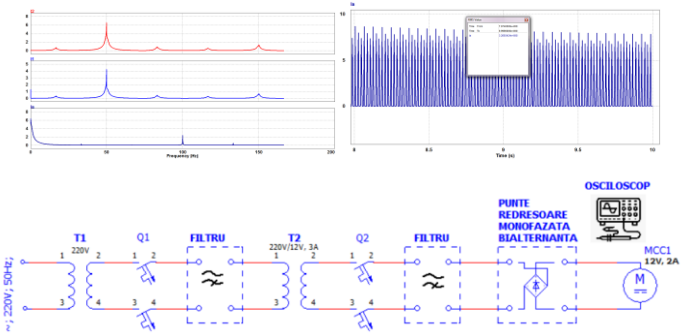
Elena Selim

Ion Voncilă **Mădălin Costin** **Ion Paraschiv**

Compatibilitate electromagnetică. Lucrări practice de laborator



GALATI UNIVERSITY PRESS

PREFAȚĂ

Îndrumarul de față, intitulat „Compatibilitate electromagnetică. Lucrări practice de laborator” îi vizează în mod deosebit pe studenții de la specializarea Inginerie Electrică, dar poate fi util și de interes tuturor studenților ce urmează facultăți de profil tehnic.

Compatibilitatea electromagnetică reprezintă un subiect de anvergură în inginerie și în societatea actuală, datorită dezvoltării tehnologiei informatice și electronicii (atât a microelectronicii, cât și a electronicii de putere). Intensificarea cazurilor de funcționare defectuoasă a echipamentelor sensibile la interferențele electromagnetice este motivul pentru care cercetătorii au făcut front comun în vederea studierii și analizării acestor probleme, cu scopul de a găsi cele mai bune soluții pentru situațiile dificile întâmpinate.

Pe baza acestor experiențe, în toate țările dezvoltate au fost create și adoptate reglementări pentru a limita/diminua problemele cauzate de interferența dintre echipamentele electrice (de forță) și electronice (de comandă) aflate în uz.

Îndrumarul de laborator conține șapte lucrări, în care s-a urmărit o expunere sistematică și unitară a fenomenelor de compatibilitate electromagnetică, utile studenților în a-și crea baza de cunoștințe, astfel încât analiza rezultatelor obținute prin intermediul lucrărilor practice și de simulare să fie facilă și ușor de asimilat.

Autorii

CUPRINS

Lucrarea nr. 1. Introducere în PSIM. Realizare și simulare sisteme electrice……..…..…...…….……...7

Lucrarea nr. 2. Influența componentei continue de tensiune/curent asupra rețelelor de joasă tensiune. Simulare în PSIM……..….16

Lucrarea nr. 3. Influența componentei continue de tensiune/curent asupra rețelelor de joasă tensiune. Analiză pe standul experimental……..40

Lucrarea nr. 4. Influența armonicilor de tensiune/curent asupra rețelelor de joasă tensiune. Simulare în PSIM……..49

Lucrarea nr. 5. Influența armonicilor de tensiune/curent asupra rețelelor de joasă tensiune. Analiză pe standul experimental…...….65

Lucrarea nr. 6. Studiul fluctuațiilor rapide de tensiune. Efectul de flicker……75

Lucrarea nr. 7. Influența golurilor de tensiune din rețea asupra funcționării consumatorilor/receptoarelor.....…….…….92

Bibliografie…….……..……..103

Lucrarea nr. 1
INTRODUCERE ÎN PSIM.
REALIZARE ȘI SIMULARE SISTEME ELECTRICE

Scopul lucrării este însușirea de informații în vederea familiarizării cu pachetul software PSIM, proiectat special atât pentru simularea circuitelor electronice de putere și de control, cât și a lanțurilor de acționări electrice de curent continuu și curent alternativ, utilizatorii având posibilitatea - prin intermediul unei interfețe accesibile - de a simula sisteme electrice, de la cele mai simple la cât mai complexe.

1. Consideraţii generale

Pachetul de simulare PSIM cuprinde trei module principale: SIMCAD prin intermediul căruia se modelează circuitele (document de ieșire de tip: *.sch), PSIM aplicația de bază pentru simulare (document de intrare de tip: *.cct; document de ieșire de tip: *.txt) și SIMVIEW care are ca scop procesarea și analizarea semnalelor (document de intrare de tip: *.txt).

În cadrul lucrărilor de laborator versiunea de PSIM utilizată este PSIM Version 9.1.

Utilizatorii vor descoperi o aplicație cu o grafică ușor de asimilat, existând patru blocuri principale cu componente, fiind structurate (distribuite) într-o manieră logică, astfel încât realizarea

unui circuit/sistem complex și complet să fie posibilă. Acestea sunt: bloc circuite/sisteme de putere, bloc circuite de control, bloc senzori și bloc switch controllers.

2. Noțiuni teoretice

După instalarea programului, primul pas este deschiderea aplicației accesând pictograma PSIM care se regăsește pe suprafața de lucru a calculatorului.

În fereastra care se deschide este necesar să accesăm **PSIM → New** în vederea deschiderii unei ferestre noi.

Prin apăsarea pictogramei **Save,** documentul se va salva în folderul alocat, cu titlul dorit**,** în format ***.psimsch,** unde va fi posibilă construirea noului circuit.

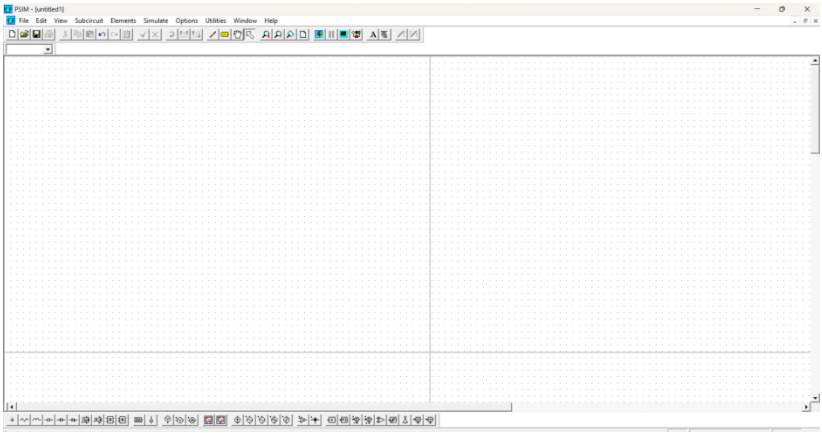


Fig. 1.1.a. - Deschiderea unui nou document

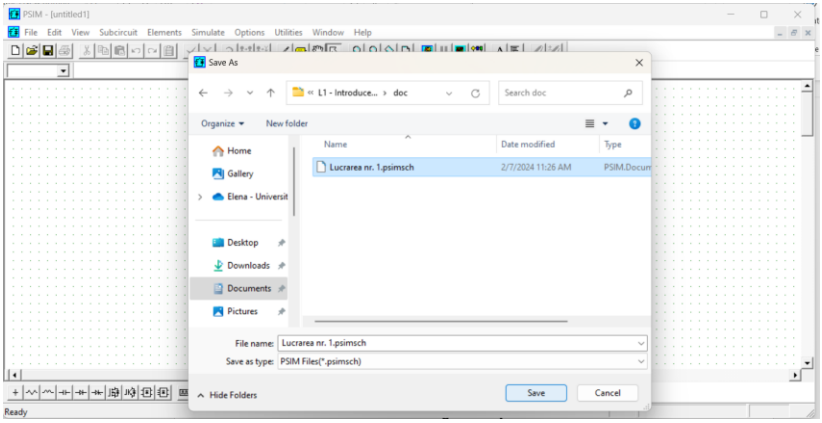


Fig. 1.1.b. - Salvarea noului document în format ***.psimsch**

3. Modul de lucru

Realizarea circuitelor se va face prin accesarea componentelor astfel: **PSIM → Elements → Power/Control/Sources/etc.** – figurile 1.2., 1.3., 1.4.

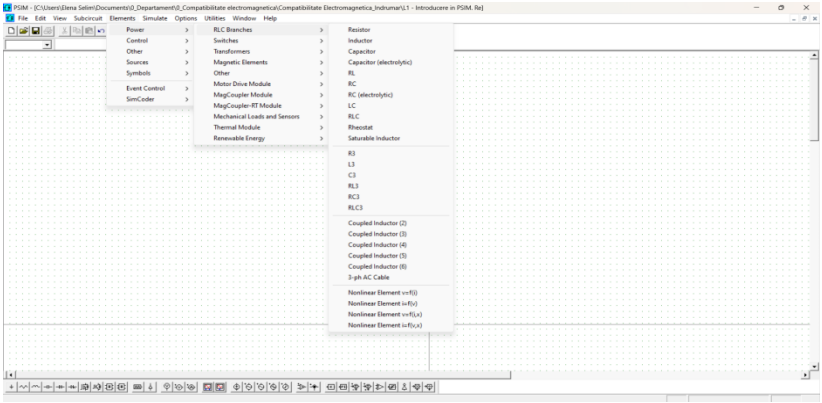


Fig. 1.2. - Elemente componente de circuit - Power PSIM

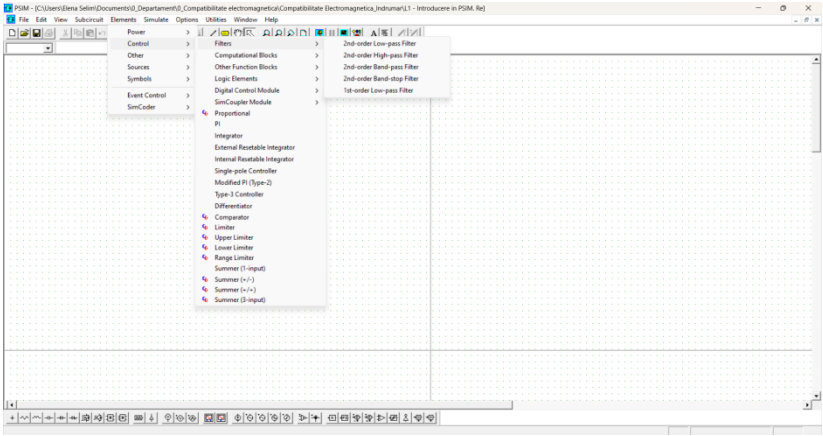


Fig. 1.3. - Elemente componente de circuit - Control PSIM

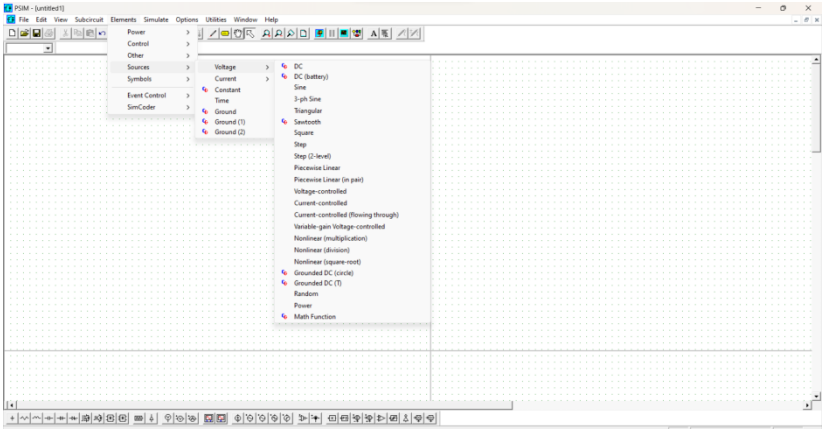


Fig. 1.4. - Elemente componente de circuit - Sources PSIM

De asemenea, se poate observa că elementele de circuit utilizate frecvent se regăsesc în bara de jos a foii de lucru (a documentului de lucru) – figurile 1.2., 1.3., 1.4.

Pentru a adăuga elementele de circuit dorite, ele se accesează apăsând **click stânga** și, apoi, se poziționează în foaia de lucru în mod similar, printr-un singur **click stânga**. Pentru a introduce un nou element de circuit se apasă tasta **Esc** și se alege următorul element urmând pașii de mai sus.

Proprietățile fiecărui element de circuit pot fi editate în funcție de cerințele aplicației: **Dublu Click pe Element → Afișarea ferestrei cu proprietăți → Modificarea datelor → Salvarea automată a datelor prin închiderea ferestrei.**

Dacă dorim ca proprietățile să fie vizibile în spațiul de lucru, se va activa căsuța **Display** (fig. 1.6.).

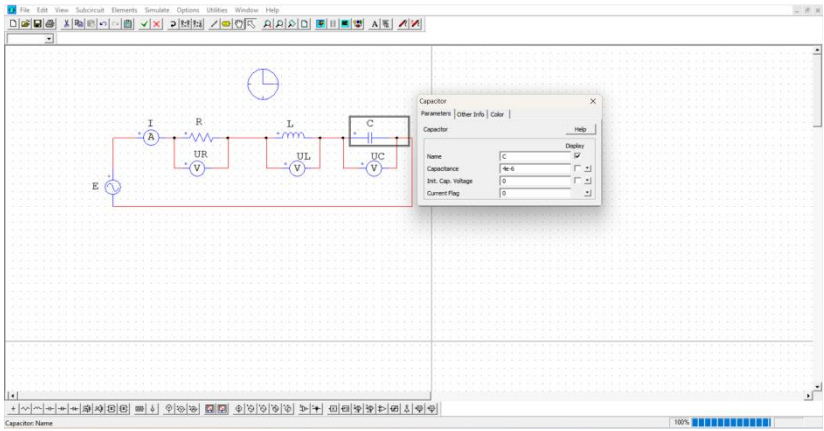


Fig. 1.5. - Fereastră parametri elemente de circuit – simulare circuite electrice de curent alternativ

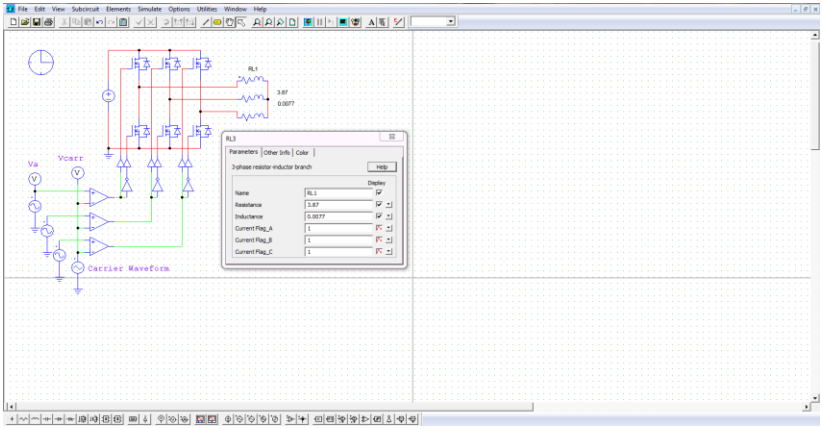


Fig. 1.6. - Fereastră parametri elemente de circuit – simulare invertor trifazat (cu MOSFET-uri) – comandă PWM sinusoidală

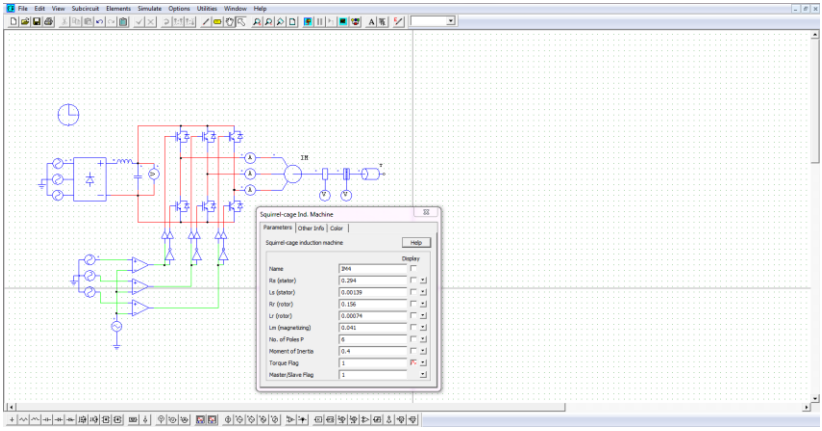


Fig. 1.7. - Fereastră parametri elemente de circuit – simulare acționare electrică cu motor de inducție alimentat prin convertor de frecvență (invertor cu IGBT-uri)

Legăturile dintre echipamentele/elementele de circuit se realizează prin apăsarea pictogramei **WIRE** situată în bara de sus a aplicației, în foaia de lucru activându-se, astfel, un creion cu ajutorul căruia conectăm bornele dorite ținând apăsat click stânga.

Pentru simulare se va intra în meniu **Simulate → Simulation Control.** În foaia de lucru apare simbolul unui ceas, putând, astfel, să stabilim durata perioadei de simulare.

Se accesează din meniu **Simulate → Run Simulation** sau se apasă direct tasta **F8.** După terminarea perioadei de simulare va apărea interfața modulului SIMVIEW unde se vor vizualiza formele de undă (fig. 1.8.). Putem selecta una sau mai multe mărimi de interes (forme de undă) pentru vizualizare. **Selectare curbă → Add → OK (Dublu click curbă → OK).**

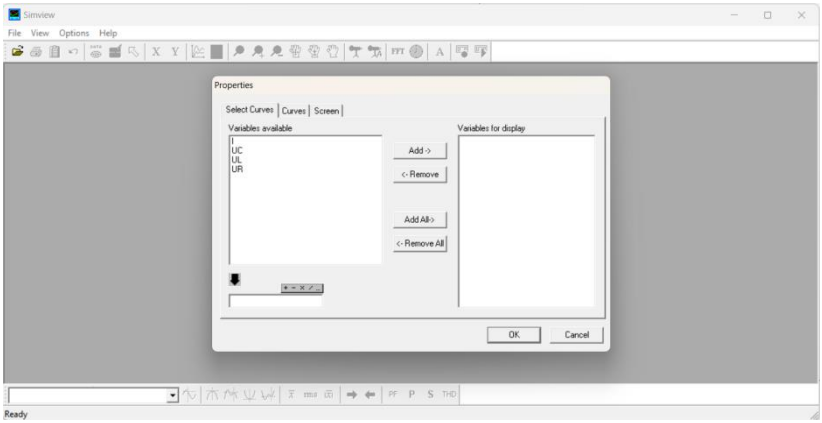


Fig. 1.8. - Fereastră inițială - modul SIMVIEW

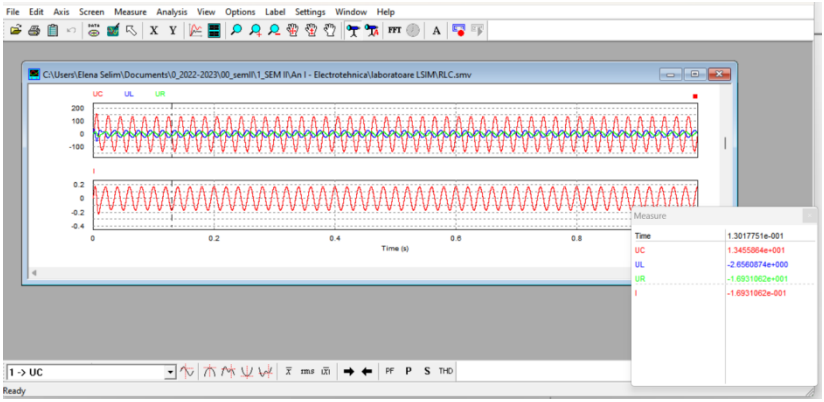


Fig. 1.9. - Vizualizare forme de undă - modul SIMVIEW

Se pot vizualiza formele de undă în domeniul mărime de interes - timp, în cadrul aceluiași grafic sau putem vizualiza formele de undă pe grafice separate.

