

**MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE
UNIVERSITATEA “VALAHIA” DIN TÂRGOVIȘTE
IOSUD – ȘCOALA DOCTORALĂ DE ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL: INGINERIE ELECTRICĂ**

**CERCETĂRI PRIVIND
CARACTERIZAREA, MODELAREA ȘI
SIMULAREA ECHIPAMENTELOR
ELECTRICE DIN CASELE
INTELIGENTE**

-REZUMAT-

**CONDUCĂTOR DE DOCTORAT:
Prof. univ. dr. ing. Horia Leonard ANDREI**

**STUDENT- DOCTORAND:
Drd. ing. Andrei Cosmin GHEORGHE**

**TÂRGOVIȘTE
2024**

Cuprins

Mulțumiri.....	4
Capitolul 1. Introducere. Case inteligente. Importanța și dezvoltarea caselor inteligente. Prezent și perspective.....	4
Capitolul 2. Echipamentele electrice din casele inteligente. Funcționarea sistemelor automate din casele inteligente. Rețele de comunicații utilizate	6
Capitolul 3. Măsurarea parametrilor electrici ai principalelor echipamente utilizate în casele inteligente. Metode numerice de aproximare a caracteristicilor și modelare a acestora. Sisteme automate de control și optimizare.....	8
1.1 Măsurarea parametrilor electrici ai principalelor echipamente utilizate în casele inteligente.....	9
1.1.1 Măsurarea parametrilor electrici ai principalelor echipamente utilizate în casele inteligente folosind Fluke 1738 Power Logger	9
1.1.1.1 Mașina de spălat Beko WUE81436 CST	9
1.1.1.2 Laptop Lenovo 15ACH6H	12
1.1.1.3 TV LG 40UH630V.....	14
1.1.1.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A	16
1.1.2 Proiectarea sistemului de achiziție de date (DAQ).....	17
1.1.3 Măsurarea parametrilor electrici ai echipamentelor electrocasnice	19
1.1.3.1 Mașina de spălat Beko WUE81436 CST	19
1.1.3.2 Laptop Lenovo 15ACH6H.....	20
1.1.3.3 Televizor LG 40UH630V	20
1.1.3.4 Sony Playstation 5 CFI-1003	21
1.2 Metode numerice de aproximare a caracteristicilor și modelarea echipamentelor	21
1.2.1 Mașină de spălat Beko WUE81436 CST.....	21
1.2.2 Laptop Lenovo 15ACH6H	26
1.2.3 Televizor LG 40UH630V.....	31
1.2.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A.....	35
1.3 Sisteme automate de control și optimizare.....	40
1.3.1 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 1	40
1.3.2 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 2	41
1.3.3 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 3.....	43
1.3.4 Monitorizarea și controlul simultan al echipamentelor	45
1.4 Comparație sisteme automate de control și optimizare	46
Capitolul 4. Funcționarea autonomă a echipamentelor electrice. Rețele bidirecționale de comunicații. Optimizarea consumurilor energetice.	47
2.1 Funcționarea autonomă a echipamentelor electrice.....	47
2.1.1 Mașina de spălat Beko (WUE81436)	48
2.1.2 Laptop Lenovo Legion (15ACH6H).....	50
2.1.3 Televizor LG (40UH630V).....	52
2.1.4 Sony Playstation 5 (CFI-1003A).....	54
2.2 Optimizarea consumurilor energetice.....	56
Capitolul 5. Concluzii. Contribuții originale. Dezvoltări ulterioare ale tezei.....	60
3.1 Contribuții originale	61
3.2 Dezvoltări ulterioare ale tezei.....	62
Bibliografie (selectivă).....	63

Cuvinte cheie: măsurare parametri electrici, reducere consum energie, echipamente electrocasnice, automatizare, sistem reducere energie, Wi-Fi, Arduino, Raspberry Pi, aplicație web, aplicație Android, modelare caracteristici echipamente electrocasnice, învățare automată, inteligență artificială, eficiență economică.

MULȚUMIRI

Cu deosebită recunoștință și respect, doresc să mulțumesc domnului profesor universitar dr. ing. Horia Leonard ANDREI pentru îndrumarea și susținerea pe care mi le-a oferit pe parcursul realizării tezei mele de doctorat. Îndrumarea domnului profesor și dedicarea constantă au fost fundamentale pentru succesul acestei lucrări. De-a lungul acestui parcurs academic, am beneficiat de expertiza și înțelepciunea dumnealui, care m-a ajutat să depășesc numeroasele provocări întâmpinate și să evoluez profesional și personal. Sprijinul acordat, fie prin feedback-ul constructiv, fie prin timpul prețios pe care mi l-a alocat, a avut un impact semnificativ asupra dezvoltării mele ca cercetător. Îi mulțumesc pentru răbdarea și disponibilitatea de a răspunde întotdeauna întrebărilor mele și de a mă ghida în direcția corectă. Contribuția dumnealui esențială și implicarea necondiționată au fost cheile succesului acestei lucrări.

Mulțumesc domnului conferentiar universitar dr.ing. Emil Mihai Diaconu. Contribuția dumnealui, manifestată prin expertiza sa academică și dedicația constantă, a fost esențială în dezvoltarea și finalizarea acestei lucrări. Răbdarea și înțelepciunea cu care a oferit un real sprijin și a ghidat cercetarea au avut un impact profund asupra progresului și reușitei proiectului. Sprijinul său necondiționat a fost un pilon de încredere pentru teză, oferindu-mi motivația și încrederea necesare pentru a depăși provocările întâmpinate.

