

Dr. sc. Josip Sušanj
Zoran Mrak
Pomorski fakultet
Studentska ulica 2, Rijeka

Pregledni članak
UDK: 004.7
519.68
378.148

O KORIŠTENJU MATEMATIČKIH ALATA U NASTAVI ELEKTRONIČKIH KOMUNIKACIJA

U radu se navode neki od problema uočeni u nastavi elektroničkih komunikacija i srodnih kolegija na Odjelu za brodsku elektroniku Visoke pomorske škole u Rijeci. Predlažu se rješenja primjenom matematičkih i simulacijskih računalnih programa. Ukratko se opisuju pojedini primjeri iz predloženih rješenja, čijim se korištenjem intenzivira nastava, a složeni postupci i procesi postaju razumljiviji.

Ključne riječi: MATCAD, Matlab, Fourierova transformacija, Laplaceova transformacija, Besselove funkcije

1. UVOD

U proteklom desetljeću elektroničke komunikacije, kao i cijela elektronika, razvijaju se po eksponencijalnom¹ zakonu. Dok se prije pojedini sklop mogao opisati na razini elektroničkih elemenata, prateći tokove signala i njihove promjene, danas se sklop slične namjene, ali bitno poboljšanih karakteristika, analizira blok-shemom i sustavnim pristupom oblika *ulaz-prijenosna funkcija-izlaz*.

Istodobno su i matematički alati, pogodni za analizu pojedinih pojava u komunikacijama, postali primjetno složeniji. Dok je u vrijeme amplitudno-moduliranih radijskih signala matematika na razini trigonometrije bila dovoljna za razumijevanje pojava u njima, pri frekvencijskoj modulaciji, Besselove funkcije polazna su točka za njezinu analizu. Posebno su matematički zahtjevne digitalne komunikacije koje već danas čine veći dio elektroničkih

¹ Eksponencijalni porast složenosti elektroničkih sustava mjeri se činjenicom da se broj elektroničkih elemenata u zadanom volumenu udvostručuje. Zahvaljujući tome, prema nekim prognozama, 2004.-2005. godine veličina pojedinih dijelova tranzistora morala bi se smanjiti na veličinu jednog do dva atoma silicija, što bi bio kraj poluvodičkoj tehnologiji.

komunikacija, s tendencijom da u bliskoj budućnosti potpuno istisnu analogne komunikacije.

Navedene činjenice iz temelja mijenjaju način izvođenja nastave iz elektroničkih komunikacija i srodnih predmeta. Zapravo, one se pojavljuju kao problem kada studenti moraju svladati širok spektar znanja u ograničenom vremenu i s nedovoljnim predznanjem iz matematike. Navedeni uvjeti opisuju upravo studente Visoke pomorske škole, Odjela za brodsku elektroniku, koji u jednom semestru s fondom sati 4+3 moraju upoznati komunikacijske sustave od najnižih frekvencija (interne brodske veze) do svjetlovodnih sustava. Stoga su autori u proteklih nekoliko generacija pokušali nastavu kondenzirati, a teme koje se obrađuju učiniti razumljivijim intenzivnim korištenjem računalnih matematičko-simulacijskih programa.

Pritom su se, sukladno razvoju informatike, računalo i odgovarajući programi koristili na tri različite razine:

- Na prvoj, najjednostavnijoj, razini u nekom od matematičkih programa² postavlja se problem koji se rješava. Izmjenom početnih uvjeta prate se promjene rezultata te se usporedbom s ranijim rezultatima ocjenjuje njihov utjecaj na proces, koji se opisuje. Ovakav je pristup rješavanju problema "statičan" jer se tek ručnom izmjenom podataka mijenja rezultat.
- izradom *Java*³ *appleta*⁴ (animiranih sekvencija), pristup rješavanju postaje dinamičan. Automatski ili pomakom miša mijenjaju se ulazni podaci uz istodobno praćenje promjena u rezultatu. Takvi primjeri mogu biti praćeni i tonskim zapisom. Primjer za to je izračunavanje konvolucijskog integrala dviju funkcija⁵. Pomicanje mišem grafa jedne od funkcija, simulira se njezin vremenski pomak. Istodobno se mijenja i rezultat, što studentu olakšava shvaćanje "elektroničkog" smisla konvolucijskog integrala. Analiza frekvencijskog spektra funkcije primjer je u kojemu se može koristiti tonska sekvencija.
- simulacijom laboratorijskih vježbi na računalu. Danas su razvijeni simulacijski programi (LabWiev) koji do detalja oponašaju vrhunski opremljene elektroničke laboratorije. Pozivanjem odgovarajućih instrumenata na zaslon računala i njihovim spajanjem, simuliraju se najsloženija elektronička mjerenja.