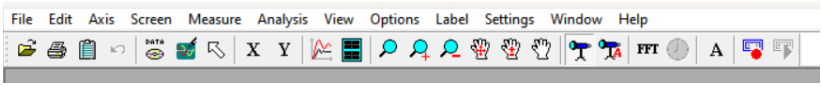


Fig. 1.10. - Meniu principal - modul SIMVIEW

Putem modifica setările fiecărei axe apăsând pe **X** și pe **Y**.

Accesând **Measure** - în meniul principal (fig. 1.10.) - putem vizualiza valorile mărimilor studiate pentru un anumit timp.

Datele pot fi salvate într-un fișier de tip ***.smv.**

4. Cerințe:

1. Familiarizarea cu principalele elemente de lucru din cadrul programului PSIM.
2. Realizarea și simularea unui circuit/sistem, salvarea într-un fișier de tip *.smv a rezultatelor obținute, cu scopul vizualizării mărimilor de interes (variabilelor).
3. Explicarea modului în care funcționează circuitul/sistemul dat și interpretarea rezultatelor obținute.

Lucrarea nr. 2

INFLUENȚA COMPONENTEI CONTINUE DE TENSIUNE/ CURENT ASUPRA REȚELELOR DE JOASĂ TENSIUNE. SIMULARE ÎN PSIM

Scopul acestei lucrări este de a vizualiza - prin intermediul mediului de programare (simulare) PSIM - comportamentul motorului de curent continuu, cu excitație separată, în cazul utilizării redresoarelor necomandate. Vor fi studiate două cazuri: a) cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță; b) cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță.

1. Chestiuni de studiat

Deținând informații despre modul de lucru cu software-ul PSIM, din lucrarea anterioară, se vor creea schemele necesare studiului propus, adăugând, rând pe rând, în mediul de lucru, elementele necesare din blocurile aferente și realizând, totodată, definirea parametrilor.

1.1. Se vor studia particularitățile funcționale ale redresoarelor necomandate monofazate, monoalternanță și bialternanță;

1.2. Se va studia comportarea MCC cu excitație separată alimentat de la baterie (sursă pură de tensiune continuă) – *referință*. Se vor vizualiza atât amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice

(U_a), cât și amplitudinile curentului prin înfășurarea rotorică (I_a) și ale cuplului electromagnetic dezvoltat (T_{em}), în regim staționar;

1.3. Se va studia comportarea MCC cu excitație separată în cazul alimentării circuitului rotoric de la un redresor monofazat monoalternanță. Se vor vizualiza atât amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice (U_a), cât și amplitudinile curentului prin înfășurarea rotorică (I_a) și ale cuplului electromagnetic dezvoltat (T_{em}), în regim staționar;

1.4. Se va studia comportarea MCC cu excitație separată în cazul alimentării circuitului rotoric de la un redresor monofazat bialternanță. Se vor vizualiza atât amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice (U_a), cât și amplitudinile curentului prin înfășurarea rotorică (I_a) și ale cuplului electromagnetic dezvoltat (T_{em}), în regim staționar;

1.5. În cazul alimentării MCC cu excitație separată prin intermediul redresoarelor necomandate, se va realiza o analiză comparativă a comportării transformatorului electric ce alimentează redresoarele studiate. Referința – pentru această analiză va fi reprezentată de alimentarea prin intermediul transformatorului monofazat a unui circuit RL în curent alternativ. Vor fi vizualizate formele de undă ale curenților din secundarul (I_2) și primarul (I_1) transformatorului monofazat. Pe baza analizei Fourier se va identifica componenta continuă (I_d) din curbele curenților din secundarul și primarul transformatorului de alimentare a redresoarelor monofazate necomandate.

2. Noțiuni teoretice

Este utilă reamintirea cunoștintelor privind modul de funcționare a redresoarelor și rolul lor în cadrul circuitelor electronice/electrice.

Redresorul monofazat monoalternanță (dioda) se utilizează în aplicații în care este necesară convertirea unei faze de curent alternativ în curent continuu. Denumirea de monoalternanță este determinată de faptul că redresează doar o alternanță (fig. 2.1.a, b).

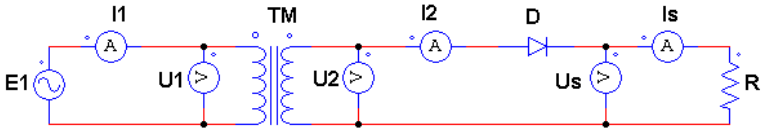


Fig. 2.1.a. - Circuit electric cu redresor monofazat monoalternanță

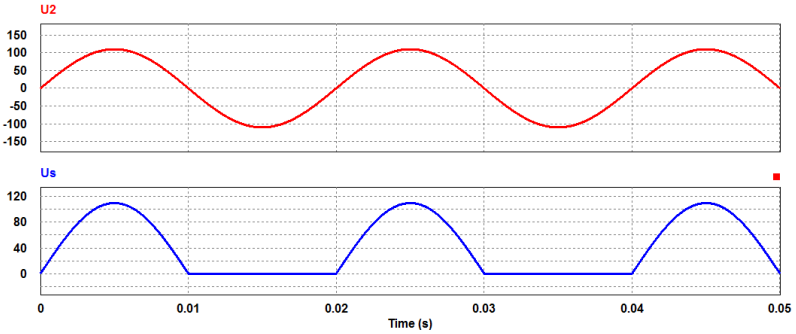


Fig. 2.1.b. - Caracteristicile tensiunii de intrare U2 și tensiunii redresate Us

În situația ***redresorului monofazat bialternanță cu punct median***, circuitul este prezentat în fig. 2.2.

Când tensiunea de aliemntare de linie este pozitivă, semnalele Us vor fi pozitive. D1 conduce și D2 este polarizat invers, astfel curentul care parcurge D1 va circula prin R1 și se va întoarce la punctul de derivație central din secundar.

Pe parcursul perioadei negative a tensiunii de curent alternativ de linie, cele două tensiuni notate cu U2 vor fi negative. Dioda D2 conduce și dioda D1 va fi blocată.

Curentul condus prin D2 va circula prin R și se va întoarce la punctul de derivație central.

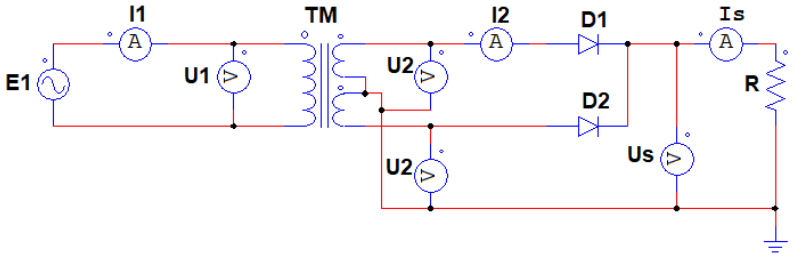


Fig. 2.2.a. - Circuit electric cu redresor monofazat bialternanţă cu punct median

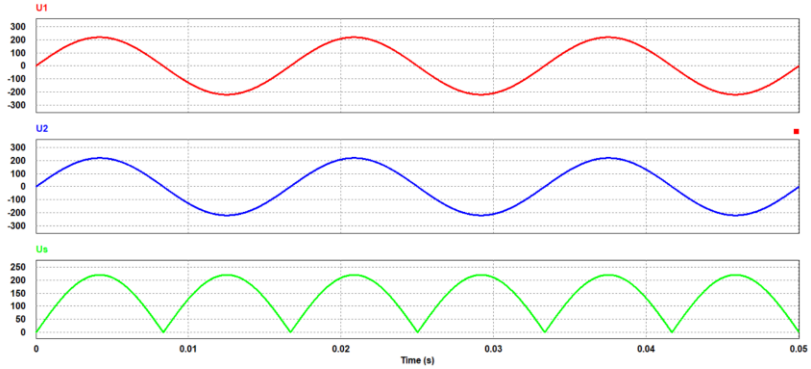


Fig. 2.2.b. - Caracteristicile tensiunilor din circuitul cu redresor monofazat bialternanță cu punct median

3. Modul de lucru

3.1. Alimentarea motorului de curent continuu (MCC) de la baterie (sursă pură de tensiune continuă)

Se va realiza în PSIM schema prezentată în figura 2.3. Sursa pură de tensiune se va stabili la o valoare de 110 V. Timpul de simulare se stabilește la o valoare mai mare de 2 secunde.

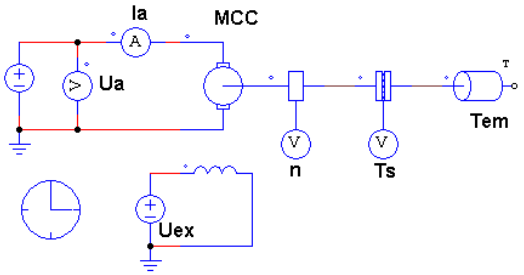


Fig. 2.3. - Alimentarea MCC de la o sursă pură de tensiune continuă (baterie) – schema de principiu

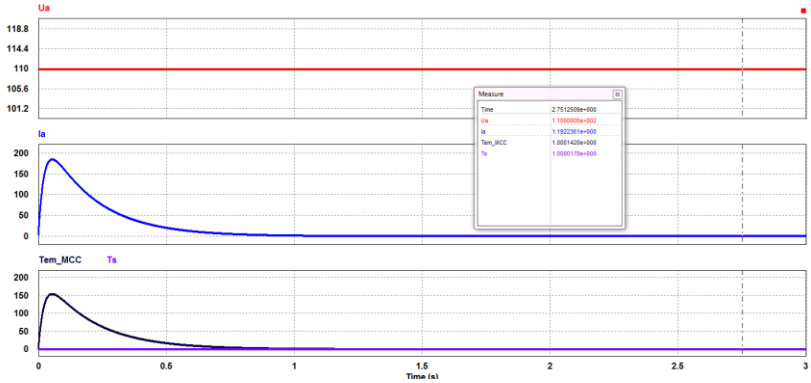


Fig. 2.4. - Tensiunea de alimentare, curentul prin înfăşurarea rotorică şi cuplul electromagnetic dezvoltat în cazul MCC – cu excitaţie separată - alimentat de la o sursă pură de tensiune continuă

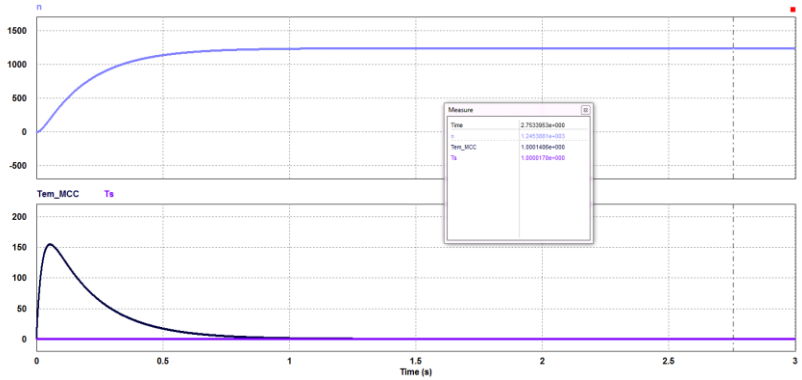


Fig. 2.5. - Turaţia şi cuplul electromagnetic ale MCC în cazul alimentării de la o sursă pură de tensiune continuă

3.2. Alimentarea motorului de curent continuu (MCC) de la un redresor monofazat monoalternanţă

Se realizează - în PSIM - schema din figura 2.7. care este compusă dintr-o sursă de tensiune alternativă, transformator monofazat ideal, redresor monofazat monoalternanță, motor de curent continuu, senzor de viteză, senzor de cuplu, sarcină mecanică la cuplu constant.

Echipamentele se introduc din librăria PSIM. (fig. 2.6.).

În urma simulării, se vor vizualiza în SIMVIEW formele de undă studiate.

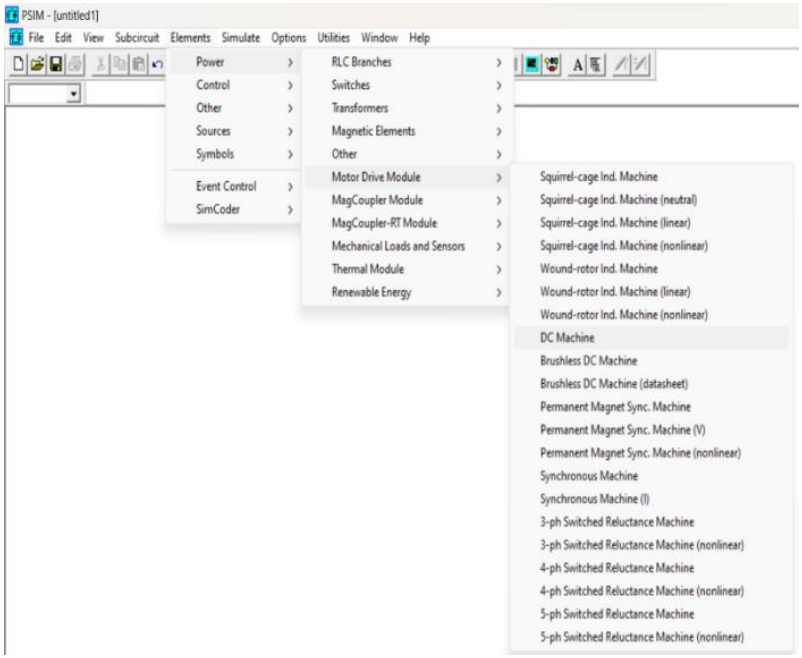


Fig. 2.6. - Introducere MCC din librăria PSIM

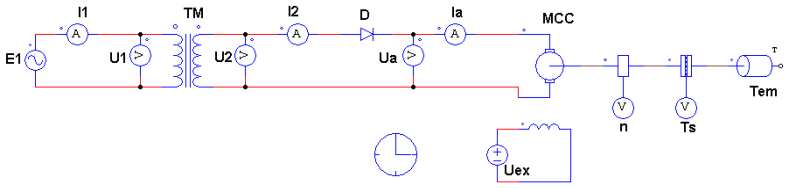


Fig. 2.7. - Alimentare MCC printr-un redresor monofazat monoalternanţă – schema de principiu

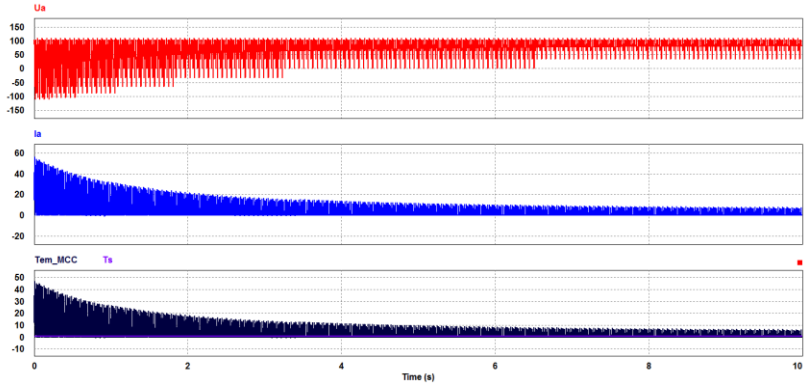


Fig. 2.8.a. - Tensiunea de alimentare, curentul prin înfăşurarea rotorică şi cuplul electromagnetic dezvoltat în cazul MCC – cu excitaţie separată - alimentat de la un redresor monofazat monoalternanţă (primele 500 perioade ale tensiunii din secundarul transformatorului)

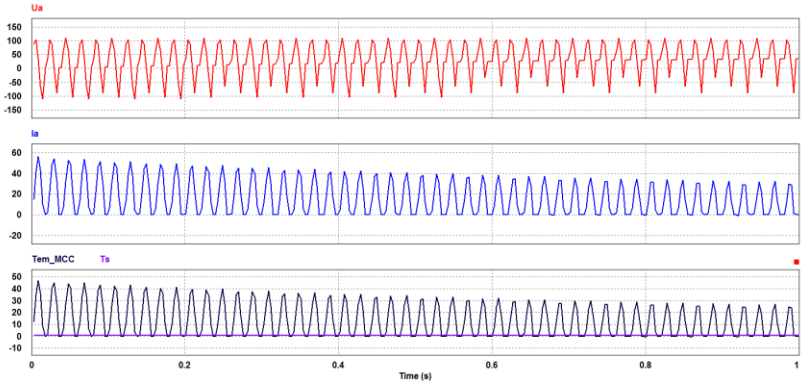


Fig. 2.8.b. - Tensiunea de alimentare, curentul prin înfăşurarea rotorică şi cuplul electromagnetic dezvoltat în cazul MCC – cu excitaţie separată - alimentat de la un redresor monofazat monoalternanţă (primele 50 perioade)

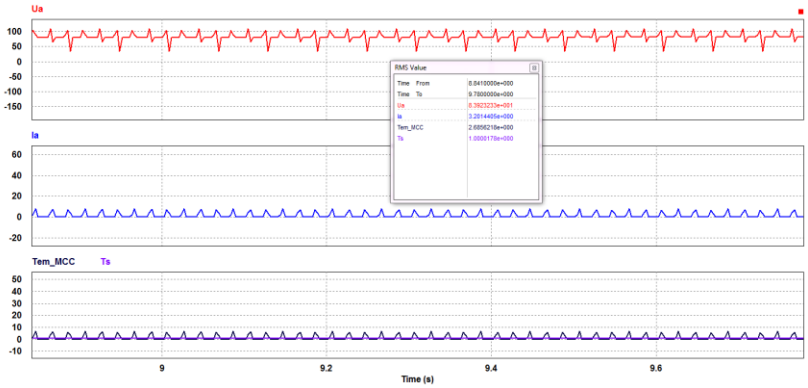


Fig. 2.8.c. - Zoom în intervalul de timp [8,8 s - 9,8 s]
pe caracteristicile prezentate în figura 2.8,a

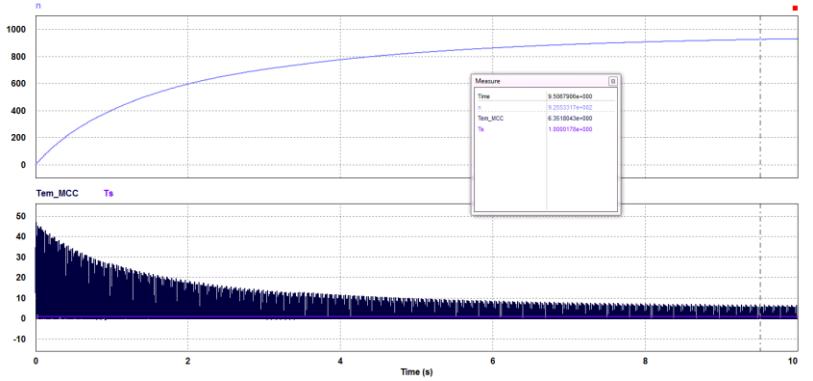


Fig. 2.9. - Turaţia şi cuplul electromagnetic ale MCC în cazul alimentării de la un redresor monofazat monoalternanţă

3.3. Alimentarea motorului de curent continuu de la un redesor monofazat dublă alternanță în punte (puntea Graetz)

Se realizează - în PSIM - schema din figura 2.10.

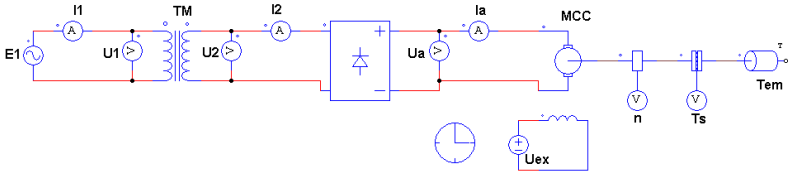


Fig. 2.10. - Alimentare MCC printr-un un redresor monofazat bialternanță în punte (puntea Graetz) - schema de principiu

Diagrama unei punți redresoare monofazate bialternanță este prezentată în figura 2.11.a.