Mulțumesc domnilor profesori universitari dr. ing. Dinu COLTUC și dr. ing. Nicolae VASILE pentru sfaturile pe care mi le-au dat pe toată durata studiilor doctorale.

Nu în ultimul rând, vreau să adresez mulțumiri sincere părinților mei și soției mele pentru sprijinul lor necondiționat și, mai ales, pentru că au avut încredere în mine încă de la începutul acestui parcurs. Fără suportul și credința lor, realizările mele nu ar fi fost posibile.

Capitolul 1. Introducere. Case inteligente. Importanța și dezvoltarea caselor inteligente. Prezent și perspective

Conceptul de „casă inteligentă” a început să prindă contur la începutul anilor 1980 odată cu apariția ideilor de „clădire inteligentă”. Inițial, casele inteligente s-au concentrat în primul rând pe îmbunătățirea confortului utilizatorilor. De-a lungul timpului, casele inteligente au evoluat pentru a include tehnologii care permit controlul de la distanță sau centralizat al funcțiilor și serviciilor, acordând prioritate nevoilor și dorințelor rezidenților cu privire la diferite caracteristici și funcționalități ale gospodăriei [1].

Sistemele unei case inteligente folosesc internetul pentru a permite capabilități de control de la distanță. Din punct de vedere istoric, internetul a fost folosit în mod predominant pentru navigarea paginilor web, căutarea de informații, angajarea în chat-uri și descărcarea de conținut. Cu toate acestea, odată cu progresele rapide ale tehnologiei, Internetul a devenit, de asemenea, un instrument esențial pentru monitorizarea și controlul serviciilor, facilitând interacțiunea cu mașinile și dispozitivele. Aceste evoluții au îmbunătățit semnificativ confortul și securitatea casei, au permis o utilizare mai rațională a energiei și a altor resurse și au condus la economii substanțiale. Inițial, casele inteligente au urmărit să sporească confortul persoanelor apte de muncă, dar acum ele răspund și nevoilor personale ale persoanelor în vârstă și ale persoanelor cu dizabilități, oferind asistență și sprijin vital - un domeniu care promite o semnificativă dezvoltare în viitor.

Viziunile timpurii ale caselor inteligente, care s-au concentrat pe automatizare și control asupra fiecărui dispozitiv electric fără a fi nevoie de intervenție manuală, s-au extins pentru a include o gamă largă de aplicații. În ultimii ani, sistemele inteligente au devenit populare în case rezidențiale, centre comerciale, zgârie-nori, hoteluri și alte unități. Organizații majore precum MIT, Siemens, Cisco, IBM, Xerox și Microsoft sunt puternic implicate în acest sector, cu aproximativ 20 de laboratoare pentru case inteligente dezvoltate. Aceste laboratoare servesc mai mult decât simple facilități de instruire, ci ele presupun operațiuni extinse care au un impact semnificativ asupra industriei [2].

Pentru a construi o clădire inteligentă superioară, trebuie luați în considerare anumiți factori cheie. Procesul necesită un designer calificat, care este bine versat în condițiile de mediu, deschis la noile dezvoltări și profund familiarizat cu sistemele inteligente. „Designul inteligent” în acest context cuprinde designul durabil, utilizarea de înaltă tehnologie și configurații ușor de utilizat.

Casele inteligente sunt de obicei examinate prin patru dimensiuni principale:

- Structura fizică a clădirii: importantă pentru caracteristici precum încălzirea și ventilația naturală, care sunt luate în considerare în faza de proiectare. Inginerii calculează utilizarea optimă a materialelor izolatoare și poziționarea strategică a clădirii pentru a maximiza eficiența energetică.
- Aspecte ale sistemului: inclusiv securitate, aer condiționat și control al puterii.
- Servicii oferite: cum ar fi conexiunea la Internet și comunicațiile.
- Caracteristici de management: Acoperă managementul energiei, iluminatului și irigațiilor, care pot fi integrate după construcție sau în clădiri prefabricate [3].

În epoca modernă, automatizarea devine din ce în ce mai mult o parte integrantă a caselor și locurilor noastre de muncă. Descrisă în general ca un proces care execută secvențe predeterminate cu intervenție umană minimă, automatizarea este susținută de diverși senzori care monitorizează procesele, împreună cu dispozitive de acționare și diverse tehnici și dispozitive [4].

Tehnologiile pentru locuințe inteligente au pătruns în aproape toate fațetele vieții domestice, revoluționând modul în care interacționăm cu spațiile noastre de locuit. Aceste inovații variază de la divertisment și iluminat la securitate și managementul gospodăriei, fiecare proiectat pentru a spori confortul, siguranța și eficiența. Iată o prezentare detaliată a diferitelor tehnologii de casă inteligentă:

- Televizoare inteligente: aceste dispozitive se conectează la internet pentru a transmite conținut prin aplicații, oferind videoclipuri și muzică la cerere. Multe televizoare inteligente sunt echipate cu recunoaștere a vocii sau a gesturilor, permițând navigarea și controlul mai ușor.
- Sisteme inteligente de iluminat: produse precum Hue de la Philips Lighting Holding B.V. pot detecta prezența oamenilor într-o cameră și pot regla iluminarea în consecință. Aceste becuri inteligente sunt, de asemenea, capabile să își modifice luminozitatea în funcție de lumina naturală disponibilă, optimizând consumul de energie, menținând în același timp condiții optime de iluminare.
- Termostate inteligente: dispozitivele precum termostatul Nest au Wi-Fi încorporat, permițând utilizatorilor să seteze, să monitorizeze și să ajusteze temperatura casei de la distanță. Aceste termostate învață obiceiurile utilizatorilor lor în timp, ajustând automat setările pentru a maximiza confortul și eficiența energetică. De asemenea, oferă rapoarte despre consumul de energie și mementouri de întreținere, cum ar fi când trebuie schimbate filtrele de aer.
- Încuietori inteligente și dispozitive de deschidere a ușilor de garaj: acestea permit utilizatorilor să controleze accesul la casele lor de la distanță. Încuietorile inteligente pot recunoaște când rezidenții sunt aproape și pot debloca automat

ușile, oferind în același timp posibilitatea de a acorda sau de a refuza accesul vizitatorilor de la distanță.