U tekstu koji slijedi dane su naznake korištenja matematičkih programa na razini njihove "statičke" primjene u opisu nekih detalja iz nastave elektroničkih komunikacija. Slike su namjerno prenošene u tekst bez ikakve grafičke dorade. Stoga se u krivuljama mogu prepoznati "stepenice" kao posljedica niske razlučivosti programa, a oznake na osima razlikuju se od oznaka u odgovarajućim jednadžbama zbog različite sintakse pisanja jednadžbi u programima za obradu teksta i matematičkim programima.

² Intenzivno je korišten program MATCAD, nešto manje MATEMATICA i MATLAB.

³ Java – jedan od računalnih jezika.

⁴ Applet – mali računalni program koji obavlja jednu ili više jednostavnih operacija.

⁵ U ovom radu riječi "funkcija" i "signal" su sinonimi. Prva se riječ koristi ako se opisuje matematički temelj problema, a druga kada se prijeđe na opis pojave u elektroničkom sklopu.

Prije prelaska na primjere, valja istaknuti da se u njima ne objašnjavaju zakonitosti elektroničkih sklopova i pojava, niti se opisuje način korištenja matematičkih programa; namjera autora bila je da se odabirom zanimljivijih primjera i njihovim kratkim opisom predoči čitatelju jedno od rješenja problema, opisanog u uvodu. Zbog oblika ovog rada, nije moguće pokazati animirane primjere, te su korišteni postupci iz prve, "statične", skupine primjera.

2. PRIMJERI PRIMJENE MATEMATIČKIH ALATA

Fourierova⁶ analiza amplitudno moduliranog vala

U nastavi o amplitudnoj modulaciji potrebno je dokazati da se informacija nakon modulacije pojavljuje u okolini vala nosioca u obliku donjeg i gornjeg bočnog pojasa. Budući da se radi o pretvorbi signala iz vremenske u frekventijsku domenu, Fourierova analiza pokazuje se kao najprikladnija metoda rješavanja problema.

Ulazni podaci (jednadžbe i brojčane vrijednosti) pokazane su jednadžbama 1.1 i 1.2:

$$\text{Val nosilac: } u_c(t) = U_{cm} \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t); \quad U_{cm} = 1 \text{ V} \quad f_c = 0,82 \text{ MHz} \quad (1.1)$$

$$\text{Informacija: } u_i(t) = U_{i1m} \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{i1} \cdot t) + U_{i2m} \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{i2} \cdot t) \quad (1.2)$$

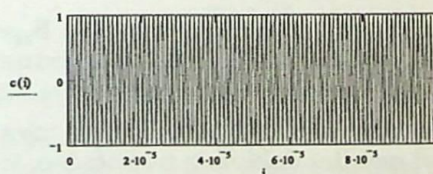
$$U_{i1m} = 0,5 \text{ V} \quad f_{i1} = 1 \text{ kHz} \quad m_{a1} = 0,5$$

$$U_{i2m} = 0,4 \text{ V} \quad f_{i2} = 8 \text{ kHz} \quad m_{a2} = 0,4$$

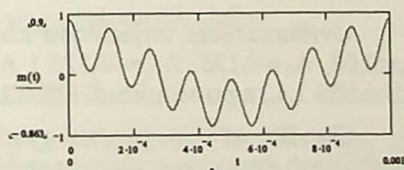
Val nosilac, informacija, sastavljena od dvije sinusoide i modulirani val (jednadžba 1.3.) u vremenskoj domeni prikazani su na slikama 1a, 1b i 1c

$$m(t) = [1 + m_{a1} \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{i1} \cdot t) + m_{a2} \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{i2} \cdot t)] \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) \quad (1.3)$$

Budući da je poznat analitički izraz za modulirani val, njegov frekventijski spektar izračunava se neposredno korištenjem jednadžbi za Fourierov red. Frekventijski spektar amplitudno moduliranog vala pokazan je slikom 1d. U ovoj posljednjoj jasno se razabiru komponente od kojih je sastavljen AM val: to su val nosilac te gornji i donji bočni opseg, sastavljeni od po dva informacijska signala. Taj dokaz bio je ujedno i cilj teme o amplitudno-moduliranom valu.