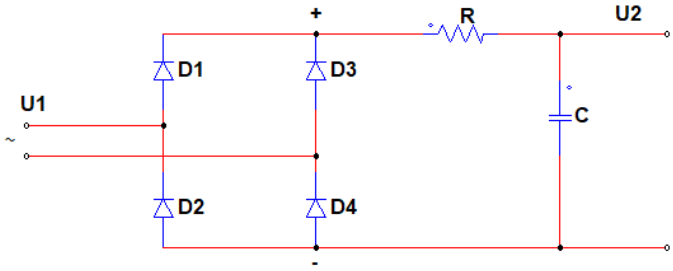


Fig. 2.11.a. - Circuit punte redresoare monofazată bialternanță

Puntea redresoare monofazată bialternanță este reprezentată de elementul din fig 2.11.b: **PSIM → ELEMENTS → POWER → SWITCHES→ 1ph Diode Bridge.**

În urma simulării se vor afișa în SIMVIEW caracteristicile tensiunii de alimentare, a curentului prin înfășurarea rotorică ale MCC, turația și cuplul electromagnetic, în cazul alimentării de la un redresor monofazat bialternanță (în punte).

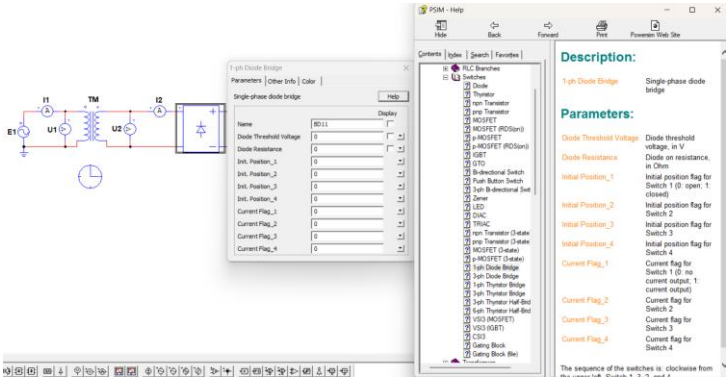


Fig. 2.11.b. - Punte redresoare monofazată bialternanță în PSIM

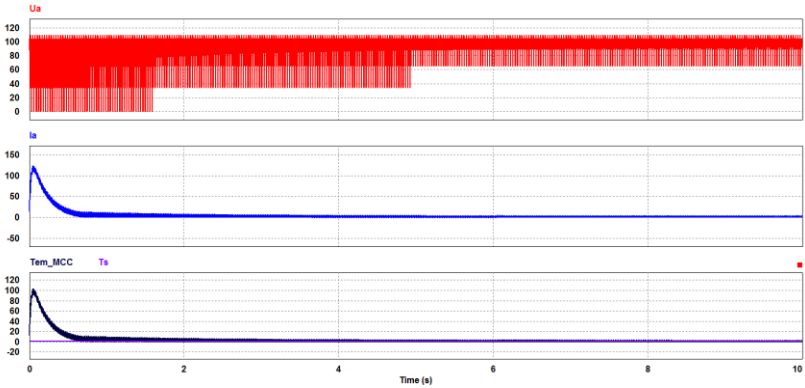


Figura 2.12.a. - Tensiunea de alimentare, curentul prin înfăşurarea rotorică şi cuplul electromagnetic dezvoltat în cazul MCC – cu excitație separată - alimentat de la un redresor monofazat bialternanţă (primele 500 perioade ale tensiunii din secundarul transformatorului)

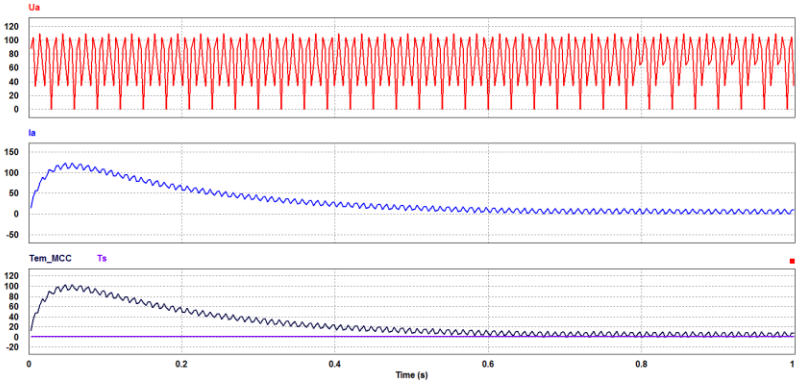


Fig. 2.12.b. - Tensiunea de alimentare, curentul prin înfăşurarea rotorică şi cuplul electromagnetic dezvoltat în cazul MCC – cu excitaţie separată - alimentat de la un redresor monofazat bialternanţă (primele 50 perioade)

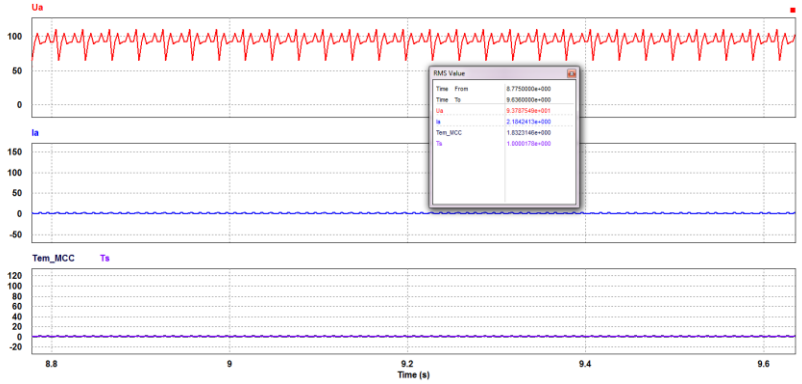


Fig. 2.12.c. - Zoom în intervalul de timp [8,8 s - 9,6 s] pe caracteristicile prezentate în figura 2.12.a.

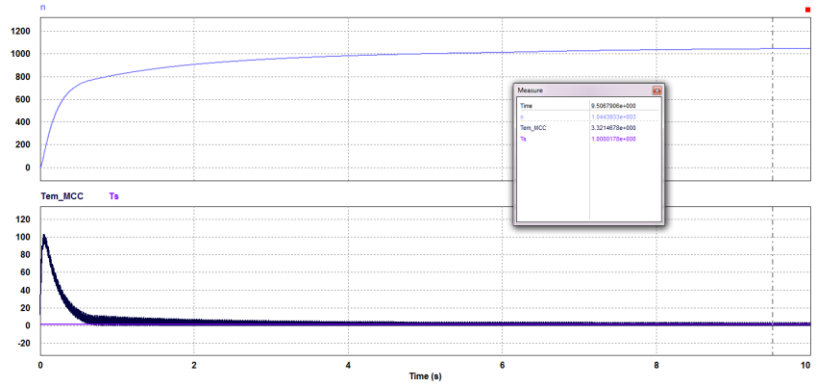


Fig. 2.13. - Turaţia şi cuplul electromagnetic ale MCC în cazul alimentării de la un redresor monofazat bialternanţă (puntea Graetz)

3.4. Influența componentelor de tensiune/curent asupra transformatoarelor electrice din rețelele de joasă tensiune

A. Cazul alimentării de la un transformator monofazat (TM) a unei sarcini de curent alternativ (sarcină RL)

Schema de principiu – în mediul PSIM – utilizată, în acest caz, este prezentată în figura 2.14. Parametrii sarcinii de curent alternativ sunt: $R = 0{,}5\ \Omega$; $L = 0{,}01$ H (care sunt, de fapt, parametrii înfășurării rotorice a MCC cu excitație separată ales pentru studiu).

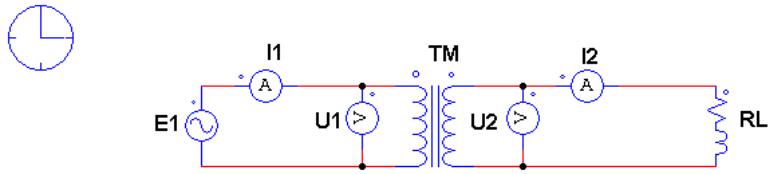


Fig. 2.14. - Alimentarea de la un transformator monofazat (TM) a unei sarcini de curent alternativ (sarcină RL)

Variația mărimilor de interes (tensiunile din primar și secundar, respectiv, curenții din primar și secundar pentru transformatorul ideal utilizat în simulare) sunt prezentate în figurile 2.15. – 2.18. (inclusiv spectrele de frecvență pentru curbele de variație ale acestor mărimi).

Cazul prezentat se constituie *într-o referință* pentru analiza comportării transformatorului electric monofazat la alimentarea unor sarcini de curent continuu prin intermediul redresoarelor monofazate monoalternanță și bialternanță. În fig. 2.18. este reliefat faptul că sarcina de curent alternativ RL (chiar și în cazul transformatorului ideal analizat) generează o mică componentă continuă în curba curentului din primar (și, practic, nesemnificativă în curba curentului din secundar).

Această particularitate va constitui obiectul analizei comparative de la punctul 1.5. din Chestiuni de studiat).

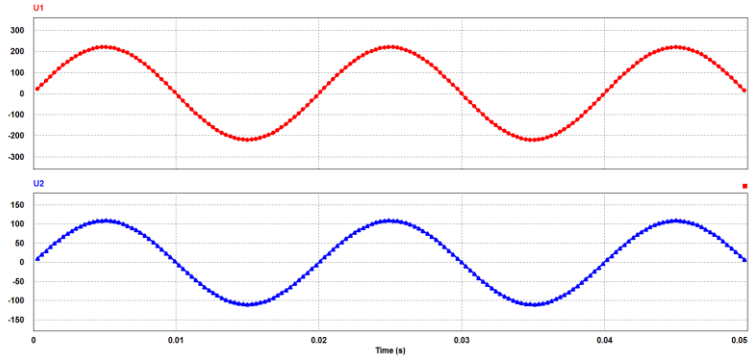


Fig. 2.15. - Variația tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat la alimentarea unei sarcini RL

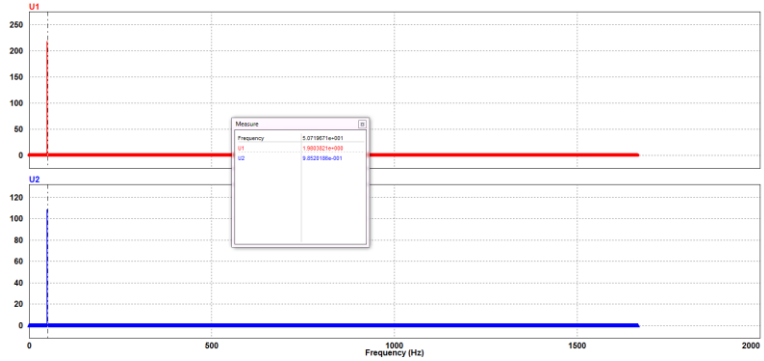


Fig. 2.16. - Spectrul de frecvență al tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat la alimentarea unei sarcini RL

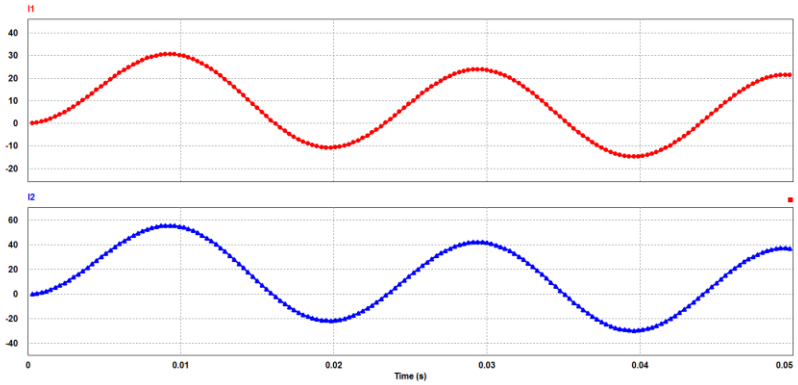


Fig. 2.17. - Variația curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat la alimentarea unei sarcini RL

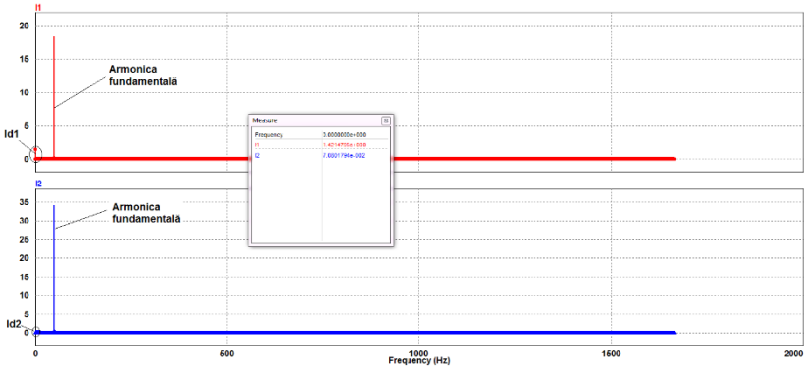


Fig. 2.18. - Spectrul de frecvență al curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat la alimentarea unei sarcini RL

B. Cazul alimentării prin intermediul redresoarelor a unei sarcini de curent continuu (sarcină R)

B1. Cazul alimentării MCC – cu excitație separată - prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță

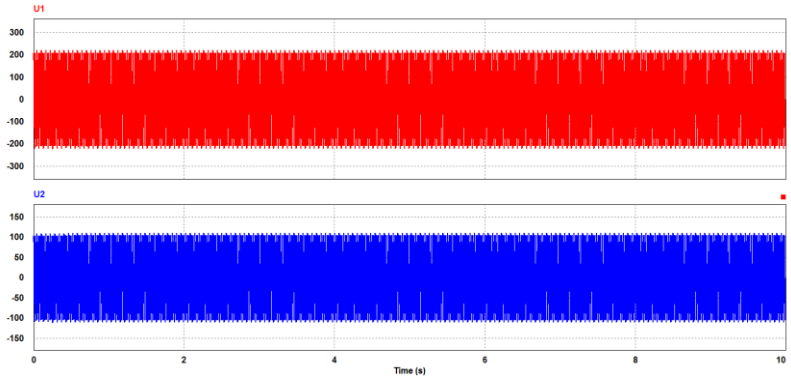


Fig. 2.19. - Variația tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță

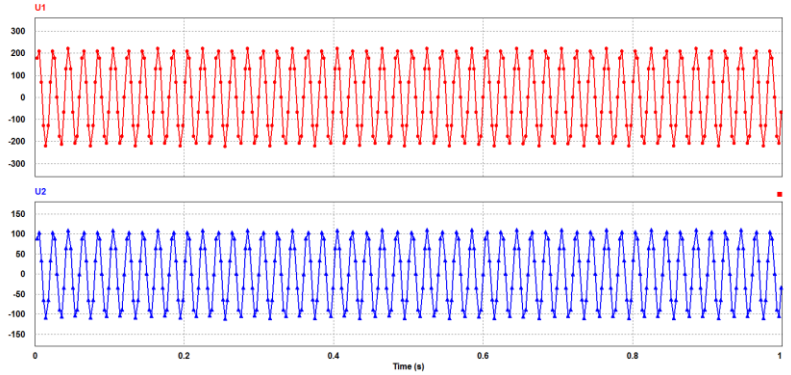


Fig. 2.20. - Variația tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță (primele 50 de perioade)

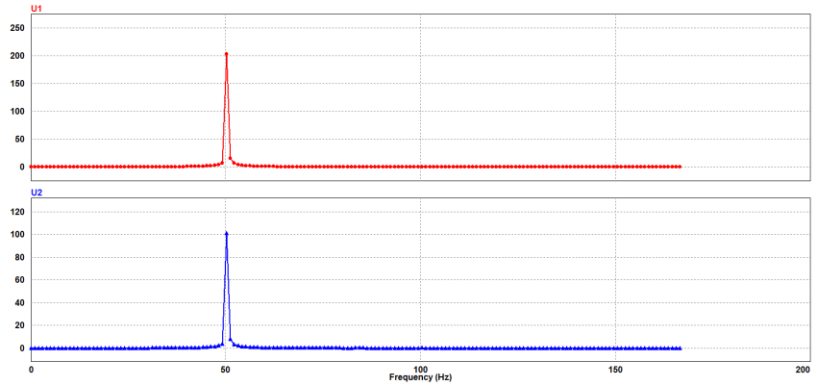


Fig. 2.21. - Spectrul de frecvență al tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță

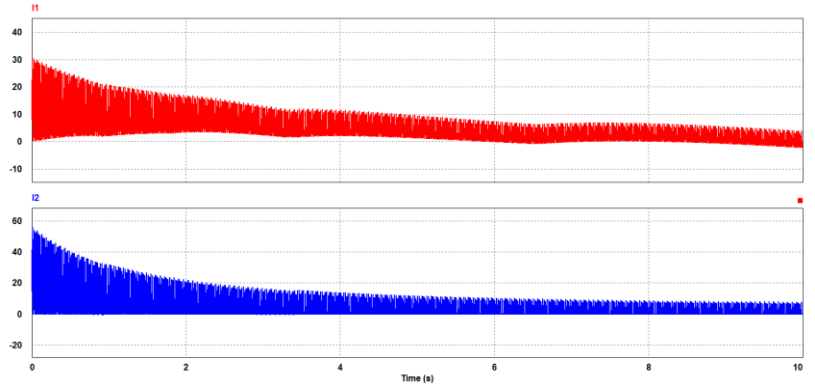


Fig. 2.22. - Variația curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță

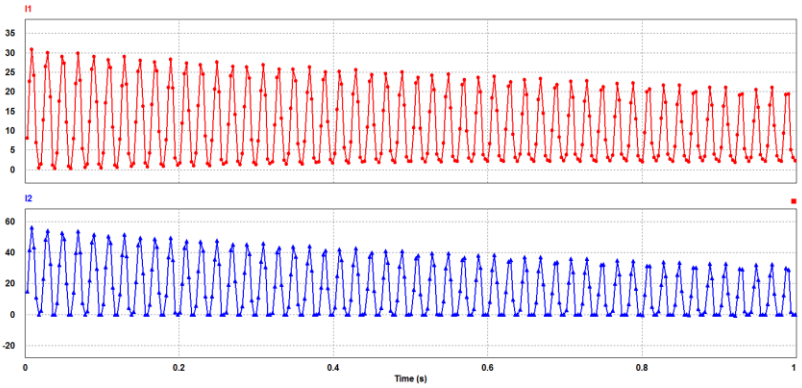


Fig. 2.23. - Variația curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță (primele 50 de perioade)

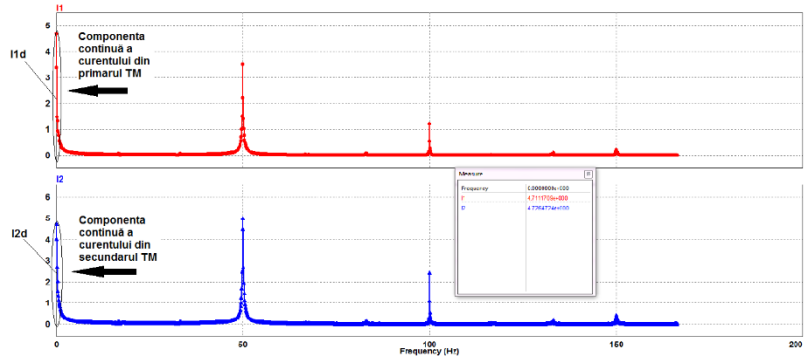


Fig. 2.24. - Spectrul de frecvență al curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță, cu evidențierea componentei continue din curba curentului primar (I_{1d}), respectiv, curba curentului secundar (I_{2d})

B2. Cazul alimentării MCC – cu excitație separată - prin intermediul redresorului monofazat bialternanță (puntea Graetz)