- Camere de securitate inteligente și senzori de mișcare: Aceste sisteme le permit rezidenților să-și supravegheze casele de la distanță, oferind liniște sufletească în timp ce sunt plecați sau în vacanță. Senzorii inteligenți pot face distincția între rezidenți, vizitatori, animale de companie și potențiali intruși, alertând autoritățile cu privire la activități suspecte.
- Îngrijirea automată a animalelor de companie și a plantelor: hrănitorele conectate se ocupă de programele de hrănire a animalelor de companie, iar sistemele inteligente de irigare pot fi programate pentru a uda plantele de interior și gazonul pe baza temporizatoarelor sau a senzorilor de mediu.
- Aparate inteligente de bucătărie: această categorie include o varietate de dispozitive, cum ar fi aparatele de cafea care pot prepara automat cafea la o oră stabilită, frigiderele inteligente care urmăresc datele de expirare și întocmesc liste de cumpărături și chiar sugerează rețete bazate pe ingredientele disponibile. Alte aparate includ aragazele lente inteligente, prăjitoarele de pâine și mașinile de spălat rufe care își optimizează funcțiile pentru eficiență energetică și confort.
- Monitoare pentru sistemul de acasă: Aceste dispozitive sunt esențiale pentru prevenirea potențialelor dezastre, cum ar fi detectarea supratensiunilor electrice și oprirea aparatelor sau identificarea scurgerilor de apă sau a conductelor înghețate pentru a opri curgerea apei, prevenind astfel inundațiile [5].

Fiecare dintre aceste tehnologii nu numai că simplifică sarcinile de rutină, dar ajută și la crearea unui mediu de viață mai receptiv și durabil. Pe măsură ce aceste dispozitive continuă să evolueze, ele promet o integrare și o utilitate și mai mari în casele inteligente ale viitorului.

Capitolul 2. Echipamentele electrice din casele inteligente. Funcționarea sistemelor automate din casele inteligente. Rețele de comunicații utilizate

În domeniul dinamic al caselor inteligente, echipamentele de uz casnic nu mai sunt doar funcționale, ci sunt și integrate perfect cu tehnologia avansată pentru a îmbunătăți experiența de viață. Casele inteligente utilizează o gamă largă de dispozitive și aparate conectate care nu numai că oferă utilități standard, ci oferă și control, eficiență și interacțiuni îmbunătățite. Această integrare transformă sarcinile banale în procese

sofisticate, automate, contribuind la un stil de viață care simbolizează confortul și modernitatea [58].



Figura 2.1 Diagramă echipamente casă inteligentă[45]

Casele inteligente sunt echipate cu o gamă largă de echipamente de uz casnic care se încadrează în mai multe categorii:

- Aparate inteligente: Bucătăria dintr-o casă inteligentă este un centru al aparatelor de înaltă tehnologie. Frigiderele inteligente, de exemplu, nu numai că păstrează alimentele proaspete, dar pot, de asemenea, să monitorizeze conținutul, să sugereze rețete bazate pe ingredientele disponibile și să avertizeze proprietarii de case atunci când produsele alimentare se epuizează. Cuptoarele inteligente pot fi preîncălzite de la distanță și sunt capabile să ajusteze timpii și temperaturile de gătit în funcție de felul de mâncare pregătit, datorită rețetelor și senzorilor încorporați.
- Sisteme de control al climei: termostate inteligente și sisteme HVAC (încălzire, ventilație și aer condiționat) gestionează în mod inteligent temperatura casei pentru un confort optim și eficiență energetică. Aceste dispozitive învață

preferințele și rutinele proprietarului pentru a ajusta automat setările, pentru a reduce consumul de energie atunci când casa este neocupată și chiar pentru a oferi notificări de întreținere.

- Iluminat și controlul ferestrelor: sistemele de iluminat inteligente permit rezidenților să controleze luminile de la distanță prin aplicații pentru smartphone, să stabilească scene și programe personalizate și chiar să ajusteze iluminarea în funcție de disponibilitatea luminii naturale sau modelele de ocupare. În mod similar, jaluzelele și draperiile automate pot fi programate să se deschidă și să se închidă în funcție de ora din zi sau de lumina soarelui, ajutând la conservarea energiei și oferind securitate [59].
- Securitate și monitorizare: Securitatea îmbunătățită este o caracteristică esențială a caselor inteligente, cuprinzând încuietori inteligente, camere de supraveghere și sisteme de alarmă pe care proprietarii de case le pot monitoriza și controla de la distanță. Aceste sisteme oferă caracteristici precum detectarea mișcării, alerte în timp real și integrare cu asistenți vocali pentru operarea mâinilor libere.
- Sisteme de divertisment: divertismentul într-o casă inteligentă este sofisticat și extrem de personalizabil. Televizoarele inteligente și sistemele home theater sunt conectate la internet, permițând transmiterea în timp real a diferitelor conținuturi media și integrarea ușoară cu alte dispozitive inteligente pentru o experiență unificată de divertisment acasă.
- Utilitate și echipamente de întreținere: Chiar și aspectele mai puțin vizibile ale întreținerii casei au fost transformate de tehnologia inteligentă. Contoarele de utilități conectate și sistemele inteligente de apă facilitează monitorizarea consumului de apă și energie, detectează scurgerile și ajută la gestionarea mai eficientă a utilităților pentru a conserva resursele și a reduce costurile.