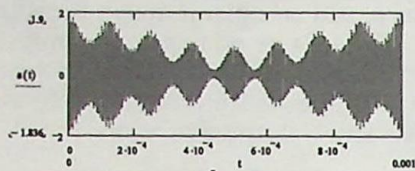


a) val nosilac u vremenskoj domeni

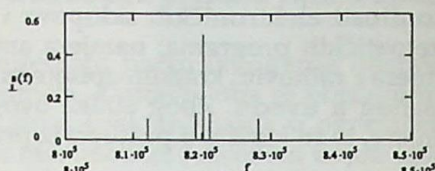


b) informacija u vremenskoj domeni

⁶ Joseph Fourier, 1768.—1830., francuski fizičar.



c) modulirani val u vremenskoj domeni



d) modulirani val u frekvencijskoj domeni

Slika 1. Ulazni i izlazni signali u amplitudnoj modulaciji

Valja istaknuti da prikaz na slici 1d nosi u sebi dovoljnu količinu informacija za analizu AM vala, iako nije matematički potpun. Iz te se slike ne može očitati da li se neke od komponenti AM vala mijenjaju po zakonu sinusa, a neke po zakonu kosinusa s pozitivnim i negativnim vrijednostima. Slična ograničenja pojavljuju se i u ostalim primjerima, opisanim u ovom radu. Stoga će samo u ovom primjeru⁷ Fourierova analiza biti provedena u cjelini.

Budući da je zbog sinusnog oblika informacije AM val sam po sebi Fourierov red, njegova izvorna jednačba, razvijena po trigonometrijskom obliku $\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)$ (jednačba 1.4) mora biti jednaka Fourierovu redu:

$$\begin{aligned}
 u_c(t) = & U_{cm} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t) + \\
 & + \frac{U_{am} \cdot m_{a1}}{2} \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_c - f_{a1}) \cdot t) - \frac{U_{am} \cdot m_{a1}}{2} \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_c + f_{a1}) \cdot t) + \\
 & + \frac{U_{am} \cdot m_{a2}}{2} \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_c - f_{a2}) \cdot t) - \frac{U_{am} \cdot m_{a2}}{2} \cos(2 \cdot \pi \cdot (f_c + f_{a2}) \cdot t)
 \end{aligned} \quad (1.4)$$

Nakon razvoja u Fourierov red, dobivamo polinom oblika (pisan u MATCAD sintaksi) (jednačba (1.5):

$$p(x) = A_0 + \sum_{n=1}^N \left(A_n \cdot \cos\left(\frac{n \cdot \pi \cdot x}{L}\right) \right) + B_n \cdot \sin\left(\frac{n \cdot \pi \cdot x}{L}\right) \quad (1.5)$$

Uvrštavanjem vrijednosti koeficijenata reda u jednačbu (1.5.) $B_{10}=1$, $A_8=0,08$, $A_9=0,125$, $A_{11}=-0,125$ i $A_{12}=-0,08$, jednačba 1.5. postaje jednaka jednačbi 1.4., a po amplitudi i slici 1.d.

Ono što ovakav pristup gradivu čini posebno učinkovitim, njegova je fleksibilnost. Zamjenom ulaznih veličina novi rezultat dobiva se trenutačno, tako da se može u vrlo kratkom vremenu ispitati utjecaj različitih vrsta informacije i dubine modulacije na frekvencijski spektar AM vala.

⁷ Zbog skraćivanja vremena izračunavanja, frekvencije informacije smanjene su na 1 Hz odnosno 2 Hz, a frekvencija vala nosioca na 10 Hz. Amplitude i indeksi modulacije ostali su neizmijenjenih vrijednosti.