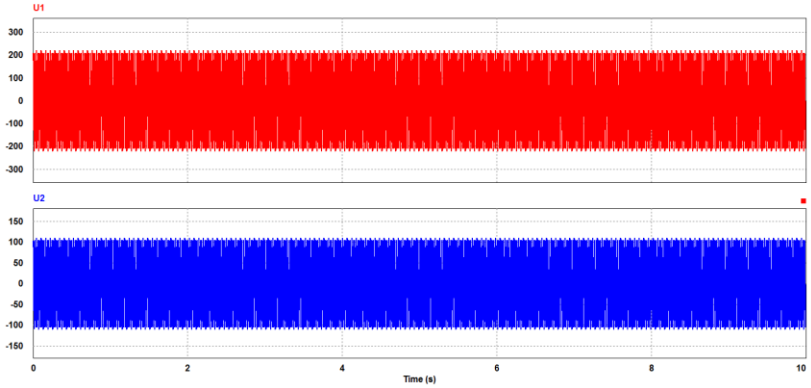


Fig. 2.25. - Variația tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță

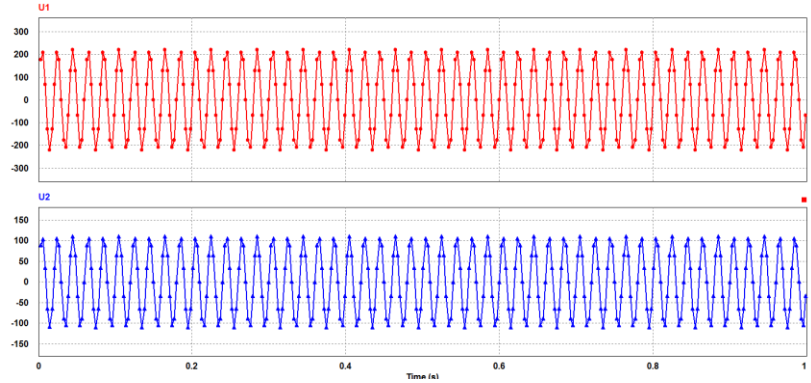


Fig. 2.26. - Variația tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță (primele 50 de perioade)

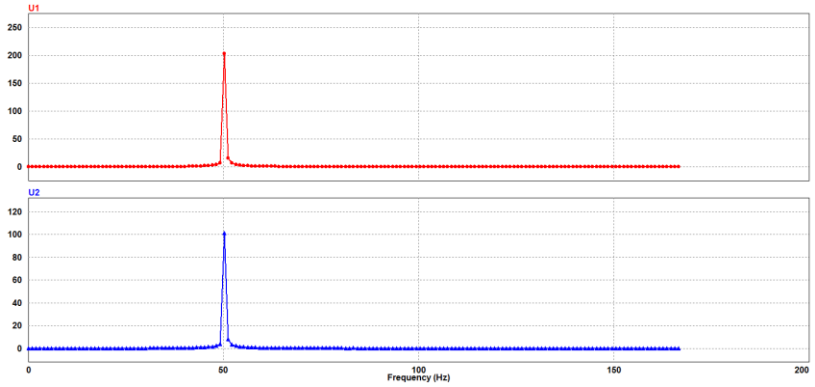


Fig. 2.27. - Spectrul de frecvență al tensiunilor din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță

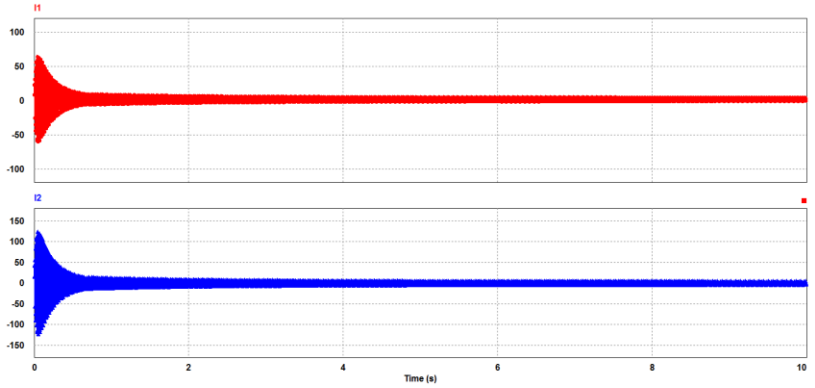


Fig. 2.28. - Variația curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță

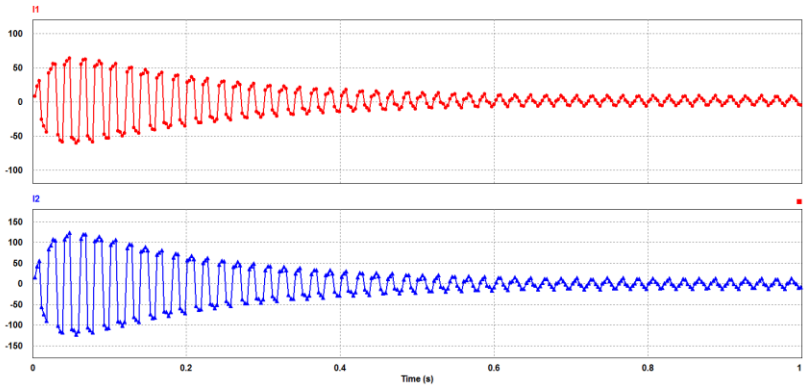


Fig. 2.29. - Variația curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță (primele 50 de perioade)

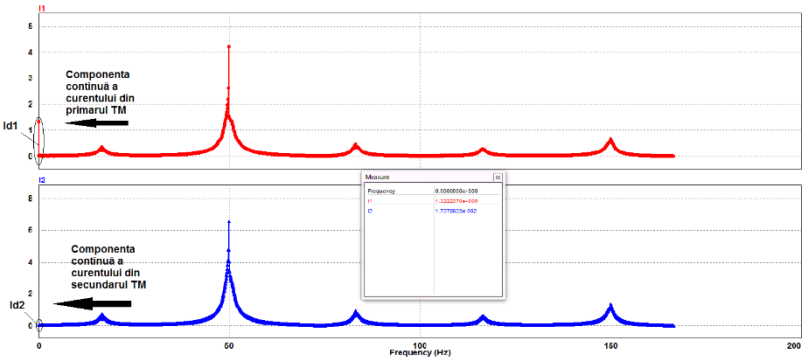


Fig. 2.30. - Spectrul de frecvență al curenților din primarul și secundarul transformatorului monofazat în cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță, cu evidențierea componentei continue din curba curentului primar (I_{1d}), respectiv, curba curentului secundar (I_{2d})

4. Tabele cu date și rezultate

Rezultatele culese din procesele de simulare se vor centraliza în tabelele următoare.

Observație: Studenții vor efectua, în cadrul laboratorului, simulări pentru ***alte valori*** ale mărimilor fizice (tensiuni etc.) și ale parametrilor sistemelor studiate (rezistență, inductivitate etc.) decât cele utilizate în cadrul lucrării pentru explicitarea detaliată a problematicii supuse analizei.

Tabelul 2.1. – Analiza influenței modului de alimentare asupra sarcinii (MCC cu excitație separată)

Alimentare MCC de la baterie (sursă pură de tensiune continuă)			**Alimentare MCC cu redresor monofazat monoalternanță**			**Alimentare MCC cu redresor monofazat bialternanță**		
Ua	**Ia**	**T_{em}**	**Ua**	**Ia**	**T_{em}**	**Ua**	**Ia**	**T_{em}**
[V]	**[A]**	**[Nm]**	**[V]**	**[A]**	**[Nm]**	**[V]**	**[A]**	**[Nm]**

Tabelul 2.2. – Analiza influenței modului de alimentare a sarcinii asupra transformatorului electric monofazat (rețea de joasă tensiune)

Transformator electric monofazat (TM)					
Alimentare sarcină de curent alternativ (RL)		Alimentare MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță		Alimentare MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță	
I_{1d}	I_{2d}	I_{1d}	I_{2d}	I_{1d}	I_{2d}
[A]	**[A]**	**[A]**	**[A]**	**[A]**	**[A]**

5. Interpretarea rezultatelor. Concluzii

Se vor formula concluzii cu privire la:

1. Valoarea mărimilor – tensiune, curent – atât la nivelul înfășurării rotorice a MCC cu excitație separată (la intrare), cât și la nivelul cuplului electromagnetic dezvoltat de motor (ieșire), în funcție de soluția aleasă pentru alimentare. Explicați particularitățile rezultate.
2. Valoarea componentelor continue de curent din primarul și secundarul transformatorului electric monofazat pentru fiecare din soluțiile de alimentare ale MCC cu excitație separată. Explicați rezultatele obținute.
3. Găsiți câteva din efectele negative ale existenței componentelor continue de curent asupra transformatoarelor electrice din rețelele de joasă tensiune.

Lucrarea nr. 3

INFLUENȚA COMPONENTEI CONTINUE DE TENSIUNE/ CURENT ASUPRA REȚELELOR DE JOASĂ TENSIUNE. ANALIZĂ PE STANDUL EXPERIMENTAL

În lucrare se urmărește validarea rezultatelor obținute – prin simulare - în lucrarea numărul 2. Astfel, se va studia, pe standul fizic din cadrul laboratorului, comportamentul atât al motorului de curent continuu (MCC) cu excitație separată, cât și influența componentei continue de tensiune/curent asupra rețelelor de joasă tensiune (la nivelul transformatorului de alimentare a sistemului de acționare) în cazul alimentării MCC-ului prin intermediul redresoarelor monofazate, analizându-se evoluția mărimilor obținute pe baza determinărilor experimentale.

1. Chestiuni de studiat

Lucrarea practică se realizează cu ajutorul unui stand experimental dedicat, sarcina fiind reprezentată de un motor de curent continuu cu excitație separată (excitație cu magneți permanenți).

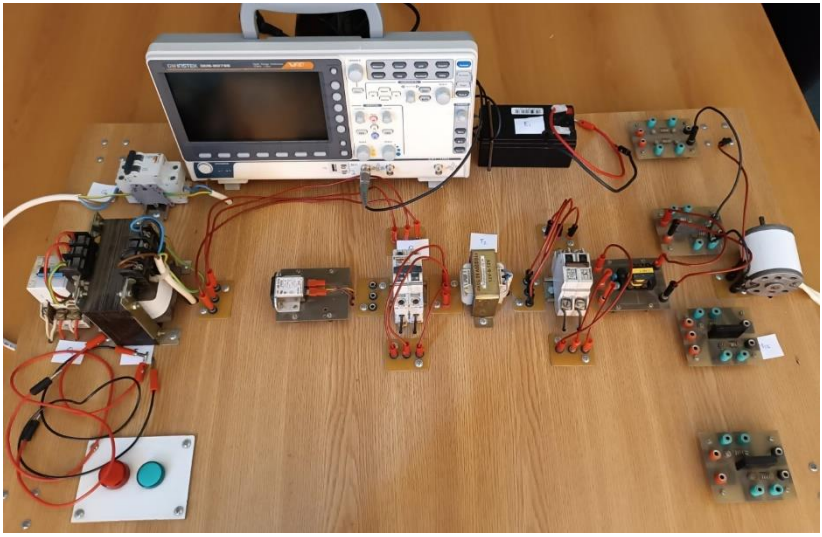


Fig. 3.1. - Standul experimental de analiză

1.1. Se va studia comportarea MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) alimentat de la baterie (sursă pură de tensiune continuă). Se va urmări - cu ajutorul osciloscopului – variația mărimilor de interes aferente circuitului rotoric (tensiune, respectiv, curent). Se vor determina – cu ajutorul aparatelor de măsură - amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice (Ua) și amplitudinea curentului prin înfășurarea rotorică (Ia), în regim staționar;

1.2. Se va studia comportarea MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) în cazul alimentării circuitului rotoric de la un redresor monofazat monoalternanță. Se va urmări - cu ajutorul osciloscopului – variația mărimilor de interes aferente circuitului

rotoric (tensiune, respectiv, curent). Se vor determina – cu ajutorul aparatelor de măsură - amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice (Ua) și amplitudinea curentului prin înfășurarea rotorică (Ia), în regim staționar;

1.3. Se va studia comportarea MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) în cazul alimentării circuitului rotoric de la un redresor monofazat bialternanță. Se va urmări - cu ajutorul osciloscopului – variația mărimilor de interes aferente circuitului rotoric (tensiune, respectiv, curent). Se vor determina – cu ajutorul aparatelor de măsură - amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice (Ua) și amplitudinea curentului prin înfășurarea rotorică (Ia), în regim staționar;

1.4. În cazul alimentării MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) prin intermediul redresoarelor necomandate, se va realiza o analiză comparativă a comportării transformatorului electric ce alimentează redresoarele studiate. Se va înregistra - cu ajutorul osciloscopului – variația mărimilor de interes din secundarul și primarul transformatorului monofazat, se vor exporta curbele înregistrate în mediul Matlab și se va realiza o analiză Fourier a acestora, pentru punerea în evidență a componentelor continue (U_d, I_d).

1.5. Măsurătorile de la punctele 1.1.-1.4. se vor relua și în cazul utilizării filtrelor de rețea.

2. Noțiuni teoretice

Redresorul - are rolul de a converti o tensiune alternativă în tensiune continuă, fluxul de energie fiind orientat dinspre componenta alternativă către cea continuă.

Motoarele de curent continuu sunt utilizate în aplicații foarte variate unde este necesar controlul precis al vitezei la valori mari ale cuplului. În cadrul standului din laborator, se utilizează un MCC excitat cu magneți permanenți, alimentat de la diverse surse: baterie (sursă de tensiune continuă), respectiv, transformator monofazat (sursă de tensiune alternativă, în secundar) și redresoare monofazate.

3. Modul de lucru

3.1. Testarea MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) alimentat de la baterie (sursă pură de tensiune continuă)

Pentru analiza comportării MCC-ului se va realiza montajul din figura 3.2. pe standul de încercări, unde:

- E1 – este bateria de curent continuu, de 12 V, 3.3 Ah, de tipul plumb acid, utilizare frecventă (cycle use):

14.4 - 15 V, utilizare în caz de urgență (float use): 13,5 - 13,8 V;

- Va – voltmetru de tensiune continuă;
- Aa – ampermetru de curent continuu;
- MCC – motorul de curent continuu, 12 V, 2 A.

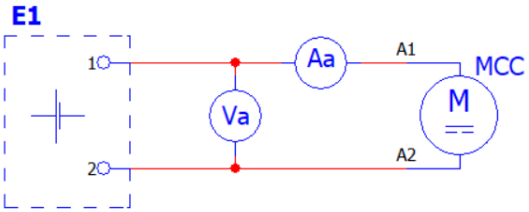


Fig. 3.2. - Schema electrică alimentare MCC prin intermediul unei baterii

3.2. Testarea MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) alimentat prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță

Se va realiza montajul din figura 3.3. pe standul de încercări.

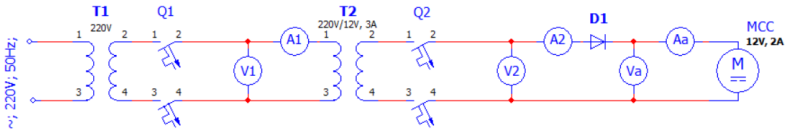


Fig. 3.3. - Schema electrică de alimentare MCC prin intermediul unui redresor monofazat monoalternanță

Echipamentele componente prezente în schemă sunt:

- T1 – transformator 380V/220V (ce modelează fizic rețeaua de joasă tensiune);
- Q1 și Q2 – întrerupătoare automate; Filtre de linie;
- T2 - transformator 220 V - 110 V/12 V, 3 A (ce modelează sursa specifică de alimentare a sarcinii);
- D1 - redresor monofazat monoalternanță;
- Va – voltmetru de tensiune continuă;
- Aa – ampermetru de curent continuu;
- MCC - motorul de curent continuu, 12 V, 2 A;
- V2 – voltmetru de tensiune alternativă (în secundarul lui T2);
- A2 – ampermetru de curent alternativ (în secundarul lui T2).
- V1 - voltmetru de tensiune alternativă (în primarul lui T2);
- A1 - ampermetru de curent alternativ (în primarul lui T2).

Se va studia comportarea MCC cu excitație separată în cazul alimentării circuitului rotoric de la un redresor monofazat monoalternanță. Se vor vizualiza formele de undă ale mărimilor de interes aferente circuitului rotoric și se vor determina amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice (Ua) și amplitudinea curentului prin înfășurarea rotorică (Ia), în regim staționar.

Se vor vizualiza, de asemenea, formele de undă ale tensiunii și curentului din secundarul și primarul transformatorului T2, se vor înregistra curbele de variație și se vor prelucra, ulterior, pentru

determinarea componentelor continue (punctul 1.4. din Chestiuni de studiat).

3.3. Testarea MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) alimentat prin intermediul redresorului monofazat bialternanță

Se va studia comportarea MCC-ului de pe stand în cazul alimentării circuitului rotoric de la un redresor monofazat bialternanță.

Se realizează montajul din figura 3.4. Diferența față de montajul din figura 3.3. este că, în acest caz, se utilizează o punte redresoare monofazată bialternanță.

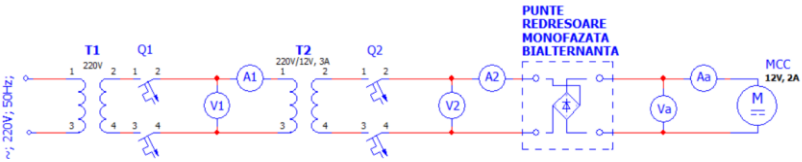


Fig. 3.4. - Schema electrică de alimentare MCC prin intermediul unui redresor monofazat monoalternanță

Se vor vizualiza formele de undă ale mărimilor de interes aferente circuitului rotoric și se vor determina amplitudinea tensiunii aplicate înfășurării rotorice (Ua) și amplitudinea curentului prin înfășurarea rotorică (Ia), în regim staționar.

Se vor vizualiza, de asemenea, formele de undă ale tensiunii și curentului din secundarul și primarul transformatorului T2, se vor înregistra curbele de variație și se vor prelucra, ulterior, pentru

determinarea componentelor continue (punctul 1.4. din Chestiuni de studiat).

Observație:

Testările se vor relua și în cazul utilizării filtrelor de rețea (punctul 1.5. din Chestiuni de studiat).

4. Tabele cu date și rezultate

Rezultatele obținute, în urma testelor pe standul fizic, se vor centraliza în tabelele următoare.

Tabelul 3.1. – Analiza influenței modului de alimentare asupra sarcinii (MCC excitat cu magneți permanenți)

Alimentare MCC de la baterie (sursă pură de tensiune continuă)		**Alimentare MCC cu redresor monofazat monoalternanță**		**Alimentare MCC cu redresor monofazat bialternanță**	
Ua	**Ia**	**Ua**	**Ia**	**Ua**	**Ia**
[V]	**[A]**	**[V]**	**[A]**	**[V]**	**[A]**

Tabelul 3.2. – Analiza influenței modului de alimentare a sarcinii asupra transformatorului electric monofazat (T2)

Alimentare MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță				Alimentare MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță			
U_{1d}	I_{1d}	U_{2d}	I_{2d}	U_{1d}	I_{1d}	U_{2d}	I_{2d}
[V]	**[A]**	**[V]**	**[A]**	**[V]**	**[A]**	**[V]**	**[A]**

5. Interpretarea rezultatelor. Concluzii

Se vor formula concluzii cu privire la:

1. Valoarea mărimilor – tensiune, curent – la nivelul înfășurării rotorice a MCC-ului cu excitație separată/excitat cu magneți permanenți (la intrare), în funcție de soluția aleasă pentru alimentare. Explicați particularitățile rezultate;
2. Valoarea componentelor continue de tensiune, respectiv, curent din primarul și secundarul transformatorului electric monofazat pentru fiecare dintre soluțiile de alimentare ale MCC cu excitație separată/excitat cu magneți permanenți;
3. Amploarea efectelor negative generate de existența componentelor continue în curbele de curent din primarul și secundarul transformatorului ce alimentează sarcina de pe standul fizic din laborator (T2). Extrapolați rezultatele găsite pentru transformatorul de rețea (T1).