Convergența acestor dispozitive inteligente într-o casă creează un ecosistem coerent care răspunde în mod inteligent nevoilor locuitorilor săi, făcând rutinele zilnice mai ușoare și mediul de acasă mai confortabil și mai sigur. Pe măsură ce tehnologia continuă să evolueze, domeniul de aplicare al echipamentelor de uz casnic din casele inteligente se va extinde, îmbunătățind și mai mult calitatea vieții și eficiența celor care îmbrățișează această viață conectată [60].

Capitolul 3. Măsurarea parametrilor electrici ai principalelor echipamente utilizate în casele inteligente.

Metode numerice de aproximare a caracteristicilor și modelare a acestora. Sisteme automate de control și optimizare.

1.1 Măsurarea parametrilor electrici ai principalelor echipamente utilizate în casele inteligente

1.1.1 Măsurarea parametrilor electrici ai principalelor echipamente utilizate în casele inteligente folosind Fluke 1738 Power Logger

Măsurarea parametrilor electrici și identificarea consumurilor echipamentelor electrocasnice, mai ales în regimul de stand-by, au fost realizate la începutul cercetărilor experimentale din această teză, cu un aparat Fluke 1738 Power Logger. Fiind un aparat de măsură etalonat, datele măsurate de acesta au fost folosite drept referință pentru sistemului de achiziție de date (DAQ) dezvoltat ulterior. Fluke 1738 Power Logger este un instrument portabil și sofisticat, conceput pentru analiză energetică cuprinzătoare și înregistrarea calității energiei electrice. Acesta suportă măsurarea energiei monofazate/trifazate și poate înregistra peste 500 de parametri simultan, fiind ideal pentru studii pe termen lung și identificarea problemelor intermitente. Interfața intuitivă cu ecran tactil, accesul wireless la date și conformitatea cu standardele internaționale de calitate a energiei asigură ușurința utilizării și fiabilitatea [80].

În figurile 3.1 și 3.2 sunt reprezentate variațiile curentului și puterii în modul normal de funcționare respectiv în figurile 3.3 și 3.4 în modul stand-by ale mașinii de spălat Beko WUE81436 CST, măsurători efectuate cu echipamentul Fluke 1738 Power Logger.