Frekvencijski spektar usamljenog radiosignala

Ako se perioda signala $x(t)$ povećava, diskretne komponente frekvencijskog spektra (Fourierov red) postaju sve gušće. Kada perioda $T=\infty$, frekvencijski spektar postaje neprekinuta funkcija, a izračunava se Fourierovim integralom umjesto Fourierovim redom. Takav primjer predstavlja usamljeni radioimpuls, pokazan slikom 2a, čiji su podaci:

Amplituda impulsa: $U_a = 1 \text{ V}$

Frekvencija impulsa: $f_i = 10 \text{ Hz}$

Vrijeme trajanja impulsa: $T = 1 \text{ s}$

Jednadžba impulsa:

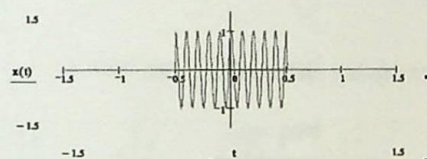
$$x(t) = \Phi\left(\frac{T}{2} + t\right) \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) - \Phi\left(-\frac{T}{2} + t\right) \cos(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t) \quad \text{za } |t| \leq \frac{T}{2}$$

$$x(t) = 0 \quad \text{za } |t| > \frac{T}{2} \quad (2.1.)$$

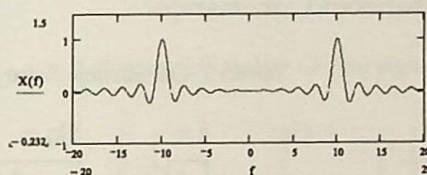
Frekvencijski spektar signala $X(f)$ izračunava se Fourierovim integralom u eksponencijalnom obliku:

$$X(f) = \int_{-\frac{T}{2}}^{\frac{T}{2}} \left(e^{2 \cdot \pi \cdot j \cdot f_i \cdot t} + e^{-2 \cdot \pi \cdot j \cdot f_i \cdot t} \right) \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot j \cdot f \cdot t} \cdot dt$$

Na slici 2a vidi se radioimpuls u vremenu, a njegov frekvencijski spektar s izrazitim maksimumom na slici 2b.



a. usamljeni radioimpuls u vremenu



b. frekvencijski spektar usamljenog impulsa

Slika 2. Usamljeni radioimpuls i njegov frekvencijski spektar

Besselove funkcije u frekvencijskoj modulaciji

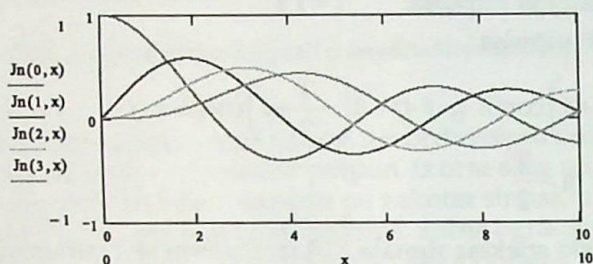
Za razliku od amplitudne modulacije, čiji je temeljni matematički oblik $\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)$ lako rješiv na razini trigonometrije, pri frekvencijskoj modulaciji (FM) pojavljuje se mnogo složeniji oblik $\sin[\sin(\alpha) \cdot \beta]$. Njegovo rješenje predstavljaju Besselove funkcije prve vrste, pri čemu funkcija nultog reda u frekvencijskom spektru FM vala predstavlja val nosilac, funkcija prvog reda prvi harmonik i tako redom.

U sljedećem primjeru naredbama oblika $J_n(m, x)$ izračunat je frekvencijski spektar neke radijske postaje s FM pojasa pri čemu je n harmonik (red funkcije), a x indeks modulacije.

Ulazni podaci

Frekvencijski pomak:	$\Delta f = 75 \text{ kHz}$
Najviša frekvencija informacije:	$f_{\max} = 15 \text{ kHz}$
Indeks modulacije:	$m_f = \Delta f / f_{\max} = 5$

Slika 3. pokazuje Besselove funkcije od nultog do trećeg reda, pri čemu je x-os predstavlja indeks modulacije.



Slika 3. Besselove funkcije – harmonici FM vala

Širina frekvencijskog spektra FM signala neizmjenno je velika. No za praktične potrebe, ona se ograničava na frekvenciju harmonika, čija je amplituda jednaka 10% vrijednosti nedomuliranog vala nosioca. Tako se u trećem dijelu tablice 1., koja predstavlja apsolutne vrijednosti amplitude harmonika, vidi da je amplituda desetog harmonika manja od 10% amplitude vala nosioca, te se taj i svi viši harmonici zanemaruju.

Tablica 1. Određivanje širine frekvencijskog spektra FM vala

$i =$	$bk_i =$	$bw_i =$
0	-0.178	100
1	-0.328	184.451
2	0.047	-26.22
3	0.365	-205.427
4	0.391	-220.292
5	0.261	-147.041
6	0.131	-73.79
7	0.053	-30.055
8	0.018	-10.363
9	$5.52 \cdot 10^{-3}$	-3.108
10	$1.468 \cdot 10^{-3}$	-0.826

U tablici 1. i je harmonik, bk_i njegova amplituda, a $bw_i = bk_i / bw_0$ njegov postotni iznos u odnosu na amplitudu nedomuliranog vala nosioca.

