskilligt om både analog och digital kretsteknik genom att göra ett antal "hemläxor" i EWB.

Det finns frågetecken beträffande precisionen för den som behöver räkna noggrant

Att programmet lämnar utdata med sex decimalers upplösning är ju ingen garanti för att ens den första decimalen är riktig om man ställt in parametrarna för beräkningen på ett olämpligt sätt! Man bör kontrollera simuleringsresultat som förefaller tveksamma genom att räkna igenom ett specialfall på annat sätt. Samtidigt är det säkert så att nyttan av ett sådant här program ökar i takt med att man bygger upp en egen förståelse av simuleringsalgoritmer. Den slutliga bedömningen av ett simuleringsresultat måste byggas på en god teoretisk förståelse för kretsens funktion och hur man kommit fram till resultatet. Simulering är aldrig ett trollspö för den okunnige!

Det skadar inte att vara ganska målinriktad när man jobbar med programmet. Det är bra att göra en liten plan över vilka moment simuleringen ska innehålla och hålla sig till den - annars är det risk att man förlorar sig i alla intressanta experiment som programmet erbjuder. Vänta med leken tills huvudresultatet är sparat! Och - om man börjar leka, så bör man byta namn på filen så att man inte av misstag skriver över ett "seriöst" resultat. Det är lätt att trycka på Ctrl-S (save) av misstag! SMOAQW Jan Gunmar