1.1.1.1 Mașina de spălat Beko WUE81436 CST

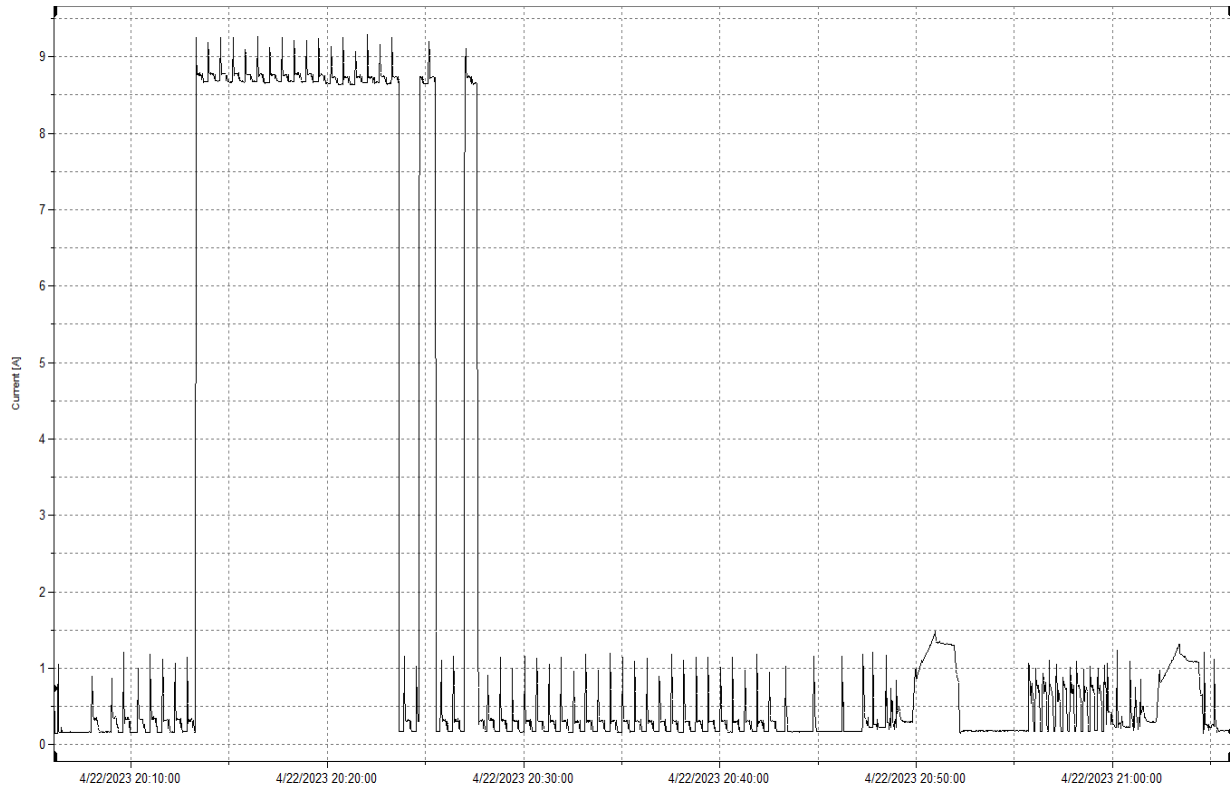


Figura 3.1 Consum curent pentru mașina de spălat în modul normal de funcționare

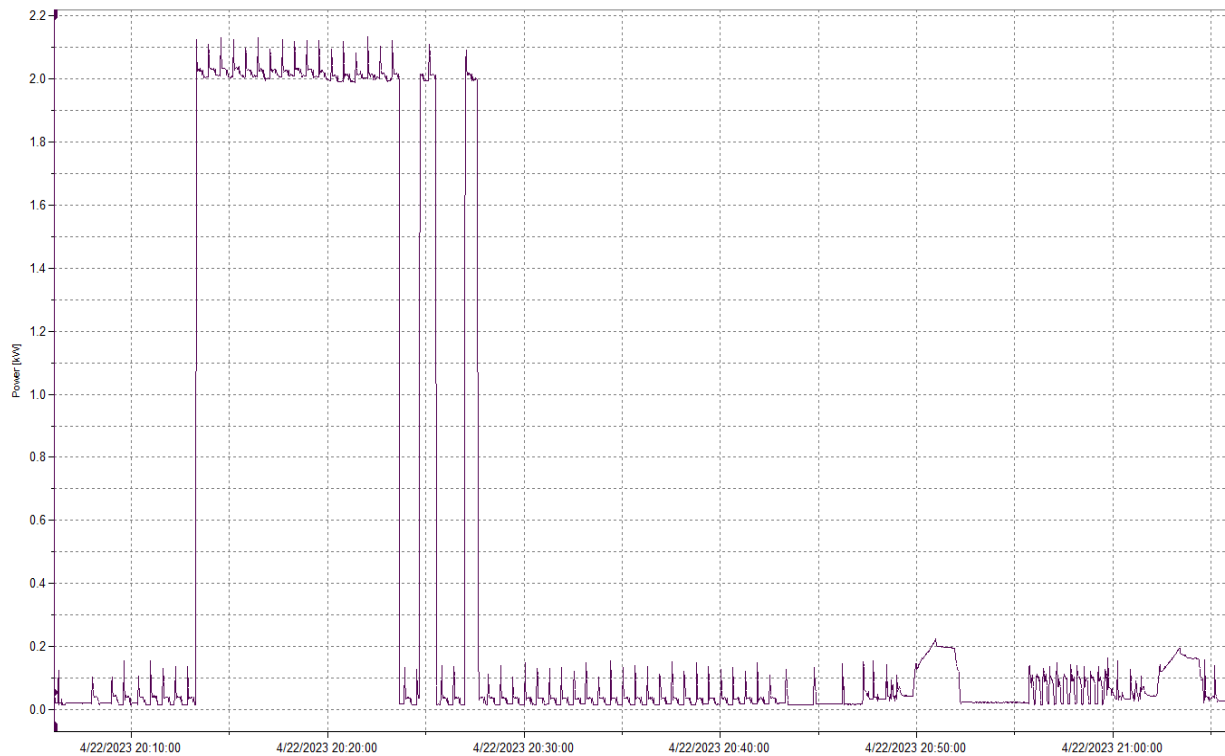


Figura 3.2 Consum putere pentru mașina de spălat în modul normal de funcționare

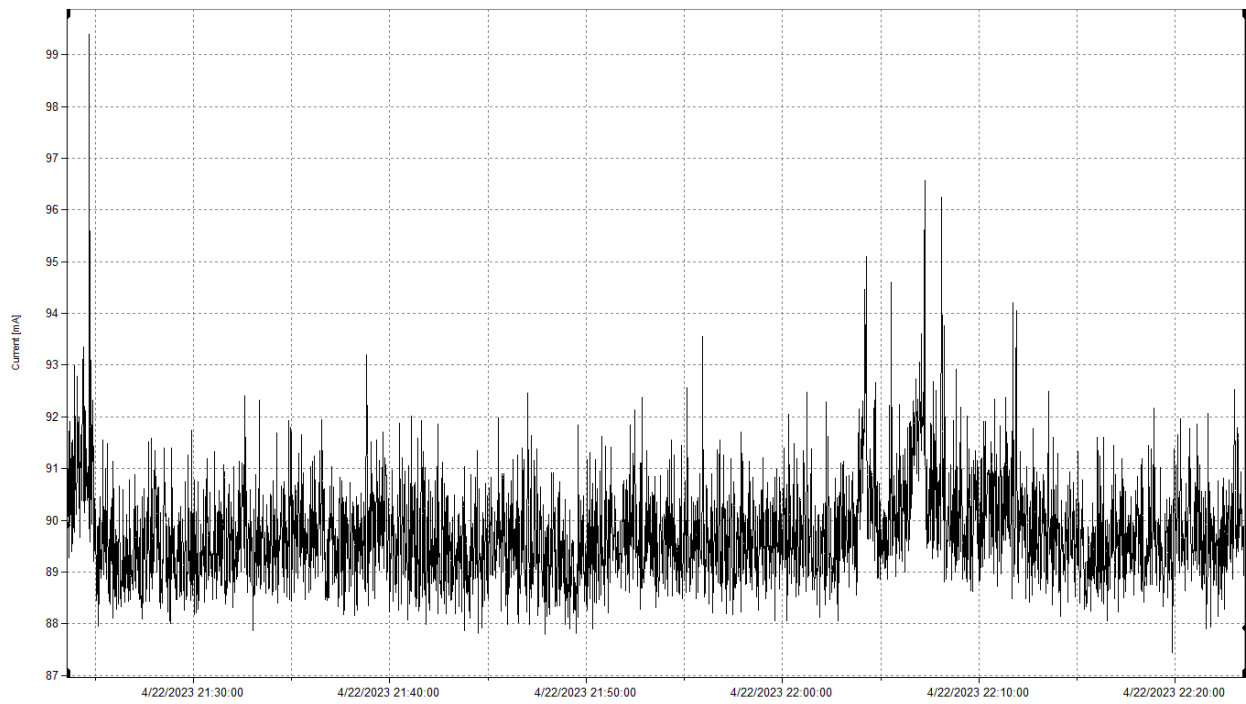


Figura 3.3 Consum curent pentru mașina de spălat în modul stand-by