Izračunate vrijednosti u skladu su s Carsonovim pravilom koje kaže da je upotrebljiva širina frekvencijskog spektra FM vala jednaka:

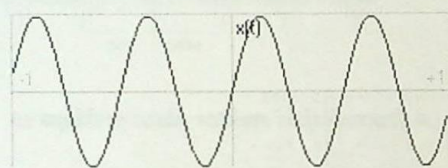
$$B_{EM} = 2 \cdot f_{\max} \cdot (m + 1) \quad (3.1.)$$

Uzimanje uzoraka

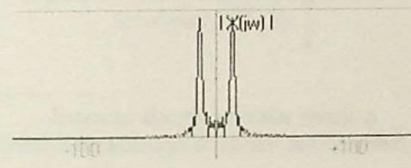
Pri pretvorbi analognog u digitalni signal (A/D konverzija), uzimanje uzoraka je ključni, te matematički najzahtjevniji korak. Stoga je korištenje matematičkih alata u ovoj i sličnim temama posebno korisno.

Na slici 4a pokazan je ulazni analogni signal (sinusoida) $x(t)$. Njegov je frekvencijski spektar $X(f)$ pokazan slikom 4b. Nakon uzimanja uzoraka frekvencijom $\omega_s = 100$ rad/s, koja mora biti najmanje dva puta viša od najviše frekvencije u spektru ulaznog signala (Nyquistov kriterij), signal se pretvara u "stupiće" na slici 4c. Njihov frekvencijski spektar, koji je oblikom jednak frekvencijskom spektru izvornog signala, ali se ponavlja neizmerno mnogo puta na negativnoj i pozitivnoj strani frekvencijske osi, pokazan je na slici 4d.

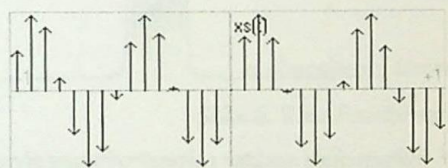
Signal se rekonstruira filtriranjem dijela frekvencijskog spektra uzoraka, koji odgovara spektru ulaznog signala, te njegovom pretvorbom inverznom Fourierovom transformacijom u izvorni signal. Rezultati postupka pokazani su slikama 4e i 4f. Slika 4a jednaka je slici 4f, što znači da nije došlo do izobličenja signala njegovom A/D/A pretvorbom.



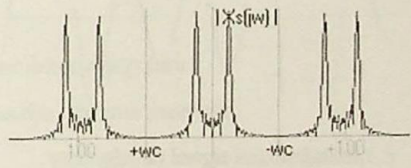
a. analogni ulazni signal



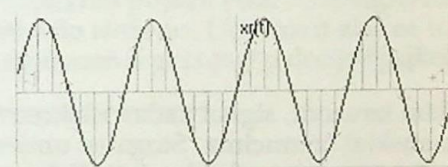
b. frekvencijski spektar ulaznog signala



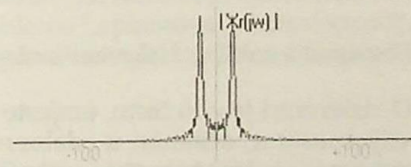
c. uzorci ulaznog signala



d. frekvencijski spektar uzoraka



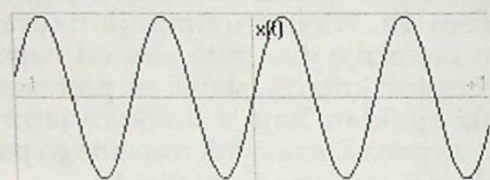
e. rekonstruirani ulazni signal



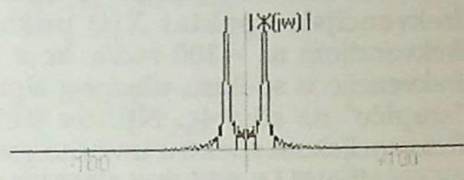
f. frek. spektar rekonstruiranog ul. signala

Slika 4. Pretvorba signala iz analognog u digitalni oblik i njegova rekonstrukcija

