

Laborator CEM

LUCRAREA 2: ANALIZA FORMEI TENSIUNII REȚELEI DE ALIMENTARE ȘI A SPECTRULUI LA SUPRAPUNEREA UNUI ZGOMOT ALEATOR, CU CĂDERI ÎN ZERO, CU VARIAȚII DE FRECVENȚĂ ȘI CU COMBINAȚII ALE ACESTOR PERTURBAȚII

Anul 4 Telecomunicații

2.1. Suprapunerea unui zgomot aleator

$j:=0..127$

Se generează o sinusoidă: $s_j := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{j}{64} \cdot \pi\right)$

Se suprapune un zgomot aleator cu caracteristicile astfel alese încât să semene cu imaginea tensiunii rețelei vizualizată pe un osciloscop:

$$z_j = s_j + \sqrt{2}(rnd(24) - rnd(23))$$

Se generează spectrele $f:=cfft(s)$ și $g:=cfft(z)$.

Pentru a se putea elimina armonicile superioare se calculează y ca: $y:=max(Re(g))$

Spectrul din care se reface semnalul este:

$$f_j = f_j \cdot \phi(|f_j| - y)$$

Semnalul refăcut din spectru este: $w:=icfft(f)$

În figură se reprezintă grafic semnalul inițial s , semnalul perturbat z , spectrul de frecvențe al semnalului neperturbat f și al semnalului perturbat g :

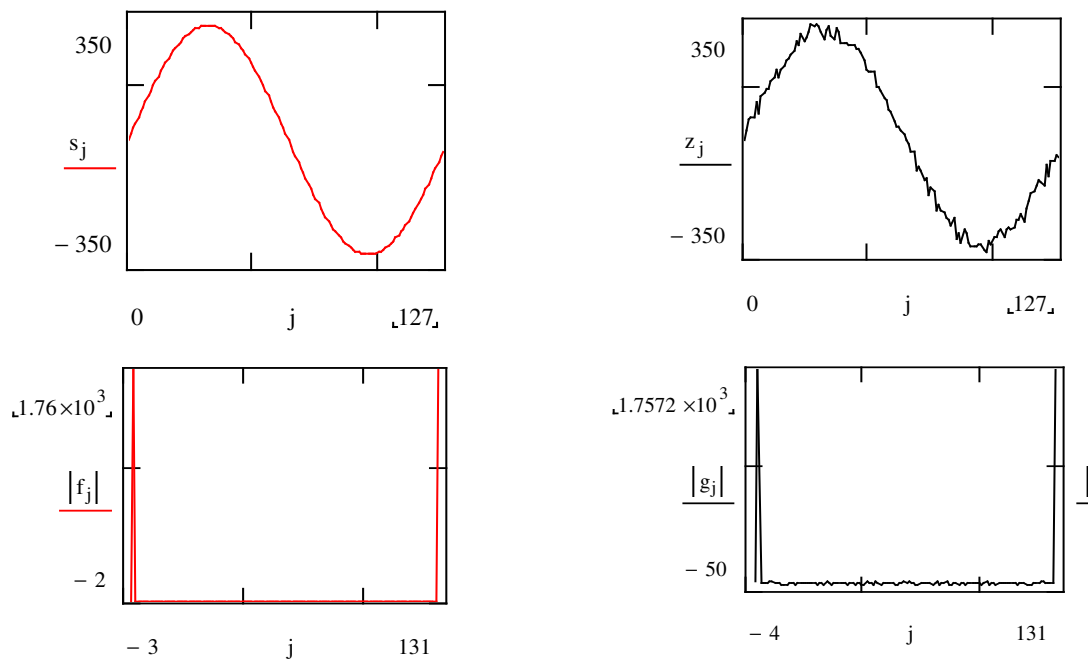


Figura 1: semnalul inițial s , semnalul perturbat z , spectrul de frecvențe al semnalului neperturbat f și al semnalului perturbat g

Un detaliu al spectrului și semnalul refăcut din spectru w sunt prezentate în figura 2:

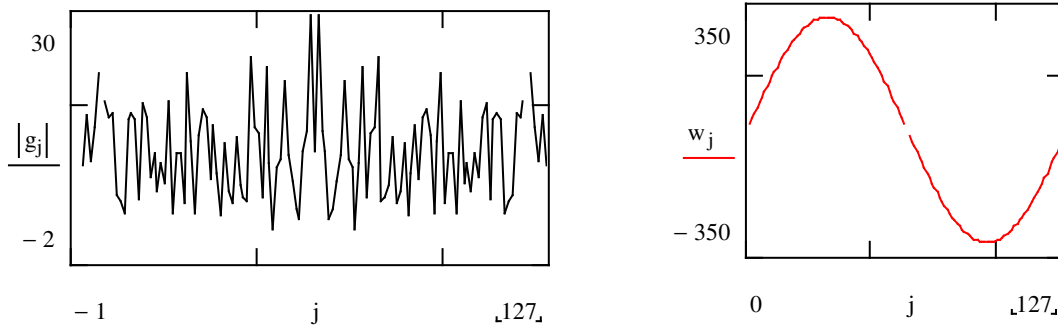


Figura 2: detaliu al spectrului semnalului perturbat și semnalul refăcut din spectru

2.2. Deformarea formei sinusoidale

$i := 0..63$

Se generează o sinusoidă:
$$t_i := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{i}{64} \cdot 10 \cdot \pi\right)$$

Se suprapune un zgomot aleator cu caracteristicile astfel alese încât să semene cu deformarea tensiunii rețelei vizualizată pe un osciloscop, datorată unor perturbații armonice:

$$u_i = t_i + \sqrt{2}(rnd(44) - rnd(45))$$

Se generează spectrele $f := cfft(t)$ și $z := cfft(u)$.