Lucrarea nr. 4

INFLUENȚA ARMONICILOR DE TENSIUNE/CURENT ASUPRA REȚELELOR DE JOASĂ TENSIUNE. SIMULARE ÎN PSIM

Lucrarea are ca scop studierea (vizualizarea) - prin intermediul mediului de simulare PSIM – a influenței armonicilor de tensiune/curent asupra rețelelor de joasă tensiune (în particular, a transformatoarelor electrice din rețea).

În principiu, se va realiza o analiză comparativă a armonicilor generate – în curbele tensiunii și curentului – din secundarul și primarul transformatorului electric pentru următoarele cazuri:

a) cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță;

b) cazul alimentării MCC prin intermediul redresorului monofazat bialternanță.

Din cauza multiplelor efecte negative ale curentului, analiza din cadrul lucrării se va axa pe studiul influenței armonicilor de curent atât asupra rețelei, cât și asupra sarcinii.

1. Chestiuni de studiat

Schemele necesare studiului sunt similare celor utilizate în Lucrarea nr. 2 a acestui îndrumar și sunt realizate cu ajutorul mediului de programare și simulare PSIM.

1.1. Se va realiza analiza Fourier a semnalelor obținute prin utilizarea redresoarelor necomandate monofazate, monoalternanță și bialternanță;

1.2. Se va studia cazul MCC cu excitație separată alimentat de la o sursă pură de tensiune continuă (baterie), pentru identificarea valorii intensității curentului din înfășurarea rotorică în regim staționar;

1.3. Se va studia cazul MCC cu excitație separată alimentat prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță. Se vor vizualiza armonicile generate atât la sursă (în secundarul și primarul transformatorului electric de alimentare), cât și la sarcină (în cadrul înfășurării rotorice a MCC);

1.4. Se va studia cazul MCC cu excitație separată alimentat prin intermediul redresorului monofazat bialternanță. Se vor vizualiza armonicile generate atât la sursă (în secundarul și primarul transformatorului electric de alimentare), cât și la sarcină (în cadrul înfășurării rotorice a MCC).

1.5. Se va face o analiză comparativă între cazul alimentării MCC cu excitație separată de la o baterie (sursă pură de tensiune continuă) și cazul alimentării MCC prin intermediul redresoarelor monofazate necomandate, monoalternanță și bialternanță, pentru evidențierea efectului armonicilor asupra intensității curentului din înfășurarea rotorică a MCC.

2. Noțiuni teoretice

Armonicile reprezintă modificări ale formei de undă a curentului sau a tensiunii în cadrul unei rețele electrice. Aceste perturbații (supraarmonicile) au frecvențe care sunt multipli ai frecvenței armonicii fundamentale a rețelei; astfel, pentru o rețea cu o frecvență a armonicii fundamentale de 50 Hz, supraarmonicile vor avea frecvențe de: 100 Hz, 150 Hz, 200 Hz etc.

Armonicile de curent se datorează prezenței în rețea a sarcinilor neliniare, cum ar fi: invertoarele, convertoare de frecvență, surse de tensiune neîntreruptibilă, televizoare, computere etc.

Mai jos este prezentată o analiză comparativă – din punct de vedere al conținutului de armonici – în cazul circuitelor electrice cu sarcini liniare, respectiv, cu sarcini neliniare.

2.1. Circuit electric cu sarcini liniare

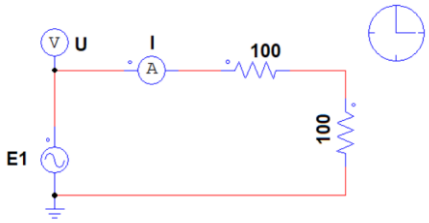


Fig. 4.1.a. - Circuit electric cu rezistențe (sarcini liniare)

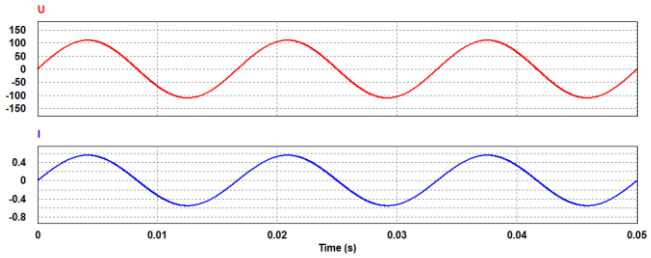


Fig. 4.1.b. - Caracteristicile tensiunii de intrare U și a curentului I în domeniul timp

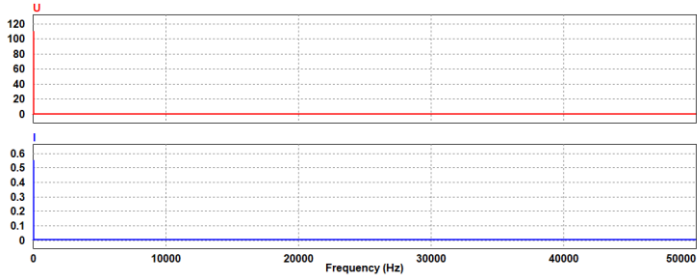


Fig. 4.1.c. - Analiza Fourier a caracteristicilor tensiunii de intrare U și a curentului I

2.2. Circuit electric cu element neliniar

Elementul neliniar din cadrul circuitului modelează o diodă neliniară, având curentul definit prin expresia (4.1.) [1]:

$$i = 10^{-14} * (e^{40*v} - 1) \qquad (4.1.)$$

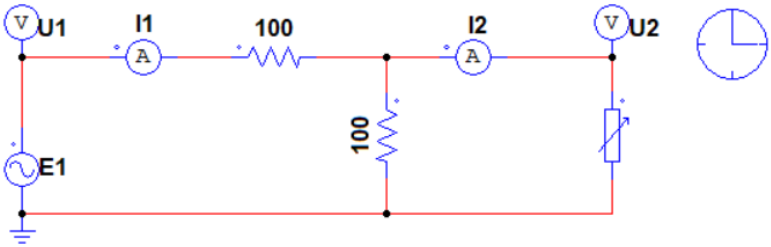


Fig. 4.2.a. - Circuit electric cu sarcină neliniară

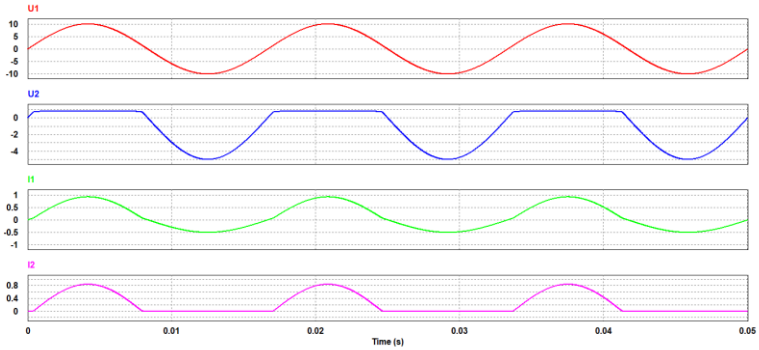


Fig. 4.2.b. - Caracteristicile tensiunilor și ale curenților în domeniul timp – sarcină neliniară

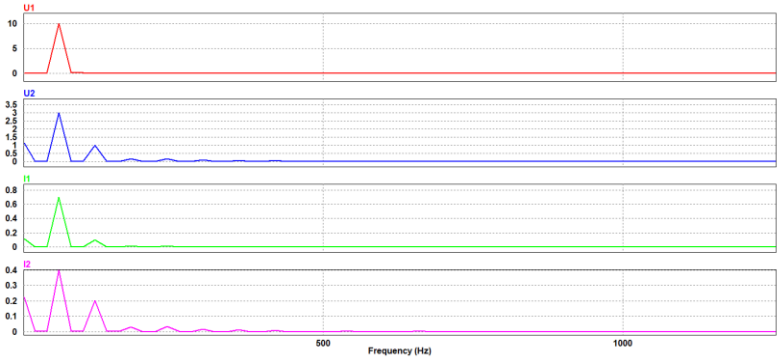


Fig. 4.2.c. - Analiza Fourier a caracteristicilor tensiunilor U și ale curenților I – sarcină neliniară

Trecerea prin impedanța sistemului a armonicilor de curent duce la modificarea formei de undă a tensiunii de la sursă, implicit la generarea de armonici de tensiune. Transformatoarele cu impedanță mare, lungimea mare a cablurilor etc. contribuie la surse de impedanță mare și, implicit, la valori ridicate de armonici de tensiune.

2.3. Circuit cu redresor monofazat monoalternanță (dioda)

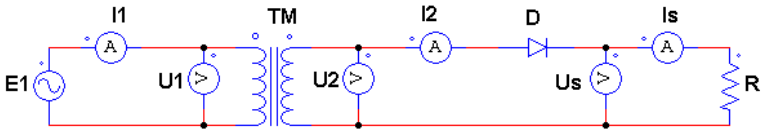


Fig. 4.3.a. - Circuit electric cu redresor monofazat monoalternanță

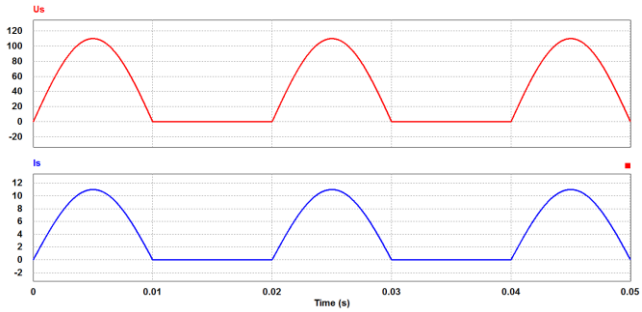


Fig. 4.3.b. - Caracteristicile tensiunii redresate Us și ale curentului redresat Is - redresor monofazat monoalternanță

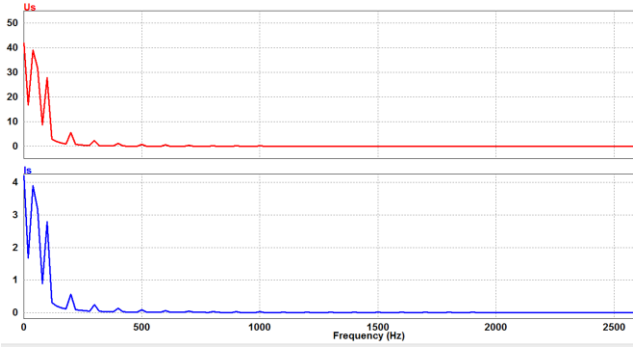


Fig. 4.3.c. - Analiza Fourier a caracteristicilor tensiunii redresate Us și ale curentului redresat Is - redresor monofazat monoalternanță

2.4. Circuit cu redresor monofazat bialternanţă cu punct median

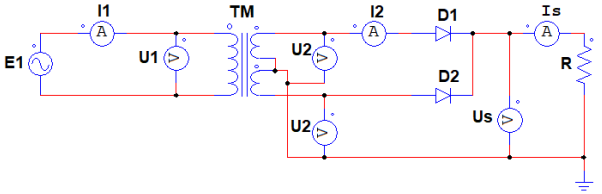


Fig. 4.4.a. - Circuit electric cu redresor monofazat bialternanţă cu punct median

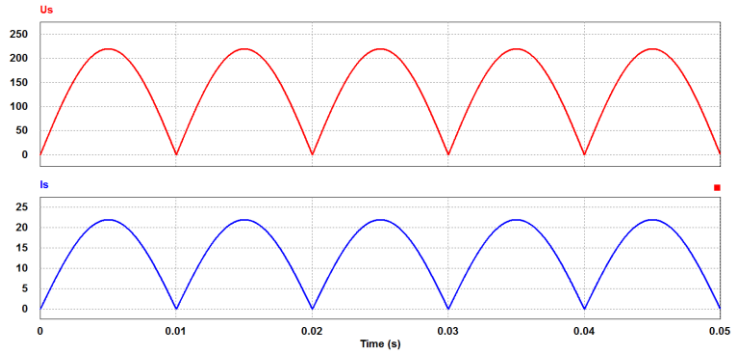


Fig. 4.4.b. - Caracteristicile tensiunii redresate Us și ale curentului redresat Is - redresor monofazat bialternanță cu punct median

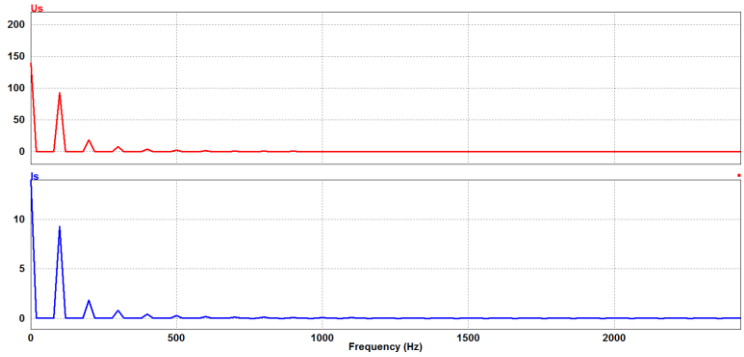


Fig. 4.4.c. - Analiza Fourier a caracteristicilor tensiunii redresate Us și ale curentului redresat Is - redresor monofazat bialternanță cu punct median

3. Modul de lucru

3.1. Alimentarea motorului de curent continuu (MCC) de la baterie (sursă pură de tensiune continuă)

Se realizează - în PSIM - schema din figura 4.5.a.:

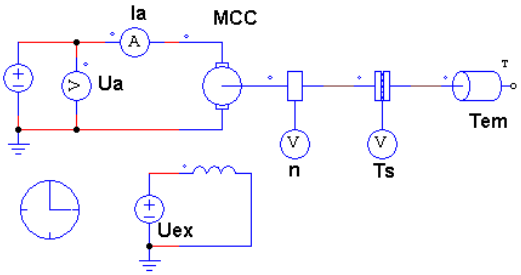


Fig. 4.5.a. - Alimentarea MCC cu excitație separată de la o sursă pură de tensiune continuă

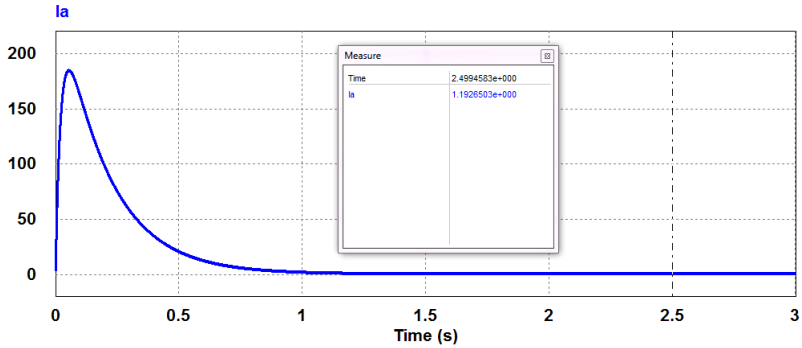


Fig. 4.5.b. - Variația intensității curentului prin înfășurarea rotorică - în cazul MCC, cu excitație separată - alimentat de la o sursă pură de tensiune continuă, cu identificarea valorii de regim staționar

3.2. Alimentarea motorului de curent continuu (MCC) de la un redresor monofazat monoalternanţă

Se realizează schema - în PSIM - din figura 4.6.a):

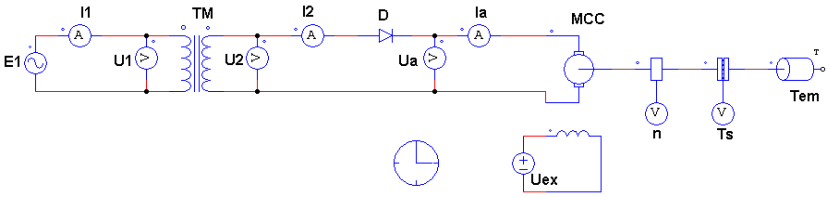


Fig. 4.6.a. - Alimentare MCC printr-un redresor monofazat monoalternanţă

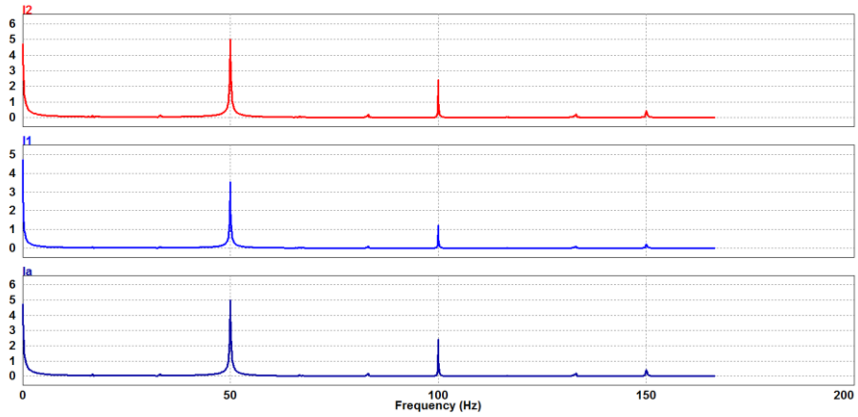


Fig. 4.6.b. - Analiza Fourier atât a curenților din secundarul și primarul transformatorului de alimentare, cât și a curentului prin înfăşurarea rotorică în cazul MCC – cu excitație separată - alimentat de la un redresor monofazat monoalternanţă

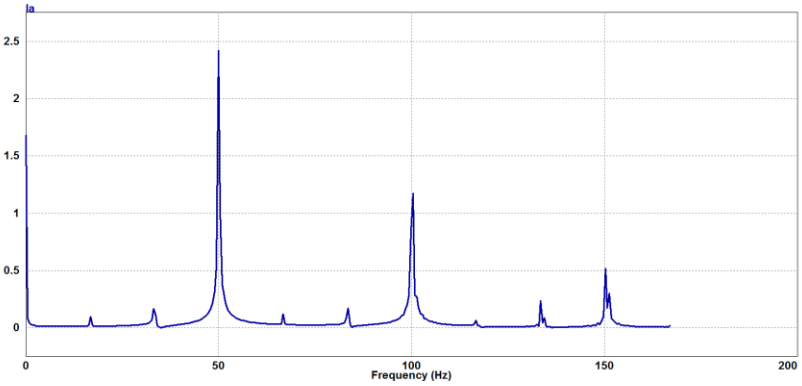


Fig. 4.6.c. - Zoom - Analiza Fourier a curentului din înfăşurarea rotorică în cazul MCC – cu excitație separată - alimentat de la un redresor monofazat monoalternanţă

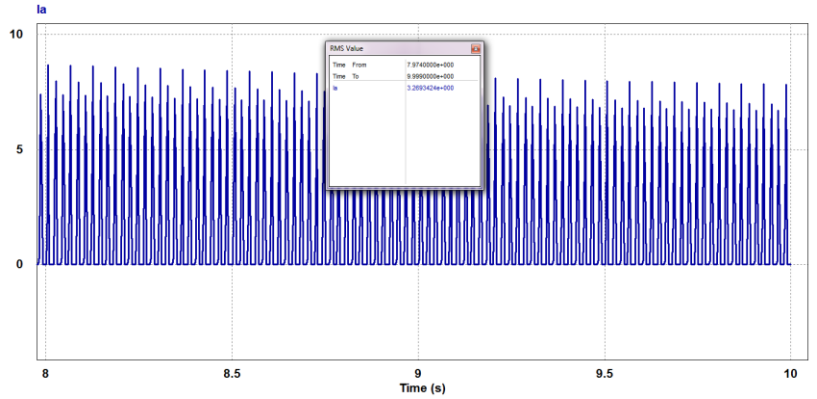


Fig. 4.6.d. - Identificarea valorii efective a curentului (regim cvasistaționar) din înfășurarea rotorică în cazul MCC – cu excitație separată - alimentat de la un redresor monofazat monoalternanţă