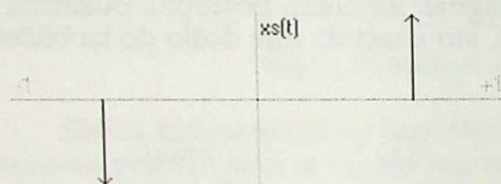
Slikom 5. pokazan je isti postupak, ali s frekvencijom uzimanja uzoraka nižom od Nyquistova kriterija. Već na slici 5d vidi se da se temeljni dijelovi frekvencijskog spektra preklapaju, što znači da filtrom nije moguće izdvojiti frekvencijski spektar izvornog signala. Posljedica je toga da se rekonstruirani signal bitno razlikuje od izvornog signala, odnosno A/D/A konverzija nije uspjela. U nastavi, ova je tema animirana *Java appletom*, što se u radu ne može pokazati. Takva animacija omogućava lagan odabir ulaznih parametara uz trenutačni prikaz novih rezultata, što objašnjenje teme čini posebno učinkovitim.



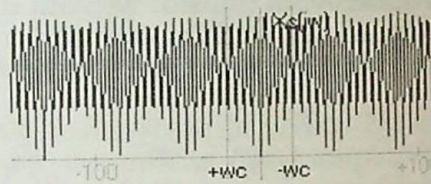
a. analogni ulazni signal



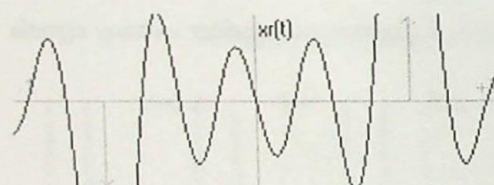
b. frekvencijski spektar ulaznog signala



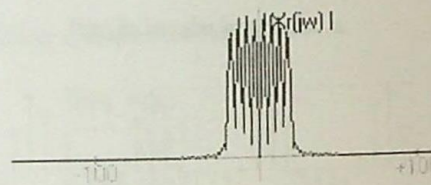
c. uzorci ulaznog signala uzimani frekvencijom nižom od Nyquistova kriterija



d. frekvencijski spektar ulaza preklapa se



e. rekonstruirani signal ne odgovara ulaznom signalu



f. frekvencijski spektar rekonstruiranog signala

Slika 5. Pretvorba analognog u digitalni signal – Nyquistov kriterij nije ispunjen

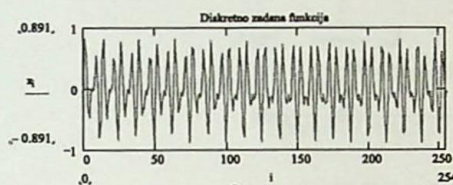
Fourierova analiza diskretno zadanih funkcija

U elektronici je vrlo često, umjesto analitičkim izrazom, signal zadan diskretnim vrijednostima, očitanim u odabranim vremenskim trenucima. Stoga se umjesto integrala za izračunavanje koeficijenata Fourierova reda, koristi diskretna (numerička) Fourierova transformacija (DFT – Discrete Fourier Transform). Ta metoda na svakom uzorku signala obavlja cijeli niz množenja, zbrajanja i izračunavanja kompleksnih eksponenata; za $N=10^4$ uzoraka potrebno je više od

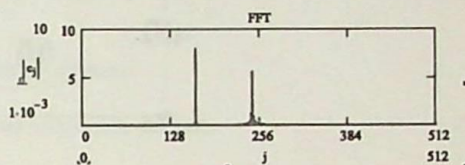
10^8 matematičkih operacija. Stoga je razvijena brza Fourierova transformacija (FFT – Fast Fourier Transform) koja taj broj smanjuje na samo $N \log_2 N$ operacija.

U sljedećem primjeru modulacijski signal iz dijela 2.1. rastavljen je na 1.024 uzorka, a njegov frekvencijski spektar izračunat je FFT-om.