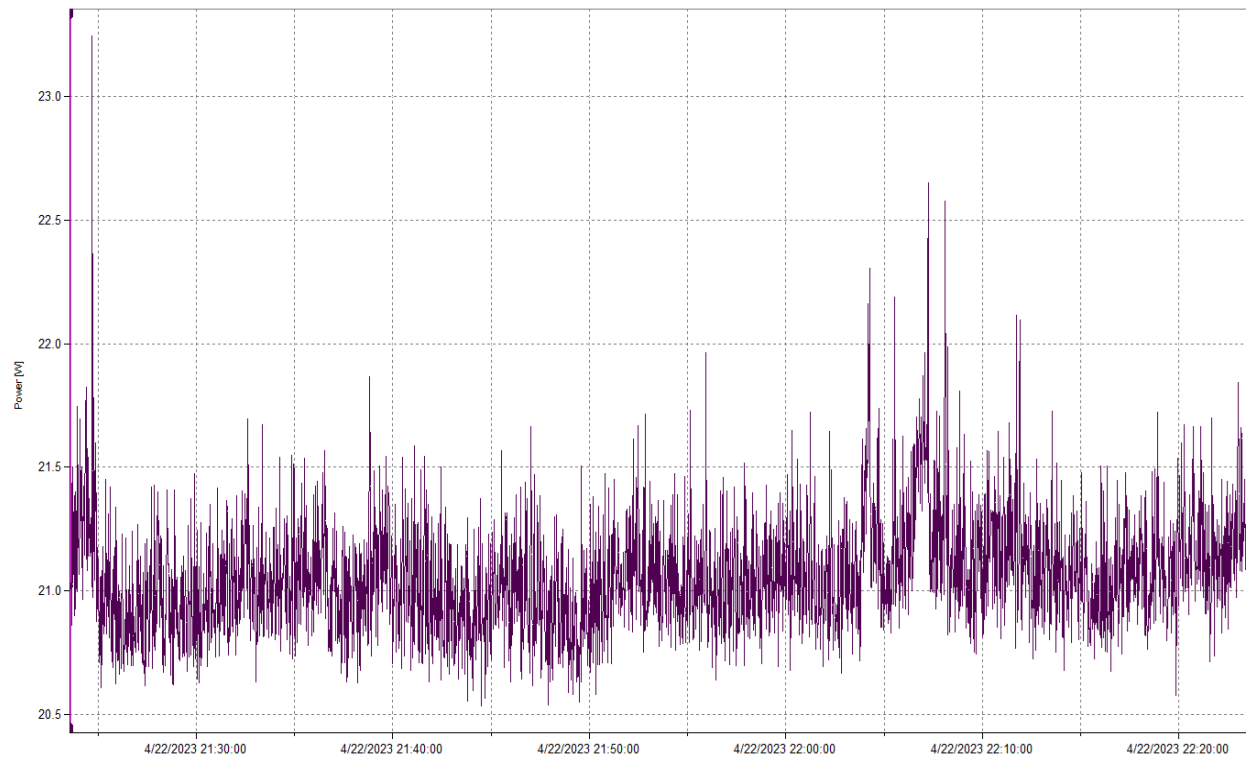


Figura 3.4 Consum curent pentru mașina de spălat în modul stand-by

1.1.1.2 Laptop Lenovo 15ACH6H

În figura 3.11 și figura 3.12 se pot observa curentul și puterea măsurate cu echipamentul Fluke 1738 în modul normal de funcționare a Laptopului Lenovo 15ACH6H iar în figura 3.13 și figura 3.14 se prezintă graficele curentului și puterii în modul stand-by al aceluiași Laptop.