3.3. Alimentarea motorului de curent continuu de la un redesor monofazat dublă alternanță în punte (puntea Graetz)

Se realizează - în PSIM - schema din figura 4.7.a.:

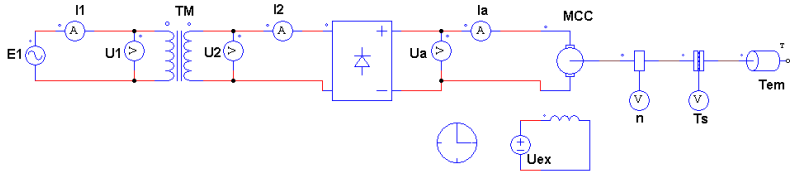


Fig. 4.7.a. - Alimentare MCC printr-un un redresor monofazat bialternanță în punte (puntea Graetz)

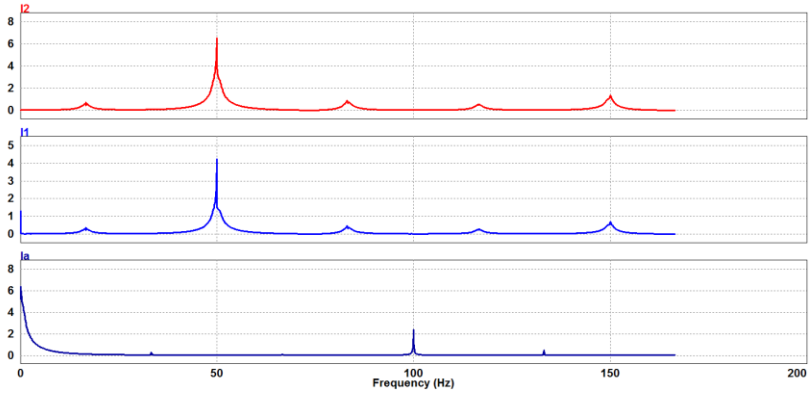


Fig. 4.7.b. - Analiza Fourier atât a curenților din secundarul și primarul transformatorului de alimentare cât și a curentului prin înfăşurarea rotorică în cazul MCC – cu excitație separată - alimentat de la un redresor monofazat bialternanţă în punte (puntea Graetz)

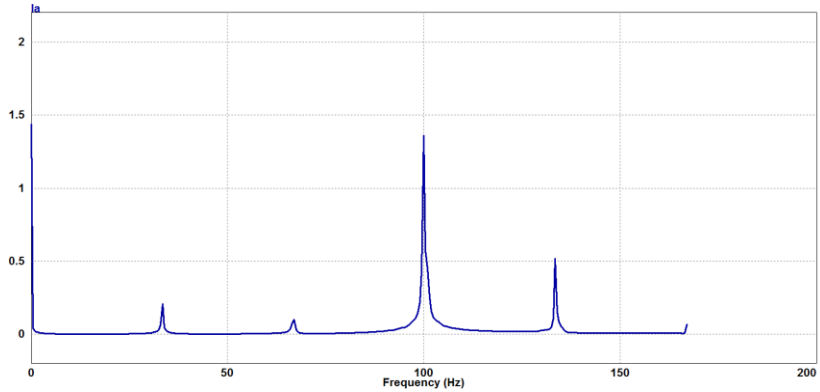


Fig. 4.7.c. - Zoom - Analiza Fourier a curentului din înfăşurarea rotorică în cazul MCC – cu excitație separată - alimentat de la un redresor monofazat bialternanţă în punte (puntea Graetz)

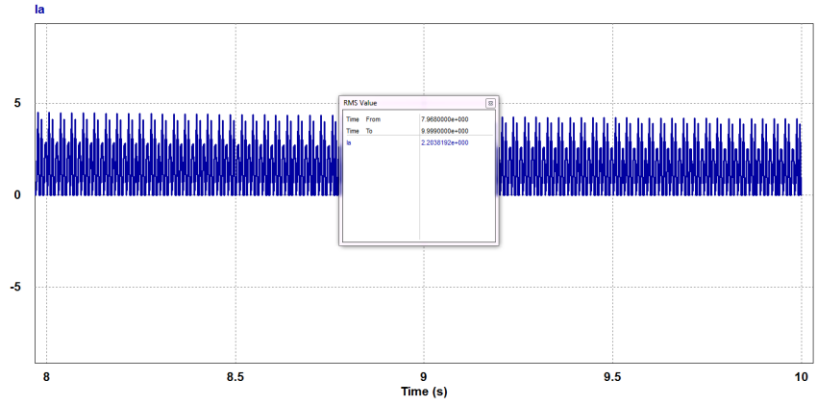


Fig. 4.7.d. - Identificarea valorii efective a curentului (regim cvasistaționar) din înfășurarea rotorică în cazul MCC – cu excitație separată - alimentat de la un redresor monofazat bialternanţă în punte (puntea Graetz)

4. Tabele cu date și rezultate

Rezultatele culese din procesele de simulare se vor centraliza în tabelul 4.1.

Observație: Studenții vor efectua, în cadrul laboratorului, simulări pentru ***alte valori*** ale mărimilor fizice (tensiuni, raport de transformare etc.) și ale parametrilor sistemelor studiate (rezistență, inductivitate etc.) decât cele utilizate în cadrul lucrării pentru explicitarea detaliată a problematicii supuse analizei.

Pentru fiecare simulare realizată se vor trece în tabel valorile intensității curentului din înfășurarea rotorică a MCC cu excitație

separată, specifice celor trei cazuri analizate (intensitatea curentului rotoric **I_a – alimentare de la sursă pură de tensiune continuă**, valoarea efectivă **I_{arm} – alimentare prin redresor monofazat monoalternanță**, valoarea efectivă **I_{arb} – alimentare prin redresor monofazat bialternanță).**

Tabelul 4.1. – Analiza influenței modului de alimentare al MCC cu excitație separată asupra valorii curentului din înfășurarea rotorică

Parametrii modificați în analiză	**Alimentare MCC de la baterie (sursă pură de tensiune continuă)**			**Alimentare MCC cu redresor monofazat monoalternanță**			**Alimentare MCC cu redresor monofazat bialternanță**		
	I_a	**I_a**	**I_a**	**I_{arm}**	**I_{arm}**	**I_{arm}**	**I_{arb}**	**I_{arb}**	**I_{arb}**

Suplimentar, pentru curbele curenților din primarul și secundarul transformatorului de alimentare al MCC-ului cu excitație separată prin intermediul redresoarelor monofazate monoalternanță și bialternanță, respectiv, pentru curba curentului din înfășurarea rotorică a MCC-ului, obținută în fiecare dintre cele două cazuri de alimentare, se va determina și factorul total de distorsiune armonică a curentului, THD_I. Rezultatele obținute, pentru fiecare caz analizat, se vor trece în tabelul 4.2.

Factorul total de distorsiune armonică a curentului electric, THD_I, reprezintă valoarea efectivă a armonicilor I_h – de rang h, și valoarea efectivă a fundamentalei I_1.(4.2.) [2]

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{H} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2}. \qquad (4.2.)$$

Tabelul 4.2. – Factorul total de distorsiune armonică a curentului

Parametrii modificați în analiză	**Factorul total de distorsiune armonică a curentului**	**Transformator de alimentare**		**MCC alimentat prin intermediul unui redresor monofazat monoalternanță**	**MCC alimentat prin intermediul unui redresor monofazat bialternanță**
		primar	**secundar**		
		I_1	**I_2**	**I_{arm}**	**I_{arb}**
	THD_I				

5. Interpretarea rezultatelor. Concluzii

Se vor formula concluzii cu privire la:

1) Amplitudinea armonicilor de curent din primarul și secundarul transfomatorului utilizat pentru alimentarea MCC prin intermediul redresoarelor monofazate monoalternanță, respectiv, bialternanță.

2) Influența asupra amplitudinii armonicilor din primarul și secundarul transformatorului utilizat pentru alimentarea MCC prin intermediul redresoarelor monofazate a raportului de transformare al acestui transformator.
3) Spectrul armonicilor din curba curentului din înfășurarea rotorică a MCC–ului în cazul alimentării acestuia prin intermediul redresoarelor monofazate monoalternanță, respectiv, bialternanță (cu precizarea rangului armonicilor celor mai importante după cea fundamentală).
4) Amplitudinea curenților din înfășurarea rotorică (valoare efectivă) în cazul alimentării MCC-ului prin intermediul redresoarelor monofazate monoalternanță, respectiv, bialternanță.
5) Influența armonicilor din curba curentului rotoric - în cazul alimentării MCC-ului prin intermediul redresoarelor monofazate monoalternanță, respectiv, bialternanță – asupra regimului termic al motorului.
6) Valorile factorului total de distorsiune armonică a curentului, THD_I, pentru fiecare caz analizat.

Lucrarea nr. 5

INFLUENȚA ARMONICILOR DE TENSIUNE/CURENT ASUPRA REȚELELOR DE JOASĂ TENSIUNE. ANALIZĂ PE STANDUL EXPERIMENTAL

În cadrul acestei lucrări se urmărește validarea rezultatelor obținute – prin simulare - în lucrarea numărul 4. Astfel, se va studia, pe standul fizic din cadrul laboratorului, influența armonicilor de tensiune și curent asupra rețelelor de joasă tensiune.

1. Chestiuni de studiat

Lucrarea practică se realizează cu ajutorul unui stand experimental dedicat, același utilizat și în Lucrarea nr. 3, sarcina fiind reprezentată de un motor de curent continuu cu excitație separată (excitație cu magneți permanenți).

1.1. Se vor vizualiza/oscilografia curbele de variație ale tensiunii și curentului – la nivelul înfășurării rotorice a MCC cu excitație separată (cu magneți permanenți) - în cazul alimentării acestuia de la baterie (sursă pură de tensiune continuă) – referință;

1.2. Se vor vizualiza/oscilografia curbele de variație ale tensiunii și curentului – la nivelul înfășurării rotorice a MCC cu excitație separată (cu magneți permanenți) - în cazul alimentării acestuia prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță;

1.3. Se vor vizualiza/oscilografia curbele de variație ale tensiunii și curentului din circuitele secundar și primar ale transformatorului

de alimentare a redresorului monofazat monoalternanță, fără utilizarea filtrelor pasive din cadrul circuitelor;

1.4. Se vor vizualiza/oscilografia curbele de variație ale tensiunii și curentului din circuitele secundar și primar ale transformatorului de alimentare a redresorului monofazat monoalternanță, cu utilizarea filtrelor pasive din cadrul circuitelor;

1.5. Se vor vizualiza/oscilografia curbele de variație ale tensiunii și curentului – la nivelul înfășurării rotorice a MCC cu excitație separată (cu magneți permanenți) - în cazul alimentării acestuia prin intermediul redresorului monofazat bialternanță;

1.6. Se vor vizualiza/oscilografia curbele de variație ale tensiunii și curentului din circuitele secundar și primar ale transformatorului de alimentare a redresorului monofazat bialternanță, fără utilizarea filtrelor pasive din cadrul circuitelor;

1.7. Se vor vizualiza/oscilografia curbele de variație ale tensiunii și curentului din circuitele secundar și primar ale transformatorului de alimentare a redresorului monofazat bialternanță, cu utilizarea filtrelor pasive din cadrul circuitelor.

1.8. Pentru fiecare măsurătoare realizată, curbele de variație se vor importa în mediul Matlab, unde se va realiza analiza spectrală a semnalelor culese cu ajutorul osciloscopului;

1.9. Pentru fiecare analiză spectrală realizată se va determina factorul total de distorsiune armonică (atât pentru tensiune, cât și pentru curent);

1.10. Se vor compara rezultatele obținute - prin experiment - cu cele obținute prin simulare în Lucrarea nr. 4, în cazul neutilizării filtrelor pasive și se vor formula concluzii.

2. Noțiuni teoretice

Calitatea energiei electrice poate fi definită printr-un cumul de caracteristici și indicatori, scopul fiind acela de a furniza clientului un produs final în condiții normale și optime, fără perturbări sau întreruperi.

Pe de altă parte calitatea energiei electrice mai poate fi definită și ca orice problemă de putere care se manifestă prin abaterea de la valorile ideale ale tensiunii, curentului sau frecvenței, având ca impact defecțiuni sau funcționarea defectuoasă a echipamentului unui utilizator.

Un semnal sinusoidal de tensiune sau de curent este format dintr-o componentă fundamentală și un anumit număr de semnale ce au o frecvență egală cu un multiplu al fundamentalei, pe care le denumim armonici.

Armonicile pot fi atât de ordin par 2, 4, 6 etc. (ele nu sunt simetrice și nu se regăsesc des în sistem), cât și de ordin impar 3, 5, 7, etc. mai des întâlnite și datorate, în principal, sarcinilor neliniare.

Factorul total de distorsiune armonică, THD, *atât pentru tensiune, cât și pentru curent se determină cu relațiile:*

$$THD_U = \sqrt{\sum_{h=2}^{H} \left(\frac{U_h}{U_1}\right)^2} \quad (5.1.)$$

$$THD_I = \sqrt{\sum_{h=2}^{H} \left(\frac{I_h}{I_1}\right)^2} \quad (5.2.)$$

unde U_h și I_h – reprezintă valorile efective ale armonicilor de ordinul h ale tensiunii, respectiv, curentului, iar U_1 și I_1 – reprezintă valorile efective ale armonicii de ordinul 1 (armonica fundamentală) pentru tensiune, respectiv, curent.

Dacă, de exemplu, se iau în calcul numai armonicile de ordin impar, pentru o exprimare procentuală a factorului total de distorsiune armonică (pentru tensiune, respectiv, pentru curent) se pot utiliza relațiile următoare:

$$THD_U = \sqrt{\frac{U_3^2+U_5^2+U_7^2+\cdots+U_n^2}{U_1}} \cdot 100\ (\%) \quad (5.3.)$$

$$THD_I = \sqrt{\frac{I_3^2+I_5^2+I_7^2+\cdots+I_n^2}{I_1}} \cdot 100\ (\%) \quad (5.4.)$$

Atenuarea armonicilor se realizează prin amplasarea, în puncte strategice, de echipamente electrice de filtrare: *filtre pasive* care se dimensionează în funcție de armonica ce trebuie anihilată/atenuată (condensator conectat în serie cu un inductor); *filtre active* capabile să genereze antiarmonici (armonici de același ordin cu cele existente în rețea, dar, în antifază) în vederea anulării/atenuării radicale a armonicilor prezente în rețea.

3. Modul de lucru

3.1. Testarea MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) în cazul alimentării de la baterie (sursă pură de tensiune continuă)

Pentru analiza comportării MCC-ului se va utiliza montajul din Lucrarea nr. 3. prezentat și în figura 5.1. pe standul de încercări, unde se păstrează aceleași proprietăți ale echipamentelor electrice:

- E1 – baterie de curent continuu, de 12 V, 3.3 Ah, de tipul plumb acid;
- Va, Aa – aparate de măsură tensiune continuă și, respectiv, curent continuu;
- MCC – motorul de curent continuu, 12 V, 2 A.

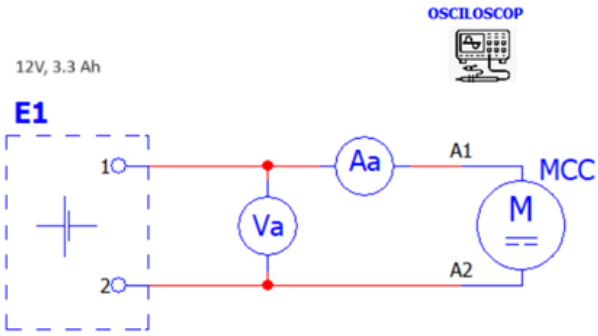


Fig. 5.1. - Montaj pentru analiza comportării MCC în cazul alimentării de la o baterie de 12 V

3.2. Influența armonicilor în circuit în cazul alimentării unui MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță

Se va realiza montajul din figura 5.2. pe standul de încercări.

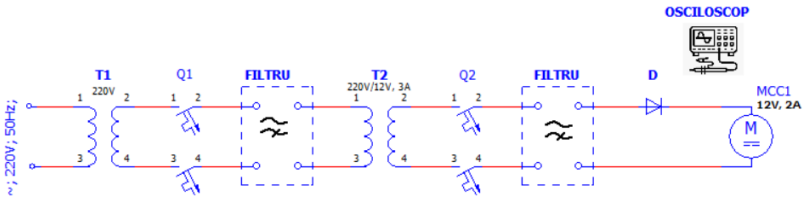


Fig. 5.2. - Schema electrică de alimentare a MCC-ului prin intermediul unui redresor monofazat monoalternanță

Echipamentele componente prezente în schemă sunt:

- T1 – transformator 380 V/220 V (ce modelează fizic rețeaua de joasă tensiune);
- Q1 și Q2 – întrerupătoare automate;
- Filtre de linie, 50/60 Hz
- T2 - transformator 220 V - 110 V/12 V, 3 A (ce modelează sursa specifică de alimentare a sarcinii);
- D1 - redresor monofazat monoalternanță;
- MCC - motorul de curent continuu, 12 V, 2 A;
- Osciloscop.

Observație: Se pot monta în circuit aparate de măsură suplimentare în vederea măsurării tensiunii și curentului, atât în primarul, cât și în secundarul transformatorului T2.

Se va studia prezența și efectul armonicilor de rețea în cazul alimentării circuitului rotoric al MCC de la un redresor monofazat monoalternanță, atât în lipsa, cât și în prezența filtrelor pasive din circuitul de alimentare. Se vor vizualiza formele de undă ale tensiunii și curentului aferente circuitului în domeniul timp. După importarea în Matlab a semnalelor culese, se vor determina spectrele de armonici și se vor calcula factorii totali de distorsiune armonică, atât pentru tensiune, cât și pentru curent.

3.3. Influența armonicilor în circuit în cazul alimentării MCC cu excitație separată (excitat cu magneți permanenți) prin intermediul redresorului monofazat bialternanță

Se va studia prezența și efectul armonicilor de rețea în cazul alimentării circuitului rotoric de la un redresor monofazat bialternanță. Se realizează montajul din figura 5.3.

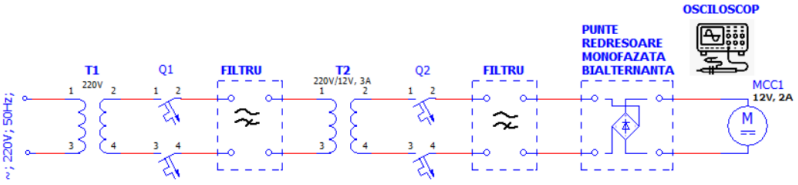


Fig. 5.3. - Schema electrică de alimentare a MCC-ului prin intermediul unui redresor monofazat bialternanță

Se vor vizualiza formele de undă ale tensiunii și curentului aferente circuitului în domeniul timp.

Se vor vizualiza, de asemenea, componentele armonice din circuit - implicit spectrele de armonici - și se vor calcula factorii totali de distorsiune armonică, atât pentru tensiune, cât și pentru curent.

4. Tabele cu date și rezultate

Rezultatele obținute, în urma testelor pe standul fizic, se vor centraliza în tabelele 5.1. și 5.2.

Tabelul 5.1. – Analiza influenței modului de alimentare asupra conținutului de armonici din curbele de tensiune și curent din circuitul sarcinii (MCC excitat cu magneți permanenți)

Alimentare cu baterie		**Alimentare prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță**				**Alimentare prin intermediul redresorului monofazat bialternanță**			
Referință		**U_{arm}**	**I_{arm}**	**THD_U**	**THD_I**	**U_{arb}**	**I_{arb}**	**THD_U**	**THD_I**
U_a	**I_a**			**[%]**	**[%]**			**[%]**	**[%]**
[V]	**[A]**	**[V]**	**[A]**			**[V]**	**[A]**		

Tabelul 5.2 – Analiza influenței modului de alimentare asupra conținutului de armonici din curbele de tensiune și curent aferente primarului și secundarului transformatorului de alimentare al sarcinii

Mărimi analizate		**Alimentare prin intermediul redresorului monofazat monoalternanță**		**Alimentare prin intermediul redresorului monofazat bialternanță**	
		THD_U	**THD_I**	**THD_U**	**THD_I**
		[%]	**[%]**	**[%]**	**[%]**
U_1	**[V]**				
U_2	**[V]**				
I_1	**[A]**				
I_2	**[A]**				

5. Interpretarea rezultatelor. Concluzii

Se vor formula concluzii cu privire la:

1. Ordinul armonicilor obținute în urma realizării testelor pe montajele realizate.
2. Valorile THD – atât pentru tensiune, cât și pentru curent - obținute în cazurile studiate și încadrarea în prescripțiile din standarde.
3. Efectele posibile ale armonicilor asupra echipamentelor și rețelei electrice.
4. Soluții potențiale în vederea atenuării armonicilor identificate.