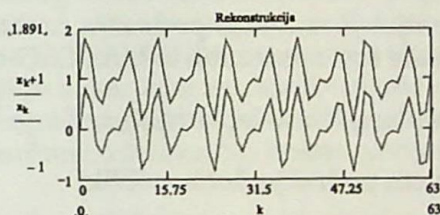
Slika 6a pokazuje ulazni signal koji nije gladak kao na slici 1b jer je crtan po segmentima spajanjem uzoraka ravnom crtom. Njegov frekvencijski spektar pokazan je slikom 6b. Obnavljanje signala iz izračunatog frekvencijskog spektra učinjeno je inverznom FFT (IFFT – Inverse Fast Fourier Transform). Slika 6c pokazuje da su obje pretvorbe uspjele jer su rekonstruirani signal z_k i ponovno nacrtani izvorni signal x_k vrlo slični. Njihova je najveća razlika u promatranom periodu samo $3,488 \cdot 10^{-12}$, što je zanemarivo mala vrijednost. Valja istaknuti da je na slici 6c rekonstruirani signal uvećan za jedan, da bi se njegova krivulja jasno razlikovala od krivulje izvornog signala.



a. ulazni signal u diskretnom obliku



b. frekvencijski spektar ulaznog signala izračunat FFT-om



c. obnovljeni i izvorni signal na istom dijagramu

Slika 6. Brza Fourierova transformacija i njezina inverzija

Prijelazne pojave i Laplaceova⁸ transformacija

Ispitivanje odziva elektoničkog kruga na zadanu pobudu i izračunavanje prijelaznih pojava vodi do integro-diferencijalnih jednažbi, čije rješavanje može biti vrlo složeno. Učinkovit alat za takve probleme Laplaceova je transformacija: prijelazom iz gornjeg⁹ u donje¹⁰ područje integro-diferencijalne jednažbe postaju

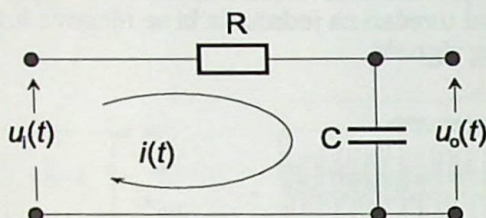
⁸ Pierre Simon de Laplace, 1749.–1827., francuski fizičar, istraživao teoriju potencijala, nebesku mehaniku i teoriju vjerojatnosti.

⁹ "Gornje područje" koje označava funkciju u izvornoj, vremenskoj domeni, zove se ponekad i "original".

¹⁰ "Donje" područje, Laplace Transform ili slika označava prijelaz funkcije u područje kompleksne frekvencije "p" ili "s".

algebarske, a njihovo rješavanje primjetno jednostavnije. Njegovim vraćanjem u gornje područje dobivamo tražena rješenja mnogo jednostavnije od rješavanja izvornih jednadžbi. Fourierovu, Laplaceovu i ostale linearne integralne transformacije čini posebno pogodnim za primjenu u nastavi dvosmjerne tabele prijelaza s popisom svih mogućih oblika i jednadžbi, koji se u elektronici mogu pojaviti.

U sljedećem primjeru pokazana je primjena Laplaceove transformacije pri izračunavanju odziva jednostavnog R-C kruga (derivatora) (slika 7.) na pravokutni napon amplitude 10 V, pomaknut u vremenu za 5 s i trajanja 5 s (slika 8a).



Slika 7. RC krug – diferencijator

Jednadžba za prvi Kirchoffov u vremenskoj domeni glasi:

$$u_i(t) = R \cdot i(t) + \frac{1}{C} \int i(t) dt \quad (6.1.)$$

Ulazni napon prenijet je u donje područje naredbom (ova i nekoliko sljedećih jednadžbi prenijete su neposredno iz MATCAD-a):

$$Ri(t) + \frac{1}{C} \int_0^t i(u) du \text{ laplace, } t \rightarrow R \cdot \text{laplace}(i(t), t, s) + \frac{1}{C} \frac{\text{laplace}(i(t), t, s)}{s} \quad (6.2.)$$

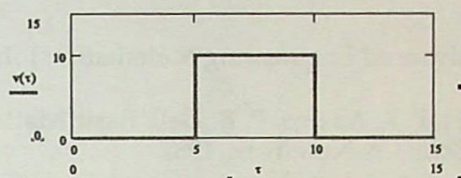
Izraz za struju donjem području dobiva oblik:

$$\frac{\left(10 \cdot \frac{\exp(-5 \cdot s)}{s} - 10 \frac{\exp(-10 \cdot s)}{s} \right)}{R + \frac{1}{C \cdot s}} \quad (6.3.)$$