Pentru a se putea elimina armonicile superioare se calculează y ca: $y = \max(\text{Re}(z))$

Spectrul din care se reface semnalul este:

$$z_i = z_i \cdot \phi(|z_i| - y)$$

Semnalul refăcut din spectru este: $u := icfft(z)$

În figură se reprezintă grafic semnalul inițial t și semnalul perturbat u :

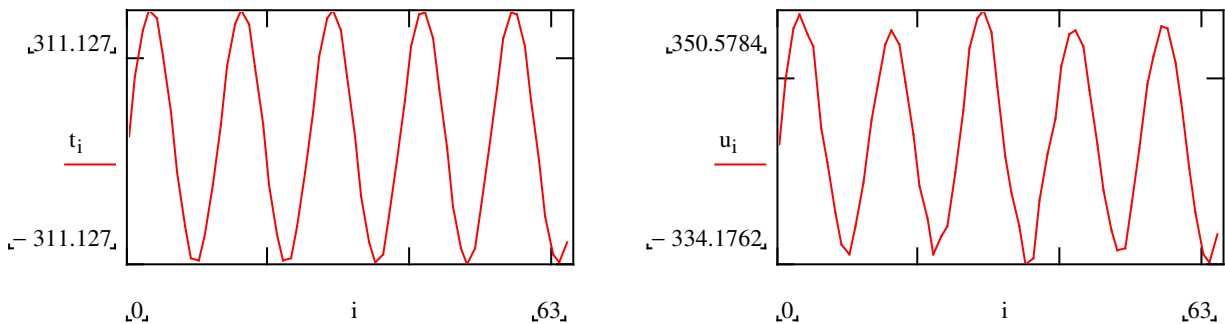


Figura 3: semnalul neperturbat și semnalul perturbat

În figura 4 se prezintă spectrul de frecvențe al semnalului neperturbat f și al semnalului perturbat z , precum și semnalul refăcut din spectru u :

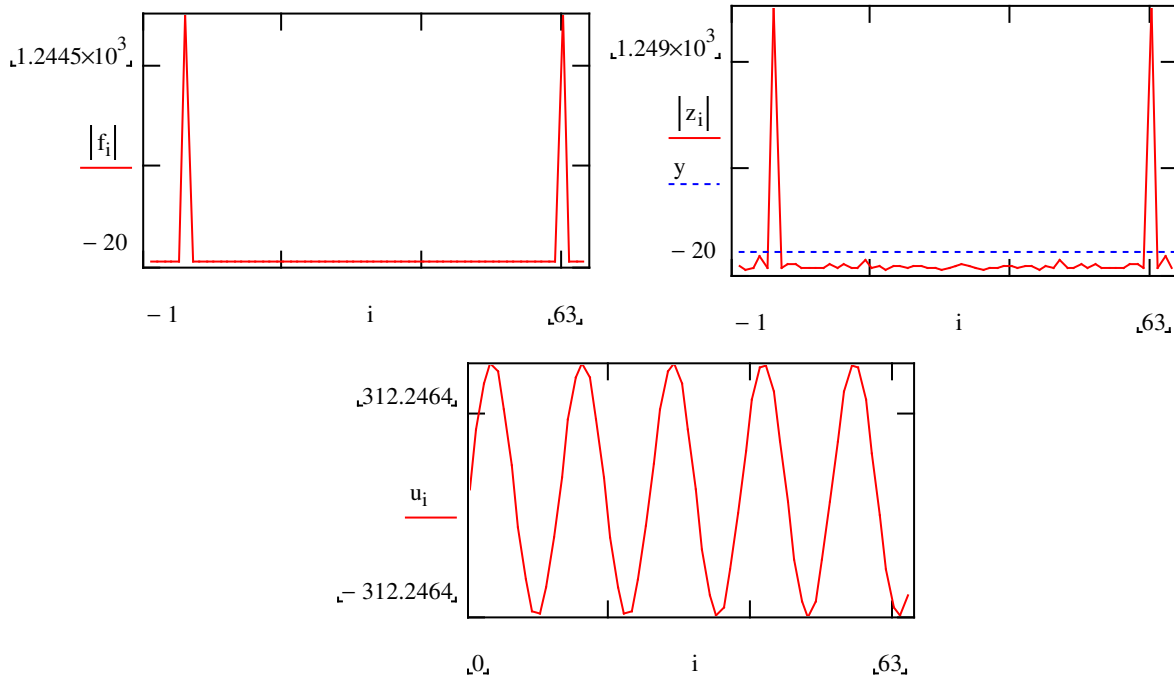


Figura 4: spectrul f al semnalului neperturbat, spectrul z al semnalului perturbat și semnalul u refăcut din spectru