5. Discrepanțele dintre valorile obținute prin experiment și cele rezultate prin simulare (Lucrarea nr. 4).

Lucrarea nr. 6
STUDIUL FLUCTUAȚIILOR RAPIDE DE TENSIUNE. EFECTUL DE FLICKER

Obiectivul principal al lucrării îl constituie dobândirea de cunoștințe specifice unei interacțiuni cu valențe multiple în domeniul compatibilității electromagnetice: într-o primă etapă, o interacțiune aparat-aparat ce se continuă, ulterior, într-o interacțiune aparat-mediu biotic. Așa se întâmplă în cazul fluctuațiilor rapide ale tensiunii, deoarece se vor influența, în primul rând, echipamentele/dispozitivele alimentate de la o sursă de tensiune și, ulterior, aceste echipamente/dispozitive pot influența mediul biologic adiacent și, implicit, operatorul uman aflat în acest mediu. În aceste condiții, lucrarea își propune și atingerea câtorva obiective specifice:

- Vizualizarea căilor de interacțiune și a mărimilor ce pot defini tăria acestor interacțiuni (mai ales a celor aparat-mediu biotic);
- Vizualizarea modurilor de cântărire ale tăriei interacțiunilor generate de fluctuațiile rapide ale tensiunii (specifice, în primul rând, interacțiunii aparat-mediu biotic) și reglementarea acestor metode și a valorilor de prag ale indicatorilor specifici acestor interacțiuni, la nivel de standarde;

- Realizarea de măsurători specifice în laborator și vizualizarea efectelor negative ale fluctuațiilor rapide de tensiune asupra operatorilor umani.

1. Chestiuni de studiat

1.1. Se vor studia atât cauzele apariției fluctuațiilor rapide de tensiune în cadrul rețelelor electrice, cât și efectele negative generate de acestea.

1.2. Se va alcătui un breviar de termeni specifici care să permită analiza detaliată a interacțiunilor generate de fluctuațiile rapide de tensiune și, în mod particular, cântărirea efectelor negative (generate de efectul de flicker) ce pot apărea asupra operatorului uman. Suplimentar, se vor analiza și metodele și mijloacele ce pot atenua efectele negative generate de aceste fluctuații rapide de tensiune.

1.3. Se vor studia reglementările specifice din standardele de compatibilitate electromagnetică.

1.4. Se vor realiza măsurători pe standul din laborator pentru vizualizarea indicatorilor specifici ai efectului de flicker.

1.5. Se va răspunde la un chestionar cu întrebări specifice ce au drept scop vizualizarea efectelor negative generate de flicker asupra studenților ce participă la măsurătorile (și interacțiunea aparat-mediu biotic) din laborator.

2. Noțiuni teoretice

2.1. Fluctuațiile rapide de tensiune pot fi descrise ca modificări repetitive (periodice) sau accidentale ale anvelopei de tensiune (locul geometric al punctelor de maxim ale formei de undă a tensiunii) din cauza schimbărilor bruște de sarcină. În figura 6.1., forma de undă a tensiunii arată modificări, ceea ce este evident în modificările periodice ale anvelopei (aici, o sinusoidă). În practică, profilul anvelopei de tensiune va depinde de tipul și durata sarcinii.

Sarcinile care pot provoca fluctuații rapide de tensiune includ:

1. Instalații cu porniri frecvente ale motoarelor electrice;
2. Acționări electrice cu motoare cu funcționare ciclică;
3. Mașini de sudură cu arc;
4. Cuptoare cu arc.

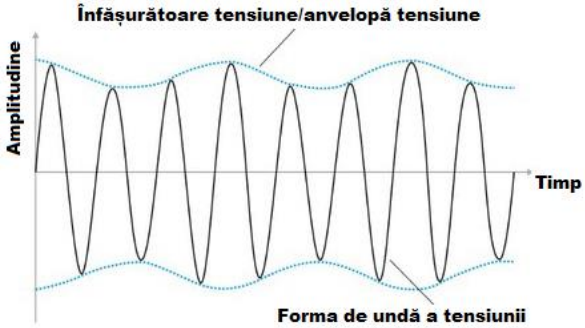


Fig. 6.1. - Forma de undă de tensiune cu anvelopă.

Există fluctuații clare de tensiune.

Tensiunea rețelei de alimentare variază în timp din cauza perturbărilor care apar în procesele de generare, transport și distribuție

a energiei electrice. Interacțiunea diverselor receptoare electrice cu rețeaua determină o deteriorare suplimentară a calității energiei electrice. Sarcinile/receptoarele de mare putere care atrag curenți fluctuanți, cum ar fi motoarele electrice mari și cuptoarele cu arc, provoacă variații de tensiune ciclică de joasă frecvență care au ca rezultat:

- ✓ pâlpâirea surselor de lumină care poate provoca disconfort fiziologic semnificativ, oboseală fizică și psihologică și chiar efecte patologice pentru ființe umane;
- ✓ probleme cu stabilitatea dispozitivelor electrice și a circuitelor electronice.

Figura 6.2. ilustrează modul în care o mică schimbare de tensiune produce un efect vizibil asupra fluxului luminos al unui bec.

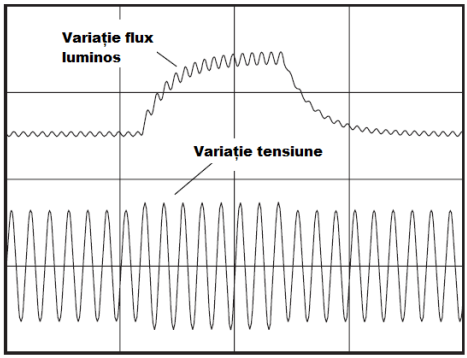


Fig. 6.2. - Modificarea fluxului luminos rezultat dintr-o modificare temporară a tensiunii [3]

Micile modificări recurente ale amplitudinii tensiunii rețelei cauzează variația fluxului surselor de lumină. Efectul este denumit

popular „pâlpâire” și este un parametru semnificativ al calității puterii. Un exemplu de spectru de tensiune de rețea în care pâlpâirea este evidentă este prezentat în figura 6.3. Spectrul prezentat este tipic pentru tensiunea unei rețele care alimentează o unitate electrică mare non-staționară. Un bec, alimentat de la același nod, va pâlpâi cu o frecvență de aproximativ 1 Hz.

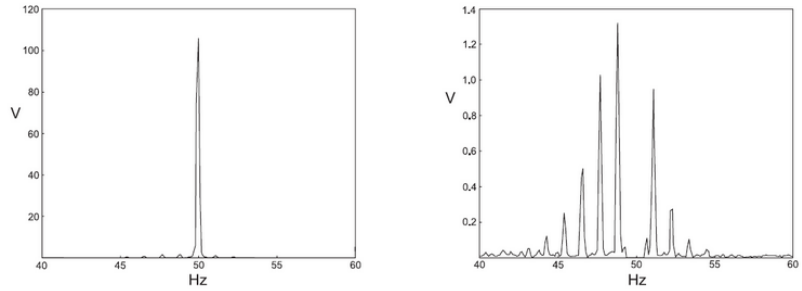


Fig. 6.3. - Spectrul de tensiune al rețelei de alimentare; în diagrama din dreapta se omite componenta de 50 Hz pentru o vizualizare mai bună a oscilațiilor/fluctuațiilor [3]

Fenomenul de pâlpâire a surselor de lumină este cunoscut încă de la introducerea rețelelor de alimentare cu energie. Cu toate acestea, fenomenul a crescut rapid odată cu creșterea numărului de sarcini și cu creșterea puterii consumate. Au fost efectuate cercetări considerabile în măsurarea și atenuarea pâlpâirii. Pentru a cuantifica amploarea fenomenului de pâlpâire a luminii au fost efectuate cercetări – de-a lungul anilor - cu scopul de a dezvolta echipamente de măsurare, tehnici de izolare și metode de atenuare.

2.2. Termenul de „flicker = pâlpâire” este puternic asociat cu funcționarea sarcinilor variabile. Pâlpâirea implică fluctuația tensiunii și efectul acesteia asupra sistemului de iluminare, rezultând modificări ale luminozității și, în consecință, ***iritarea vederii umane***. Problema pâlpâirii este comună multor dispozitive/sisteme și, prin urmare, este într-adevăr o problemă importantă în mediul competitiv de astăzi.

Tipul de fluctuație de tensiune asociat cu iluminarea este denumit în mod obișnuit „pâlpâirea tensiunii”, care poate fi împărțit în două categorii generale, și anume, *ciclic și neciclic*. Pâlpâirea tensiunii ciclice rezultă din sarcini periodice, cum ar fi în cazul instalațiilor de sudură cu arc. Pe de altă parte, pâlpâirea neciclică a tensiunii poate fi cauzată de pornirea/cuplarea sau decuplarea unui motor *într-un program aleatoriu*. Funcționarea unui cuptor cu arc este, de obicei, urmată de un amestec de pâlpâire a tensiunii ciclice și neciclice.

Inițial, proiectarea instrumentelor s-a bazat pe observarea simplă a fluxului luminos. Următorul pas a fost dezvoltarea unui model al reacției umane – sub formă de disconfort sau supărare – la fluctuația fluxului luminos. Modelul s-a bazat pe un bec de tungsten de 60 W, 230 V, deoarece acesta era cea mai folosită sursă de lumină în Europa la acea vreme.

Figura 6.4. arată pragul de percepție a pâlpâirii reprezentat grafic în funcție de modificarea procentuală a tensiunii (axa Oy) și frecvența modificării (axa Ox). Acolo unde amploarea și frecvența schimbărilor se află deasupra curbei, efectul este probabil să fie

deranjant pentru un observator uman, în timp ce sub curbă este probabil să fie imperceptibil. Liniile întrerupte reprezintă becuri de tungsten proiectate pentru tensiuni nominale diferite.

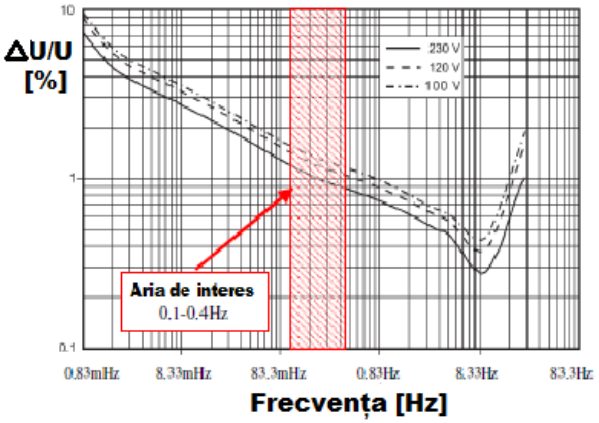


Fig. 6.4. - Caracteristica de percepție a pâlpâirii pentru modificările de tensiune aplicate becurilor de 60 W [3]

În general, Vocabularul Internațional de Iluminare [CIE 17.443 e-ILV (International Lighting Vocabulary)] ne sfătuiește să numim lumina fluctuantă „Artefacte de lumină temporală" sau TLA (Temporal Light Artifacts). Există trei tipuri de TLA: Flicker (pâlpâire), efecte stroboscopice și efecte Phantom Array.

- ***Pâlpâirea*** este tipul cel mai evident, deoarece este vizibil chiar *dacă atât sursa de lumină, cât și ochiul sunt statice*. Este vizibil pentru că frecvența este scăzută, doar 3 Hz - 80 Hz.
- ***Efectele stroboscopice*** apar atunci când sunt văzute lucruri în mișcare într-o lumină fluctuantă rapidă și mișcarea pare împărțită

în imagini separate. Frecvența este mai mare – aproximativ 80 Hz până la 2000 Hz. Majoritatea luminii stroboscopice pentru ringurile de dans nu este, de fapt, stroboscopică potrivit acestei definiții, deoarece frecvența este de, doar, 10-12 Hz. Dar efectul este similar. Se numește stroboscopic *atunci când obiectul se mișcă și ochii sunt statici*.

- Ultimul tip este așa-numitul „***Phantom Array Effects***”. Acest lucru este oarecum exotic, dar *apare atunci când obiectul (sursa de lumină) este static, dar ochii se mișcă*. Sacadele rapide ale ochilor ar putea declanșa o serie de imagini separate care urmează să fie construite pe retină. Efectul apare, aproximativ, în același interval de frecvență ca și efectele stroboscopice.

În figura 6.5. sunt ilustrate particularitățile acestor efecte [4].

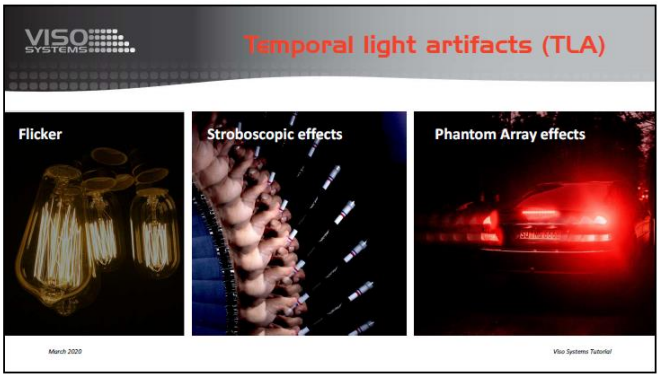


Fig. 6.5. - Particularitățile efectelor tip TLA [4]

- ***Pâlpâirea*** este ceea ce se întâlnește, de exemplu, la becurile LED ieftine – unii pot vedea acest efect privind direct la sursa de

lumină, alții îl văd mai bine în vederea periferică, în colțul ochiului.

- ***Efectele stroboscopice*** sunt experiența cu mișcarea tăiată în bucăți. Acest tip de iluminare poate fi cu adevărat periculoasă, de exemplu atunci când se lucrează cu mașini rotative. Rotația poate fi deghizată ca oprire.
- Ultima imagine ar trebui să ilustreze ***efectele matricei fantomă*** de la luminile din spate ale unei mașini care stă nemișcate. Mișcarea ochilor - dintr-o parte în alta - ar putea face ca lumina roșie puternică să construiască o serie de imagini separate pe retină.

De fapt, pâlpâirea și efectele stroboscopice *pot provoca multe tulburări*. Dar ceea ce arată cercetările este că există diferențe mari în ceea ce privește modul în care oamenii experimentează aceste efecte.

Iată, pe scurt, câteva din tulburările generate de efectele TLA:

- Fotoepilepsie – luminile intermitente stimulează crizele de epilepsie;
- Efect stroboscopic – periculos atunci când se lucrează cu mașini rotative;
- Migrenă sau cefalee severă;
- Creșterea comportamentului repetitiv în rândul persoanelor cu autism;
- Astenopie (oboseală oculară), inclusiv oboseală, vedere încețoșată etc.;
- Altele: atacuri de panică, anxietate, ritm cardiac crescut, amețeli;

- De asemenea: interferențe cu dispozitivele de imagistică (camere video și de securitate etc.).

Atenuarea tulburărilor generate de efectele TLA reclamă măsuri și mijloace care să atenueze, în primul rând, fluctuațiile de tensiune din rețea și să asigure, un nivel cvasiconstant al tensiunii la bornele receptorului. Principial, se pot utiliza, într-o analiză nepretențioasă, următoarele *metode și mijloace*:

- *La receptoare*:
  - ✓ Stabilizatoare de tensiune
- *La rețea*:
  - ✓ Rocadări ale transformatoarelor și reconfigurări ale rețelelor;
  - ✓ Variatoare/compensatoare rapide de putere reactivă.

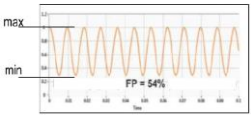
2.3. Problematica fluctuațiilor rapide de tensiune și a tehnologiilor moderne din instalațiile de iluminat reclamă identificarea unor parametri care să cuantifice severitatea efectelor negative generate și, totodată, fixarea prin *standardele de compatibilitate electromagnetică* a valorilor de prag ce permit o interacțiune nepericuloasă cu echipamentele electrice și electronice, dar, mai ales, cu operatorii umani.

Iată motivul pentru care standardele au definit parametri specifici de evaluare a severității fenomenelor, parametri care se află, la rândul lor, într-un veritabil proces de evoluție, pe măsură ce tehnologiile evoluează.

În cele ce urmează, este prezentată o scurtă evoluție a acestor parametri specifici.

a) Parametrii specifici – indicați în standardele de început, în domeniu (pentru efectele tip TLA) – au fost: **Frecvența de pâlpâire, Procentul de Flicker/Procentul de pâlpâire/Flicker Percentaj (FP) și Indicele de pâlpâire/Flicker Index (FI)** – Tabelul 6.1. [4]

Tabelul 6.1. – Parametrii specifici pentru evaluarea efectelor TLA

Parametrul specific	**Standardul / organizația**	**Definiția**	**Modul de evaluare**	**Plaja de variație**
Frecvența de pâlpâire	Universal	Componenta temporală a pâlpâirii	Pulsul principal pe secundă	1 to ∞ Hz (în practică, 50-2000 Hz)
Procentul de Flicker/ Flicker Percentaj (FP)	Illuminating Engineering Society (IES)	O măsură relativă a variației ciclice a amplitudinii unei lumini	 FP $= \frac{(\max - \min)}{(\max + \min)}$ x 100 [%]	0 % până la 100 % Cu cât procentul de pâlpâire este mai mic, cu atât pâlpâirea este mai puțin substanțială.
Flicker Index (FI)	Illuminating Engineering Society (IES)	O măsură a variației ciclice ținând cont de forma undei	 $FI = \frac{\text{Aria 1}}{\text{Aria 1} + \text{Aria 2}}$	0 la 1 Cu cât indicele de pâlpâire este mai mic, cu atât pâlpâirea este mai puțin substanțială.

b) Parametrii specifici – stabiliți apoi, pentru efectele tip TLM (Temporal light modulation), ce generează și *tulburări non-vizuale* pe lângă cele *vizuale* generate de efectele TLA – sunt: *severitatea pâlpâirii pe termen scurt (*Short-term flicker indicator*)* – P_{st}, *măsurarea vizibilității cu efect stroboscopic* (Stroboscopic effect visibility measure (SVM) – M_{vs}. [5]

Efectele de tip TLM pot fi generate, **pe lângă fluctuațiile rapide de tensiune din rețeaua de alimentare** (ale căror cauze au fost precizate la punctul 1.1. din Chestiuni de studiat), și de:

- Tehnologia surselor de lumină și driverele (și nu LED-urile în sine);
- Tehnologia de reglare a luminii și nivelul de reglare.

Fluctuațiile luminoase rezultate pot fi periodice sau neperiodice.