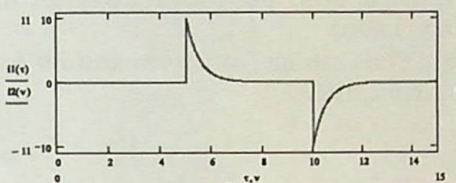
Povratak struje u gornje područje (slika 8b) učinjen je naredbom *invlaplace* (jednadžba (6.4.):

$$\frac{\frac{10}{R} (\exp(-5 \cdot s) - \exp(-10 \cdot s))}{s + \frac{1}{R \cdot C}} \text{ invlaplace,}$$

$$s \rightarrow \left[-\Phi(t-5) \frac{\exp\left[\frac{-(t-5)}{R \cdot C}\right]}{R \cdot C} + \Phi(t-10) \frac{\exp\left[\frac{-(t-10)}{R \cdot C}\right]}{R \cdot C} \right] \quad (6.4.)$$



a. ulazni napon u vremenskoj domeni



b. struja u vremenskoj domeni

Slika 8. Odziv RC kruga na impulsnu pobudu

ZAKLJUČAK

U uvjetima vrlo opširnoga gradiva, čiji se sadržaj iz generacije u generaciju primjetno mijenja, malog fonda sati i nepotpune pripreme studenata temeljnim znanjima iz matematike i elektrotehnike, predloženo rješenje pojavljuje se kao jedno od najučinkovitijih rješenja. To potvrđuje i višegodišnje iskustvo autora u korištenju matematičkih alata; tako zgusnuto znanje studenti dobro prihvaćaju, raspravljaju o dobivenim rezultatima te smišljaju nove početne uvjete. Posebno dobro prihvaćaju animirane dijelove, čija brzina odvijanja i vizualnost odgovaraju njihovoj generaciji.

Istodobno ponuđeno rješenje ima nedostataka, o kojima valja voditi računa. Izrazito velika količina znanja, koja se prenosi u kratkom vremenu, traži poseban napor nastavnika u pripremi, a studenata u njegovu prihvaćanju. Uz to, zbog svoje atraktivnosti, treći, simulacijski dio vrlo bi se lako mogao proglasiti potpunom zamjenom pravog laboratorija. Takav bi zaključak bio pogrešan jer će završeni studenti u svom radu koristiti prave instrumente i pribor pa je neposredan kontakt s njima potreban i tijekom studija.

Oznake u teoretskom dijelu nastave i sintaksa programa ponekad nisu usklađeni; oznake na osima, indeksi, broječne vrijednosti i sl. mogu se na prvi pogled razlikovati, na što valja upozoriti studente. Uz to, u poglavlju o uzimanju uzoraka i sličnim temama, računalo obrađuje zadanu analognu krivulju kao diskretnu, uzimajući jedan uzorak za svaki *pixel* crteža. To u postupak unosi više frekvencije, vidljive u rezultatu, a kojih u izvornoj (analognoj) krivulji nema. Takve pojave valja studentima posebno objasniti.

Za konačnu procjenu učinkovitosti predloženih rješenja, potrebno je učiniti sustavnu pripremu cijeloga gradiva, opremiti predavaonicu i laboratorij potrebnom opremom te provesti opširno metodološko ispitivanje.

LITERATURA

- [1] E: Kreyszig, Advanced Engineering Mathematics, John Willey & Sons, New York, 1979.
- [2] N. M. Cooke, H. F. R. Adams, P. B: Dell, Basic Mathematics for Electronic, McGraw Hill Book Co., New York, 1987.
- [3] D. Blanuša, Linearne integralne transformacije, ETF, Zagreb, 1960
- [4] M. R. Spiegel, Mathematical Handbook of Formulas and Tables, Schaum Series, McGraw Hill Book Co., New York, 1968.
- [5] A. P. Felzer, ECE 209, 307, Cal Poly Pomona, Pomona, 2000 (www.csupomona.edu)
- [6] K. N. Bracewell, The Fourier Transform and its Application, McGraw Hill Book Co., New York, 1999.

Summary

THE USE OF MATHEMATICAL IMPLEMENTS IN ELECTRONIC COMMUNICATIONS CLASSES

The paper aims at presenting some problems in teaching electronic communications and similar courses at the Department of Marine Electronics and Maritime Communications of the Rijeka College of Maritime Studies. In order to solve these problems the applications of mathematical and simulating computer programmes is proposed. A very brief description of particular examples, taken out of the proposed solution, is given, the use of which can intensify the classes and make the complex methods and techniques easy to understand.

Key words: MATCAD, Matlab, Fourier transformation, Laplace transformation, Bessel functions.