2.3. Semnal sinusoidal cu căderi în zero ale amplitudinii

Un eveniment perturbator care este des întâlnit în practică este căderea la zero a tensiunii rețelei pentru un timp mai mic decât o alternanță sau pentru mai multe alternanțe. Acest eveniment se datorează în primul rând scurtcircuitelor în zone apropiate, eveniment tratat pe larg în această carte și pentru eliminarea căruia se propun soluții. O altă cauză posibilă este reconfigurarea din mers a instalațiilor energetice.

Se definește un index $i := 0..63$

Se generează o sinusoidă: $u_i := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{i}{64} \cdot 10 \cdot \pi\right)$

Se transformă semnalul sinusoidal într-un semnal dreptunghiular:

$$q_i := \Phi(u_i)$$

Se generează o sinusoidă cu frecvența de două ori mai mare:

$$y_i := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{i}{32} \cdot 10 \cdot \pi\right)$$

Semnalul rezultat care se dorește a avea o alternanță urmată de lipsa unei alternanțe (sau mai multe alternanțe urmate de o pauză egală) este produsul sinusoidei de frecvență mare cu semnalul dreptunghiular:

$$z_i = y_i \cdot q_i$$

În figură se reprezintă semnalul inițial u , semnalul dreptunghiular q , sinusoida de frecvență mai mare z și semnalul cu alternanțe lipsă z :

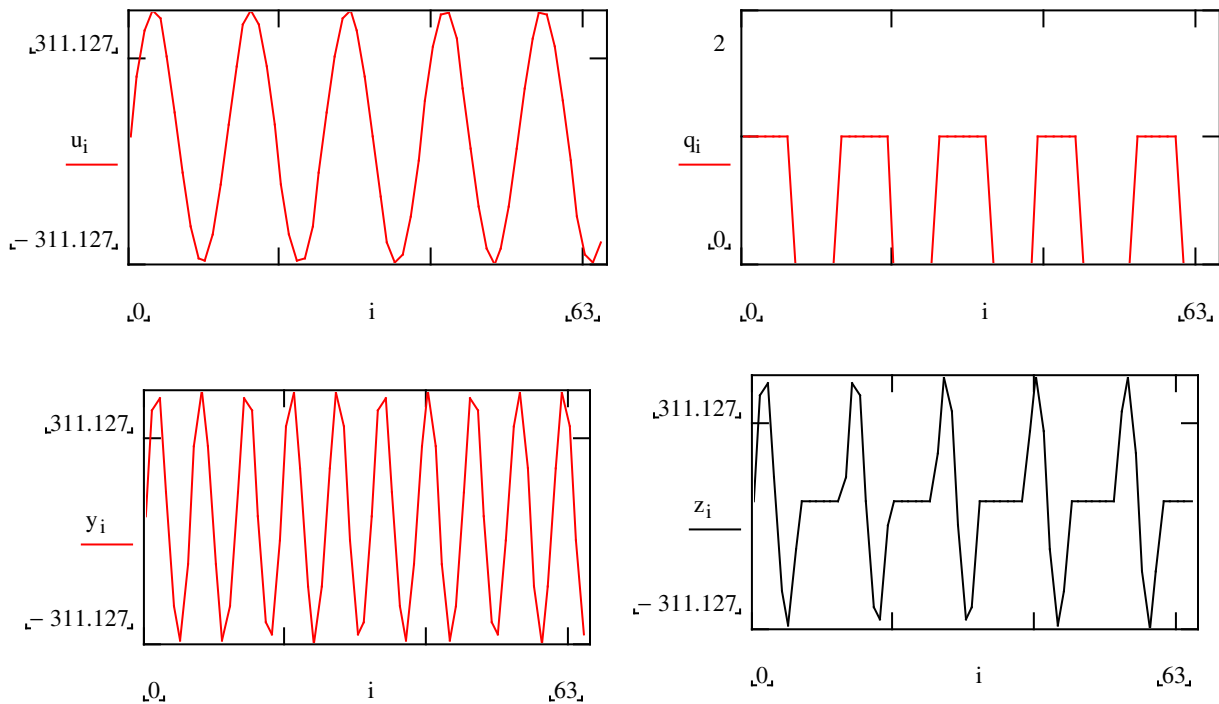


Figura 5: semnalul inițial u , semnalul dreptunghiular q , sinusoida de frecvență mai mare z și semnalul cu alternanțe lipsă z

Se generează spectrul $g := \text{fft}(z)$.

Pentru a se putea elimina armonicile superioare se calculează g_{\max} ca: $g_{\max} = \max(\text{Re}(g))$ și $g_s := \text{stdev}(g)$ pentru a se putea reface semnalul din spectru în două variante.