Aceste noi tehnologii stau la originea standardului IEC 61547 și a IEC Light Flickermeter. Noul tip de echipament descrie un flickermetru care utilizează variațiile luminii ca intrare directă, spre deosebire de flickermetrul original IEC, care ia tensiunea ca intrare și modelează lumina de la o lampă incandescentă de 60 W. Diferențele reclamate de cele 2 tipuri de flickermetre sunt exemplificate în figura 6.6.a, b. [5]

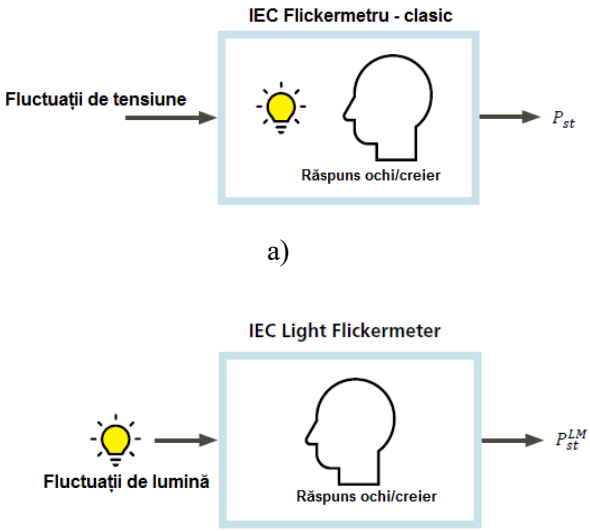


Fig. 6.6. - Două versiuni de flickermetre, cu intrare diferită, dar cu același rezultat la ieșire

a) Intrare fluctuații de tensiune; b) Intrare fluctuații de lumină [5]

Așa cum P_{st} este implementat în mai multe dispozitive de măsurare a tensiunii, P_{st}^{LM} este acum implementat mai frecvent în dispozitivele de măsurare a luminii. Durata de înregistrare a tensiunii utilizând flickermetrul IEC pentru a obține P_{st} este de 10 min. Cu toate acestea, pentru P_{st}^{LM}, folosind IEC Light Flickermeter, durata recomandată a înregistrării variațiilor de intensitate a luminii este de 3 minute sau 180 de secunde. [5]

2.4. Pentru determinarea/vizualizarea indicatorilor specifici ai efectului de flicker se va lucra pe standul din laborator. Se vor determina, astfel, Frecvența de pâlpâire, Procentul de Flicker/Flicker Percentaj (FP), respectiv, Index-ul de Flicker/Flicker Index (FI), pentru diverse tipuri de de lămpi în tehnologie LED, utilizându-se un instrument de măsurare a pâlpâirii luminii de înaltă precizie, BTS256-EF (de la firma Gigahertz Optik GmbH) [6].

3. Modul de lucru

Pentru studiul fenomenului de flicker în laborator se va utiliza standul a cărui schemă de principiu este prezentată în fig. 6.7. Elementele principale ale standului sunt:

1) ATM – autotransformator monofazat;
2) PWM dimmer - sursă comandată de tensiune alternativă (100-240)V/1A);
3) PLTeh-LED – placă echipată cu lămpi în tehnologie LED;
4) V, A – aparate electronice de măsură a tensiunii, respectiv, intensității curentului;
5) BTS256-EF - instrument de măsurare a pâlpâirii luminii de înaltă precizie (flickermetru).

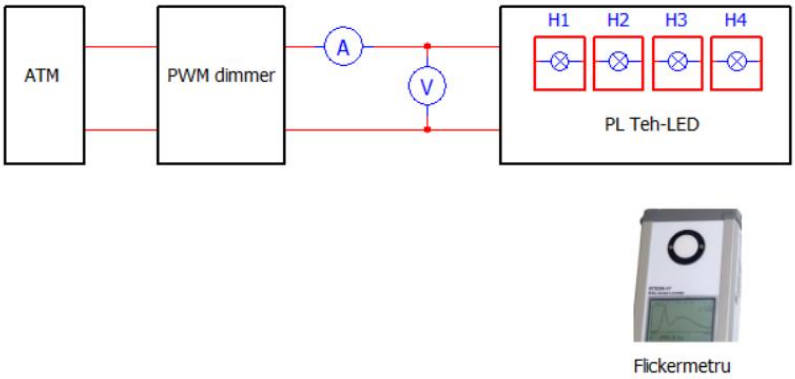


Fig. 6.7. - Schema de principiu a standului pentru studiul fenomenului de flicker

Se vor determina, cu ajutorul flickermetrului (BTS256-EF), indicatorii specifici ai fiecărui tip de lampă existentă pe stand. Pe baza măsurătorilor efectuate se va face o analiză comparativă, din punct de vedere al compatibilității electromagnetice, a caracteristicilor funcționale, pentru lămpile testate.

4. Tabele cu date și rezultate

Rezultatele obținute din măsurători se vor centraliza în tabelul 6.2.

Tabelul 6.2. - Indicatorii specifici efectului de flicker pentru lămpi în tehnologie LED

Tip lampă/corp de iluminat		H1	H2	H3	H4	**Efectele tip TLA sesizate/identificate pe durata lucrării de laborator**
Caracteristici tehnice lampă/corp de iluminat						
Indicatori specifici ai efectului de flicker	**Frecvența de pâlpâire**					
	Procentul de Flicker					
	Index-ul de Flicker					

Observaţii

1. Pentru a se putea culege cât mai multe informații despre efectele negative ale flickerului asupra operatorilor umani, se va realiza *un chestionar specific* care va fi completat de studenți la un interval de maxim 5 zile după efectuarea lucrării de laborator. Se vor identifica, astfel, pe lângă *efectele de scurtă durată* (tip TLA) – sesizate de studenți pe întreaga durată a lucrării de laborator – și *efectele de lungă durată* (tip TLA și TLM) – ce pot apărea după ieșirea din mediul viciat de flicker.
2. Deoarece BTS256-EF permite și vizualizarea efectelor de tip TLM: *severitatea pâlpâirii pe termen scurt (*Short-term flicker indicator*)* – P_{st}, *măsurarea vizibilității cu efect stroboscopic* (Stroboscopic effect visibility measure (SVM) – M_{vs}, *în cadrul chestionarului se pot insera întrebări* care să permită și identificarea acestor efecte (non-vizuale), ce se pot materializa la un interval variabil de timp, după părăsirea mediului viciat de flicker.

5. Interpretarea rezultatelor. Concluzii

Se vor formula concluzii cu privire la:

1. Variația indicatorilor specifici pentru fiecare tip de lampă testată și încadrarea acestora în limitele indicate în standardele de compatibilitate electromagnetică;
2. Severitatea efectelor de scurtă durată înregistrate pe durata efectuării lucrării de laborator;
3. Severitatea efectelor de lungă durată – în urma analizei comparative a răspunsurilor culese la întrebările specifice prinse în chestionarele transmise studenților.

Notă

Chestionarele vor fi înmânate/transmise de cadrul didactic fiecărui student care a participat *efectiv* la realizarea lucrării de laborator. Răspunsurile culese vor fi prelucrate de cadrul didactic, care va întocmi statistici ce vor fi discutate, apoi, cu fiecare grupă de studenți.

Lucrarea nr. 7

INFLUENȚA GOLURILOR DE TENSIUNE DIN REȚEA ASUPRA FUNCȚIONĂRII CONSUMATORILOR/ RECEPTOARELOR

Obiectivul lucrării constă în analiza influenței golurilor de tensiune din rețeaua electrică asupra funcționării consumatorilor/receptoarelor racordați/racordate în cadrul rețelei.

1. Chestiuni de studiat

Se vor considera unele dintre receptoarele cele mai utilizate în tehnica curenților tari, precum transformatoare, mașini electrice rotative, cuptoare electrice etc., a căror pondere este semnificativă în rețelele industriale.

Analiza influenței golurilor de tensiune ale rețelei asupra acestor receptoare trebuie să stabilească limitele între care funcționarea receptoarelor poate fi tolerată și dacă pot apărea consecințe noi la funcționarea în aceste condiții.

2. Noțiuni teoretice

Goluri de tensiune

Se consideră o rețea electrică ce furnizează o tensiune alternativă de frecvență fixă $f = f_N$.

Această condiție de menținere a valorii fixe a frecvenței se realizează, în condiții stricte, asigurându-se astfel stabilitatea

funcționării sistemului, aspect care se obține, în principal, prin intermediul sistemului de control automat de la generatoarele sincrone de putere, dar și prin asigurarea unor condiții suplimentare de funcționare.

Rețelele electrice actuale sunt proiectate să furnizeze un sistem trifazat de tensiune de succesiune directă:

$$u_1(t) = \sqrt{2}U sin\omega t \qquad (7.1.)$$
$$u_2(t) = \sqrt{2}U sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right)$$
$$u_3(t) = \sqrt{2}U sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right)$$

Presupunând că valorile efective ale tensiunii U și frecvenței f sunt constante, între pulsația ω și frecvența f există o relație cunoscută: $\omega = 2\pi f$.

Considerând frecvența constantă, adesea în sistemul energetic valorile tensiunii efective pot înregistra variații din cauze multiple, cele mai des întâlnite fiind:

- conectarea/deconectarea unor sarcini neliniare de putere mare în raport cu cea a instalației;

- defecte interne în cadrul instalației, reclamându-se existența unui interval temporar astfel încât capacitatea redundantă a instalației să poată adapta rețeaua la noii parametri.

Aceste variații de tensiune, de scurtă durată, se numesc goluri de tensiune.

Tensiunea remanentă, cel mai adesea exprimată în unități relative:

$$u_{rem}[u.r.] = \frac{U_{rem}}{U_n} \qquad (7.2.)$$

unde $U < U_n$.

Durata golului, calculându-se prin relația (7.3):

$$d_g[per.] = T_g/T \qquad (7.3.)$$

în care T_g este timpul de existență al golului de tensiune, iar T este perioada tensiunii rețelei, durata golului d_g fiind exprimată în numărul de perioade ale tensiunii.

Pentru o mai bună înțelegere a apariției fenomenului de gol de tensiune, în figura 7.1. s-a reprezentat o situație tipică a apariției unui gol de tensiune, între două regimuri nominale de funcționare, pe o fază a unui sistem trifazat de tensiune.

În acest caz, se înregistrează un gol de tensiune cu indicatorii: tensiunea remanentă $u_{rem} = 1\ [u.r.]$ și durata $d_g = 2[per.]$.

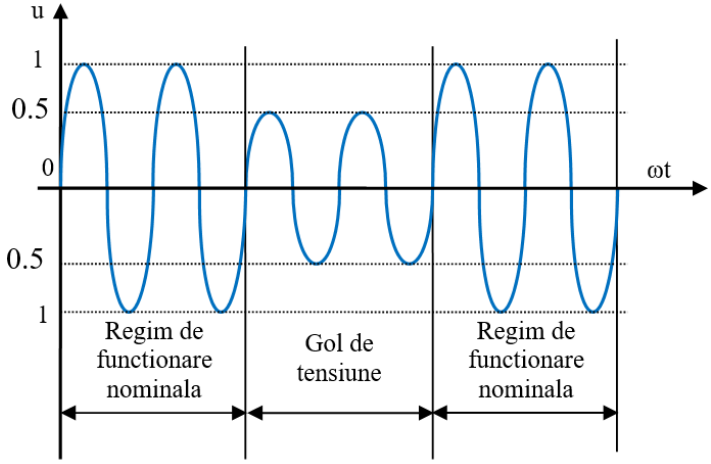


Fig. 7.1. - Apariția unui gol de tensiune

3. Modul de lucru

3.1. Analiza pe cale experimentală a influenței golurilor de tensiune asupra consumatorilor/receptoarelor

În vederea realizării studiului influenței golurilor de tensiune ale rețelei electrice asupra funcționării consumatorilor racordați în cadrul rețelei se va executa montajul din figura 7.2., în care consumatorul este reprezentat de către un motor asincron trifazat, unde s-a utilizat următoarea simbolizare:

- (L1, L2, L3, N) – rețea trifazată de tensiune cu neutrul accesibil;
- Q1 – întrerupător manual trifazat care are rolul de separator în schema de montaj;

- $ATM_{1,2,3}$ – autotransformatoare monofazate pe toate fazele circuitului;
- $A_{1,2,3}$, $V_{1,2,3}$, $W_{1,2,3}$ – ampermetre, voltmetre și, respectiv, wattmetre, montate pe fiecare fază a circuitului;
- M 3 ~ – motor asincron trifazat cu rotorul în scurtcircuit;
- ML – masa de lucru care încarcă motorul asincron trifazat;
- TG – tahogenerator, care furnizează o tensiune măsurată de voltmetru U_{TG} proporțională cu turația motorului.

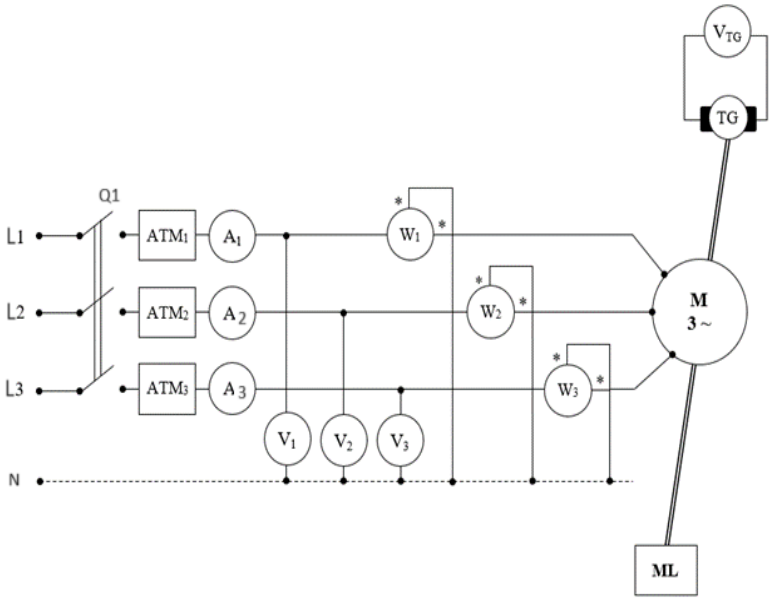


Fig. 7.2. - Schema de montaj pentru studiul influenței golurilor de tensiune asupra funcționării motorului asincron trifazat

În cadrul acestui studiu experimental se va considera un motor asincron având următoarele date tehnice:

- Puterea nominală: $P_n = 4$ kW;
- Tensiunea nominală: $U_n = 380$ V;
- Frecvența nominală: $f_n = 50$ Hz;
- Cuplul rezistent al sarcinii M = 5 Nm.

Atât rezultatele culese pe baza determinărilor experimentale, cât și valorile mărimilor găsite prin calcul se vor introduce în tabelul 7.1.

3.1. Analiza - prin simulare în PSIM - a influenței golurilor de tensiune asupra consumatorilor/receptoarelor

Se implementează schema montajului experimental pe simulatorul virtual (în mediul de programare PSIM).

În cadrul studiului, pe simulator virtual, se consideră situația în care motorul a ajuns în regim staționar, după ce, în prealabil, a apărut golul de tensiune. Datele numerice achiziționate se introduc în Tabelul 7.2. După cum se poate observa din tabel, golurile de tensiune pot avea și diferite valori pe fazele de alimentare ale motorului, ceea ce se justifică în majoritatea situațiilor practice.

4. Tabele cu date și rezultate

4.1. Analiza pe standul experimental

Atât valorile obținute pe baza măsurătorilor, cât și rezultatele găsite prin calcul se vor introduce în tabelul 7.1.

Tabelul 7.1. – Studiul influenței golurilor de tensiune ale rețelei asupra funcționării consumatorilor/receptoarelor – stand experimental

Caz	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
u_1 [u.r.]	0.9	0.8	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8
u_2 [u.r.]	0.9	0.8	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
u3 [u.r.]	0.9	0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6	0.6
i_1 [u.r.]										
i_2 [u.r.]										
i_3 [u.r.]										
n [rpm]										
ω [rad/s]										
P_1 [W]										
P_2 [W]										
η [%]										

4.2. Analiza pe simulator virtual

Rezultatele obținute prin simulare se vor trece în tabelul 7.2.

Tabelul 7.2. – Studiul influenței golurilor de tensiune ale rețelei asupra funcționării consumatorilor/receptoarelor – simulator virtual

Caz	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**
u_1 [u.r.]	0.9	0.8	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8
u_2 [u.r.]	0.9	0.8	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
u3 [u.r.]	0.9	0.8	0.5	0.5	0.6	0.5	0.7	0.7	0.6	0.6
i_1 [u.r.]										
i_2 [u.r.]										
i_3 [u.r.]										
n [rpm]										
ω [rad/s]										
P_1 [W]										
P_2 [W]										
η [%]										

5. Relații de calcul

Curenții $I_{1,2,3}$ obținuți prin indicațiile ampermetrelor $A_{1,2,3}$ se vor completa în tabel, de asemenea, în unități relative:

$$u_{rem}[u.r.] = \frac{U_{rem}}{U_n} \qquad i_{1,2,3}[u.r.] = \frac{I_{1,2,3}}{I_n} \qquad (7.4.)$$

Puterea electrică totală (P_1) absorbită de motor de la rețea se obține însumând indicațiile wattmetrelor $W_{1,2,3}$ plasate pe fiecare fază a montajului:

$$P_1 = P_{w1} + P_{w2} + P_{w3}. \qquad (7.5.)$$

Turația motorului se determină pe baza indicației voltmetrului montat la bornele tahogeneratorului:

$$n = U_{TG} \cdot c_{TG} \qquad (7.6.)$$

unde c_{TG} este constanta tahogeneratorului, fiind o mărime furnizată de către producător.

Cunoscând turația *n*, va rezulta viteza unghiulară la arborele motorului, utilizând expresia:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \qquad (7.7.)$$

Puterea utilă la arborele motorului se determină, ușor, prin intermediul relației:

$$P_2 = M \cdot \omega. \qquad (7.8.)$$

Randamentul, exprimat procentual, se determină cu relația:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \cdot 100 \qquad (7.9.)$$

6. Grafice și diagrame

Pe baza datelor colectate în Tabelul 7.1. se va proceda la reprezentarea grafică a următoarelor caracteristici ale montajului experimental de studiu:

1. Reprezentarea caracteristicii de intrare:

$$u_{rem} = f(i)\Big|_{M = ct.}^{f_1 = f_{1N} = ct.} \tag{7.10.}$$

în care s-au considerat valorile medii alte tensiunilor și curenților exprimate în unități relative:

$$u_{rem} = \frac{u_1 + u_2 + u_3}{3} \tag{7.11.}$$

$$i = \frac{i_1 + i_2 + i_3}{3} \tag{7.12.}$$

2. Reprezentarea grafică a caracteristicii factorului de putere:

$$P_2 = f(u_{rem})\Big|_{M = ct.}^{f_1 = f_{1N} = ct.} \tag{7.13.}$$

3. Reprezentarea grafică a caracteristicii randamentului:

$$\eta = f(u_{rem})\Big|_{M = ct.}^{f_1 = f_{1N} = ct.} \tag{7.14.}$$

7. Interpretarea rezultatelor. Concluzii

Se vor formula concluzii cu privire la:

1. Situațiile practice când apar goluri de tensiune în rețelele de joasă tensiune.
2. Situația practică de apariție a unui gol de tensiune la o acționare electrică conectată direct la rețeaua trifazată.
3. Limitele în care funcționarea motorului este stabilă și de unde începe funcționarea instabilă a motorului.
4. Eficiența energetică a motorului odată cu apariția golurilor de tensiune.

Suplimentar, se va verifica dacă rezultatele obținute pe cale experimentală se apropie de cele determinate, prin simulare numerică, în mediul de programare PSIM.

BIBLIOGRAFIE

[1] PSIM user's manual – version 2020a

[2] SR EN CEI-61000-3-4:2009 & SR EN CEI 61000-4-7:2003, pct. 3.3.1.

[3] https://powerquality.blog/2021/02/01/voltage-disturbances-flicker-measurement/;

[4] https://www.visosystems.com/media/TLA%20Tutorial%20EU.pdf;

[5] https://backend.orbit.dtu.dk/ws/portalfiles/portal/314323568/Flicker_explained_Guide_to_industry_EN_digital.pdf;

[6] https://www.gigahertz-optik.com/en-us/product/bts256-ef/

[7] C. Christopoulos, Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility, CRC Press, 2023

[8] P. Clayton, Introduction to Electromagnetic Compatibility, Ed. Wiley, 2006