Spectrul din care se reface semnalul este:

$$h_i = g_i \cdot \phi(|g_i| - 1.1 \cdot g_{\max}) \text{ și în a doua variantă:}$$

$$k_i = g_i \cdot \phi(|g_i| - 1.1 \cdot g_s)$$

Semnalul refăcut din spectru este: $y := \text{icfft}(h)$ și $x := \text{icfft}(k)$

În figură s-au reprezentat spectrul g , spectrul din care se reface semnalul în prima variantă h și semnalul refăcut y , spectrul din care se reface semnalul în a doua variantă k și semnalul refăcut x :

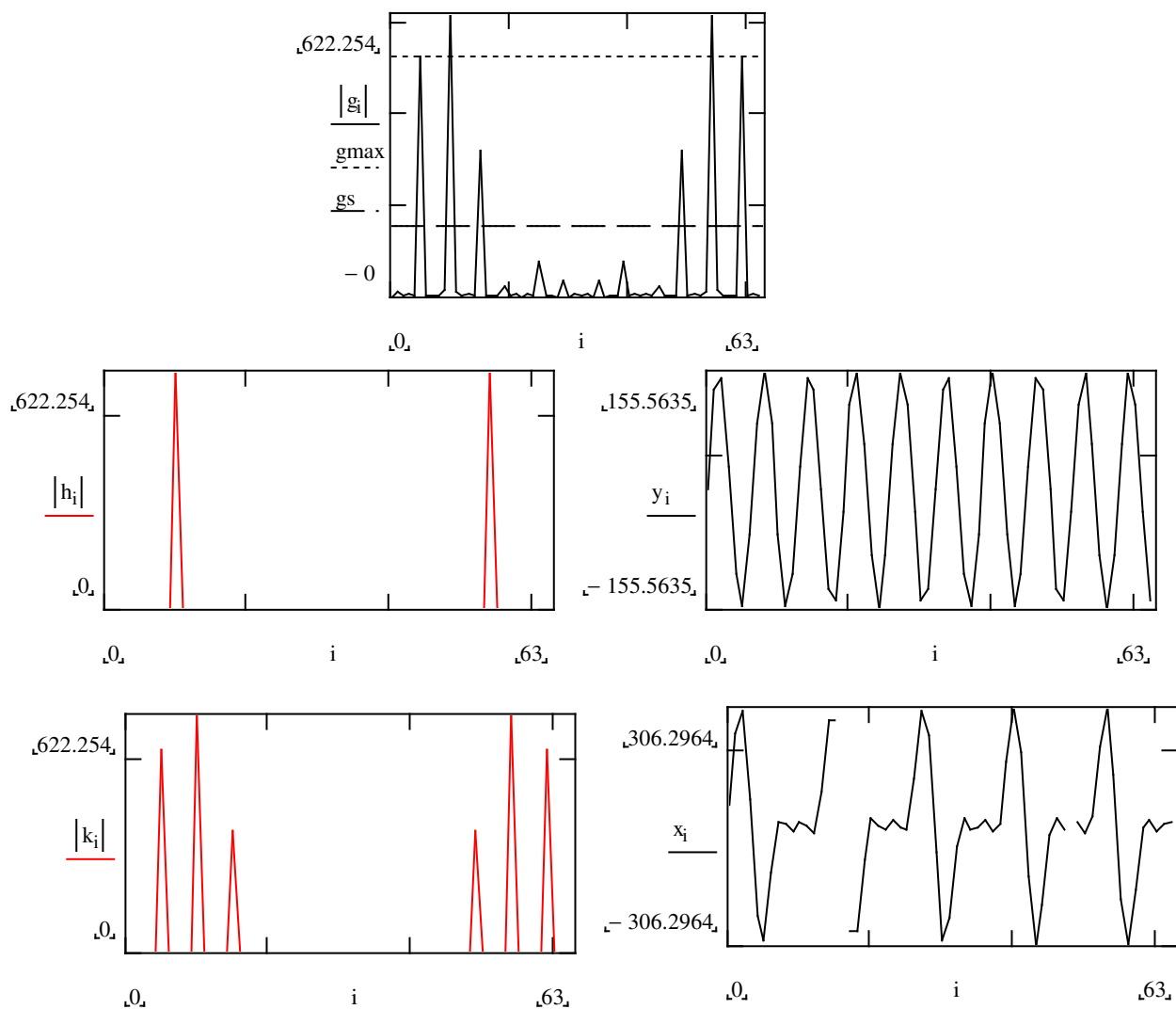


Figura 6: spectrul g complet, spectrul din care se reface semnalul în prima variantă h și semnalul refăcut y , spectrul din care se reface semnalul în a doua variantă k și semnalul refăcut x

Acest tip de perturbație deformează puternic forma sinusoidală. De aceea refacerea este dificilă. În prima variantă se alege pentru refacere doar armonica fundamentală și se obține forma sinusoidală dar cu o pierdere majoră de energie, amplitudinea semnalului fiind 155V față de cea inițială de 311V. În a doua variantă se aleg primele trei armonici și semnalul refăcut are o amplitudine apropiată de a celui inițial (306V) dar după cum se vede din figură forma semnalului este departe de a fi sinusoidală.

2.4.Semnal sinusoidal cu variații de frecvență

Acest tip de perturbație nu este prea des întâlnit pentru că frecvența tensiunii rețelei este dată de caracteristicile generatorului. Totuși se poate ca un generator supraîncărcat să genereze o astfel de perturbație. Pentru simulare se folosesc două semnale sinusoidale de frecvențe diferite:

Index: $i:=0..63$ Sinusoida: $u_i := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{i}{32} \cdot 2 \cdot \pi\right)$

Index: $j:=0..127$ Sinusoida: $v_j := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{j}{28} \cdot 2 \cdot \pi\right)$

Prima sinusoidă este completată pe al doilea interval de un semnal constant de amplitudine zero:

$$u_k=0 \quad \text{pentru } k:=64...127$$

A doua sinusoidă se face 0 în primul interval:

$$v_j := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{j}{28} \cdot 2 \cdot \pi\right) \cdot \phi(j-64)$$

Semnalul dorit este suma celor două sinusoida: $w:=u+v$

Se reprezintă grafic sinusoidalele u și v pe același grafic și semnalul rezultat w :

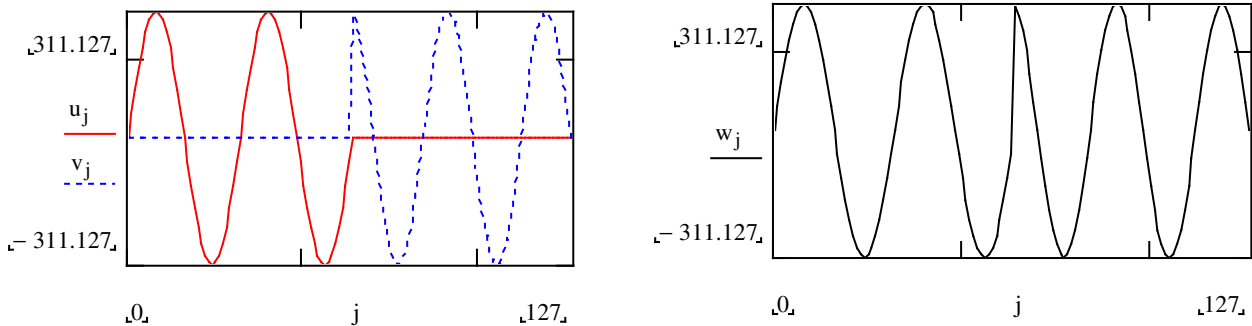


Figura 7: semnal cu o variație de frecvență

Se generează spectrul $q:=cfft(w)$.

Pentru a se putea elimina armonicile superioare se calculează $qs:=stdev(q)$ pentru a se putea reface semnalul din spectru.

Spectrul și un detaliu al spectrului sunt prezentate în figura 8:

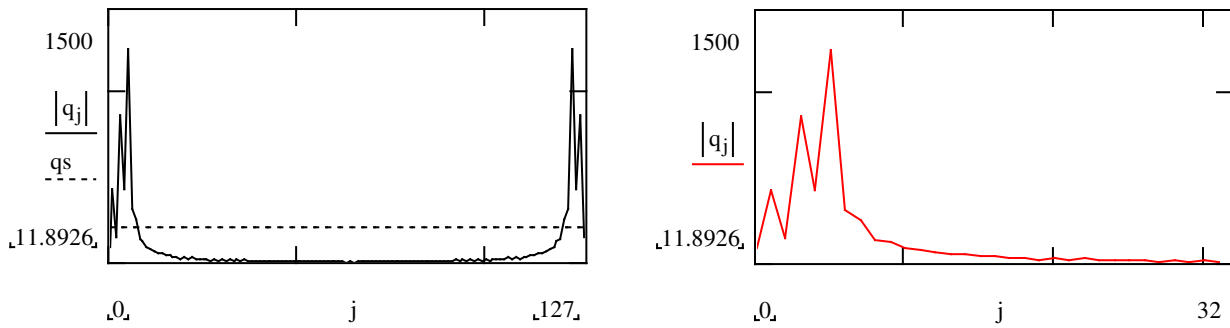


Figura 8: spectrul semnalului cu variație de frecvență și un detaliu

Se observă din figură că această perturbație generează două armonici suplimentare importante care fac refacerea dificilă.

Spectrul din care se reface semnalul este:

$$k_j = q_j \cdot \phi(|q_j| - qs)$$

Semnalul refăcut din spectru este: $y := icfft(k)$

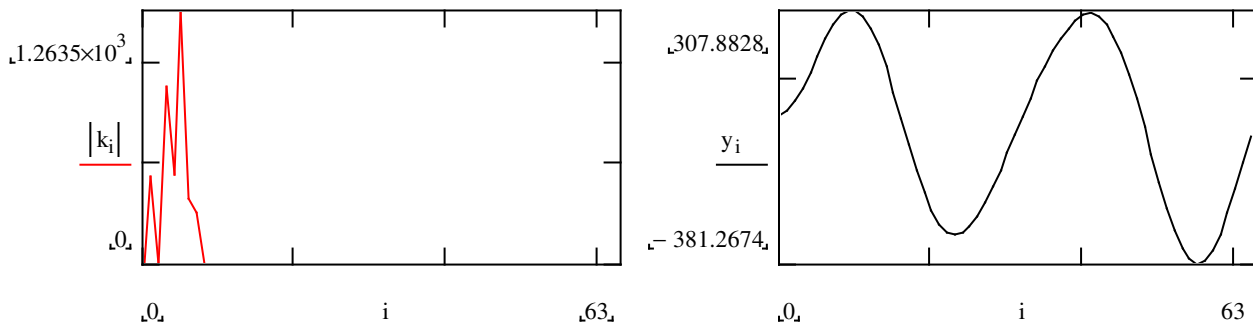


Figura 9: spectrul din care se reface semnalul și semnalul refăcut

Se poate observa din figură că semnalul refăcut este puternic distorsionat și nesimetric față de axa de 0V.

Pentru a se putea vedea care dintre caracteristicile variației de frecvență este mai importantă pentru apariția armonicilor superioare se generează o variație de frecvență mai mare dar defazajul la punctul de joncțiune se alege zero.

Index: $i := 0..63$

Sinusoida: $u_i := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{i}{32} \cdot 2 \cdot \pi\right)$

Index: $j := 0..127$

Sinusoida: $v_j := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{j}{21} \cdot 2 \cdot \pi\right)$

Prima sinusoidă este completată pe al doilea interval de un semnal constant de amplitudine zero:

$$u_k=0 \quad \text{pentru } k:=64\dots127$$

A doua sinusoidă se face 0 în primul interval:

$$v_j := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{j}{21} \cdot 2 \cdot \pi\right) \cdot \phi(j-64)$$

Semnalul dorit este suma celor două sinusoidă: $w:=u+v$

Se generează spectrul $q:=cfft(w)$ și se calculează $qs:=stdev(q)$

Spectrul din care se refăce semnalul este:

$$k_j = q_j \cdot \phi(|q_j| - qs)$$

Semnalul refăcut din spectru este: $x:=icfft(k)$

Se reprezintă grafic semnalul rezultat w și spectrul q :

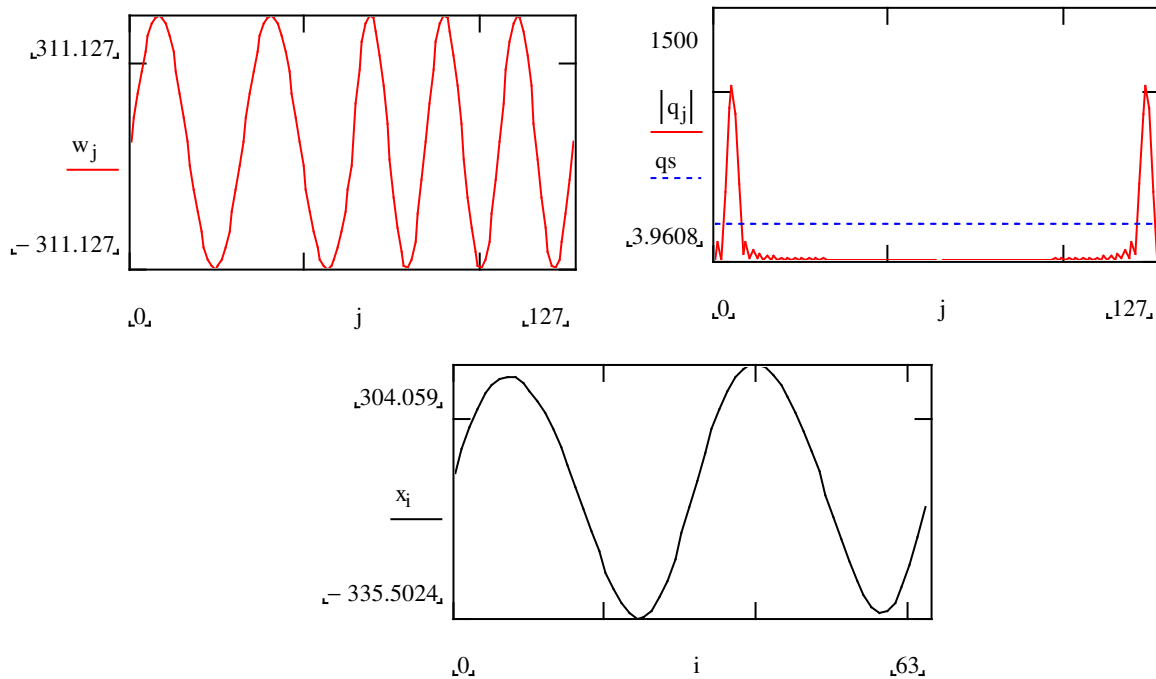


Figura 10: semnalul w cu o variație de frecvență mai mare și defazaj 0, spectrul q și semnalul refăcut din spectru x

Se observă din figură că spectrul semnalului are armonici superioare mai mici și ca urmare refacerea este mai bună, asimetria fiind mai mică. Se poate concluziona că mărimea variației de frecvență nu este atât de perturbatoare cât defazajul care apare în momentul modificării frecvenței.

2.5. Semnal sinusoidal cu variații de frecvență și amplitudine

Se pot combina simulările efectuate la punctele 6 și 2 și se obține astfel o variație simultană de amplitudine și frecvență. Este mai realist să se presupună că în momentul variației de frecvență determinată de o supraîncărcare a generatorului să se producă și o variație de amplitudine.

Index: $i:=0..63$ Sinusoida: $u_i := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{i}{32} \cdot 2 \cdot \pi\right)$

Index: $j:=0..127$ Sinusoida: $v_j := \sqrt{2} \cdot 186 \cdot \sin\left(\frac{j}{28} \cdot 2 \cdot \pi\right)$ cu altă frecvență și

amplitudine mai mică.

Prima sinusoidă este completată pe al doilea interval de un semnal constant de amplitudine zero:

$$u_k=0 \quad \text{pentru } k:=64...127$$

A doua sinusoidă se face 0 în primul interval:

$$v_j := \sqrt{2} \cdot 220 \cdot \sin\left(\frac{j}{28} \cdot 2 \cdot \pi\right) \cdot \phi(j-64)$$

Semnalul dorit este suma celor două sinusoida: $w:=u+v$

Se generează spectrul $q:=\text{fft}(w)$

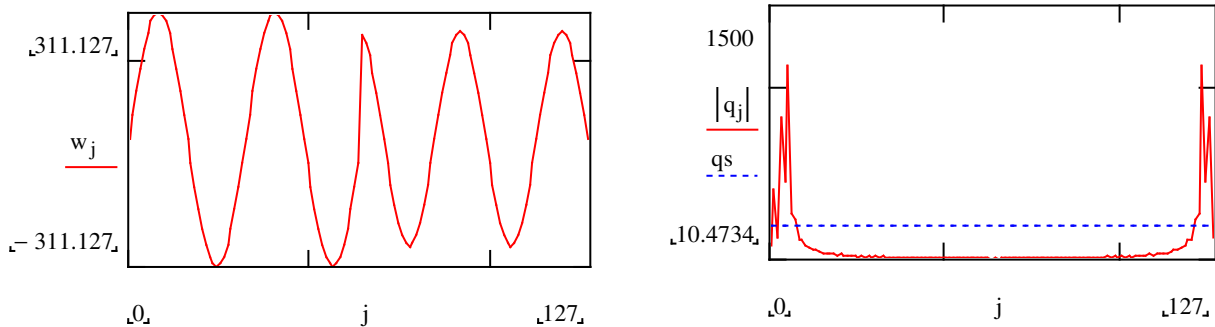


Figura 11: semnal w cu variație de frecvență și de amplitudine și spectrul q

Se observă că armonicile superioare sunt importante și sunt determinate în primul rând de variația de fază. Variația de amplitudine generează armonici neglijabile.

2.6. Concluzii

În urma simulărilor se poate trage concluzia importantă că toate evenimentele perturbatoare generează armonici superioare. De aici practic rezultă două lucruri:

1. Măsurarea nivelului de perturbare a liniei de alimentare poate fi realizată prin măsurarea armonicilor superioare. Pentru detecția perturbațiilor se poate folosi un dispozitiv care detectează armonicile superioare, figura 12:

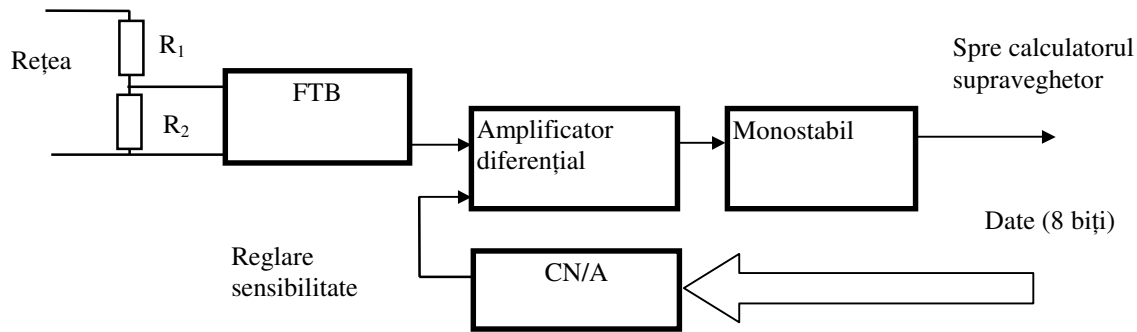


Figura 12: schema bloc a unui dispozitiv pentru detectarea armonicilor superioare în rețea

Tensiunea de urmărit este culeasă cu un divizor rezistiv de la tensiunea rețelei, în acest caz detectându-se impulsurile care apar diferențial între fază și nul. Există posibilitatea de cuplare față de împământare, ceea ce face sonda sensibilă la perturbațiile de mod comun. Primul amplificator operațional este într-o configurație de filtru trece bandă, având la intrare o fracțiune din tensiunea rețelei. Următorul amplificator operațional este un amplificator diferențial care axează pulsurile de frecvență mare pe un nivel continuu, pozitiv, reglabil, care va constitui reglajul de sensibilitate al sondei. Al treilea amplificator operațional este în montaj de monostabil. La ieșirea acestui monostabil este conectată linia de transmisie digitală spre calculator prin intermediul unui optocuplor. Existența optocuplorului este necesară pentru decuplarea galvanică, deoarece sonda este cuplată galvanic cu rețeaua. Sensibilitatea se poate comanda cu ajutorul unei plăci D/A. Ieșirea analogică pentru comanda pragului sensibilității trebuie de asemenea separată galvanic.

2. Eliminarea unor armonici superioare permite micșorarea sau eliminarea perturbațiilor, de aceea filtrele de rețea sunt componente importante pentru rejectia perturbațiilor. Un filtru are schema simplificată din figura 13:

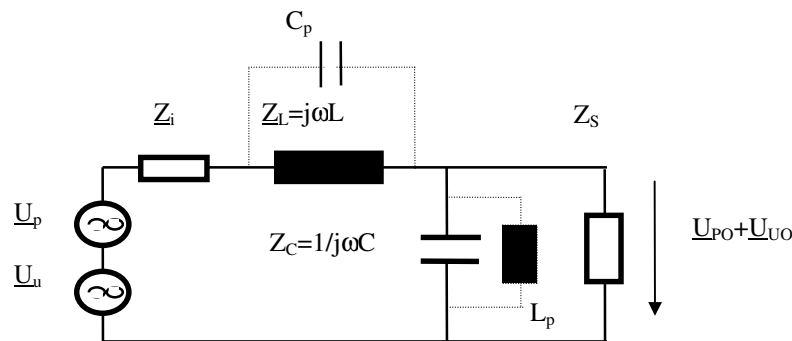


Figura 13: filtru de rețea

Tensiunea perturbatoare U_p se aplică în serie cu tensiunea utilă U_u . Filtrul trece jos cu bobina L și condensatorul C atenuează armonicile superioare. C_p și L_p sunt capacitatea parazită a înfășurării respectiv inductanța parazită a capacității. Aceste valori parazite permit apariția unor frecvențe de rezonanță (mari) care pot înrăutăți comportarea filtrelor.

Atenuarea introdusă de filtru pentru tensiunea perturbatoare va fi:

$$a(\omega) = 20 \lg \frac{|U_p(\omega)|}{|U_{po}(\omega)|} = 20 \lg \frac{\left| \underline{Z}_i + \underline{Z}_L + \frac{\underline{Z}_S \cdot \underline{Z}_C}{\underline{Z}_S + \underline{Z}_C} \right|}{\left| \frac{\underline{Z}_S \underline{Z}_C}{\underline{Z}_S + \underline{Z}_C} \right|}$$

Schema unui filtru de rețea este dată în figura 14:

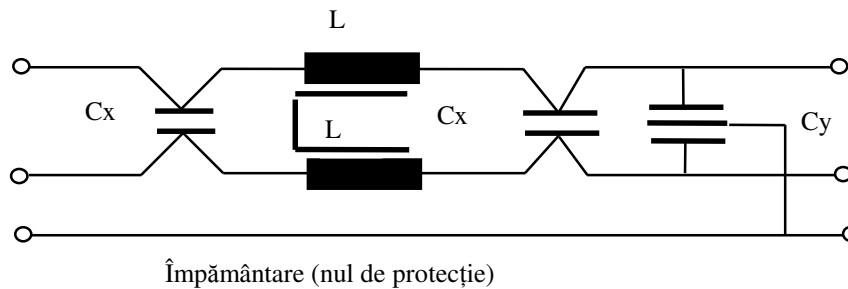


Figura 14: filtru de rețea

Condensatorii Cx au conexiunile direct la plăci pentru a minimiza inductivitățile parazite. Condensatorul Cy are un plan de separare la masă. Inductanțele L sunt parcurse de curenți în sensuri contrare pentru a se evita saturarea miezului. Menținerea nesaturată a miezului este importantă pentru a se putea filtra impulsuri de curent mare, suprapuse peste curentul absorbit de sarcină. La filtrele de rețea este indicată forma toroidală a miezului, deoarece fluxul se menține în interiorul inelului și nu se radiază câmp electromagnetic în exterior.

Condensatorii Cx filtrează componentele de mod diferențial, iar condensatorii Cy componentele de mod comun.

Mersul lucrării

1. Se studiază suportul teoretic de simulare;
2. Se refac simulările propuse în lucrare și se modifică anumiți parametrii, de exemplu parametrul funcției rnd, numărul de funcții rnd din sumă, amplitudinea lor, perioada de lipsă a tensiunii, diferența de frecvență între cele două alternanțe etc. și se observă modificările în spectru;
3. Se simulează combinații noi de perturbații, de exemplu impulsuri și zgomot aleator, diferență de frecvență și lipsa tensiunii etc. analizând spectrele obținute.
4. Filtrul de rețea elimină anumite componente spectrale. Se discută despre refacerea semnalului din spectru și funcția filtrului de rețea în diferite situații pentru diferite tipuri de perturbații.