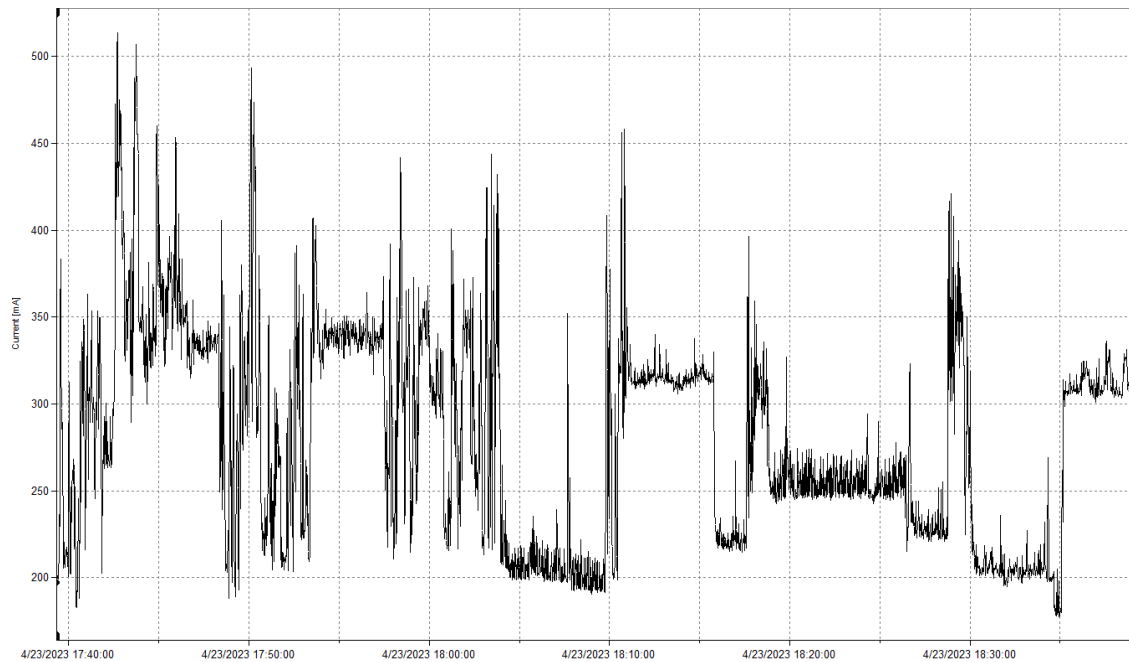


Figura 3.11 Consum curent pentru laptop în modul normal de funcționare

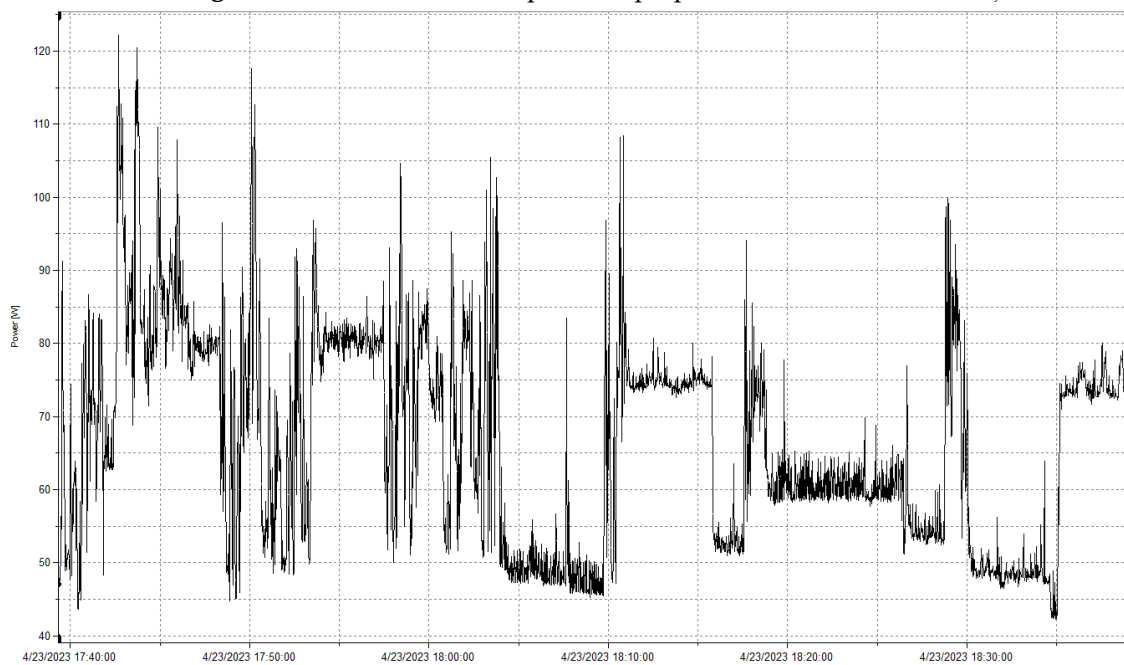


Figura 3.12 Consum putere pentru laptop în modul normal de funcționare

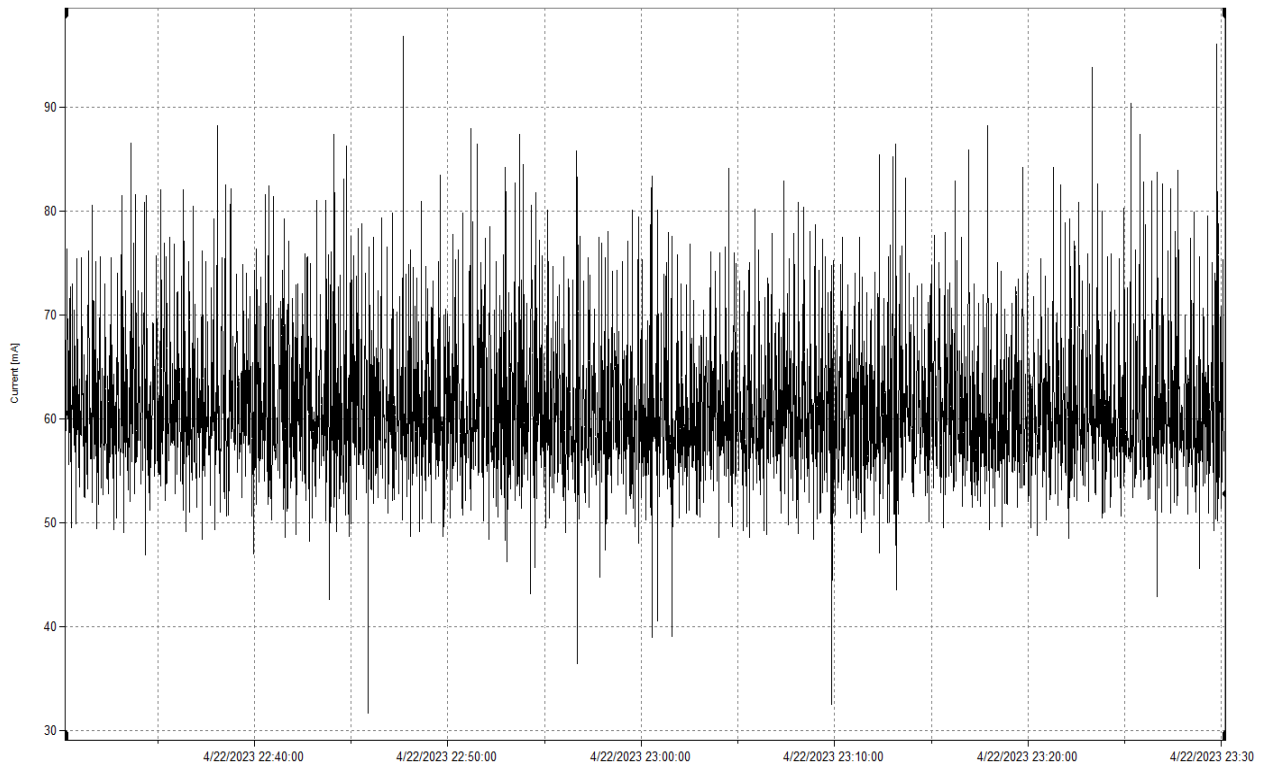


Figura 3.13 Consum curent pentru laptop în modul stand-by

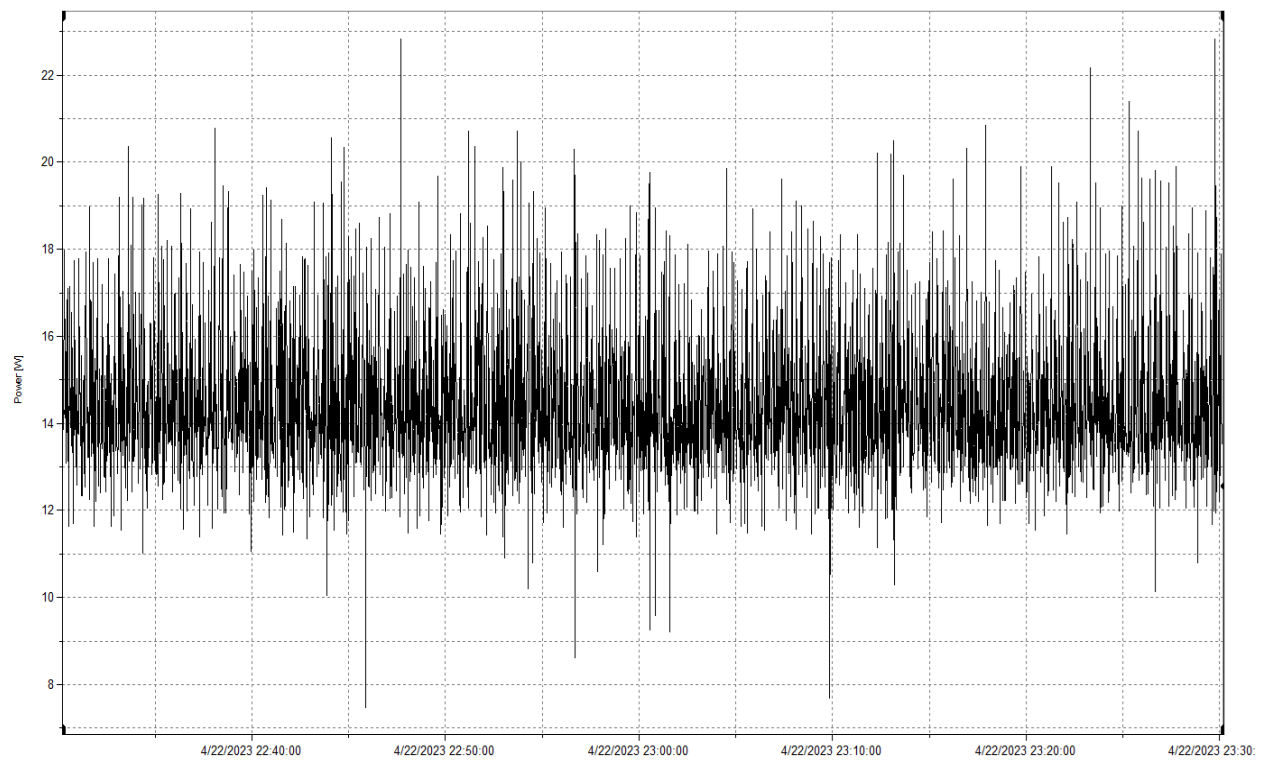


Figura 3.14 Consum putere pentru laptop în modul stand-by

1.1.1.3 TV LG 40UH630V

În figurile 3.15 și 3.16 sunt reprezentate variațiile curentului și puterii în modul normal de funcționare respectiv în figurile 3.17 și 3.18 în modul stand-by ale televizorului TV LG 40UH630V, măsurători efectuate cu echipamentul Fluke 1738 Power Logger.

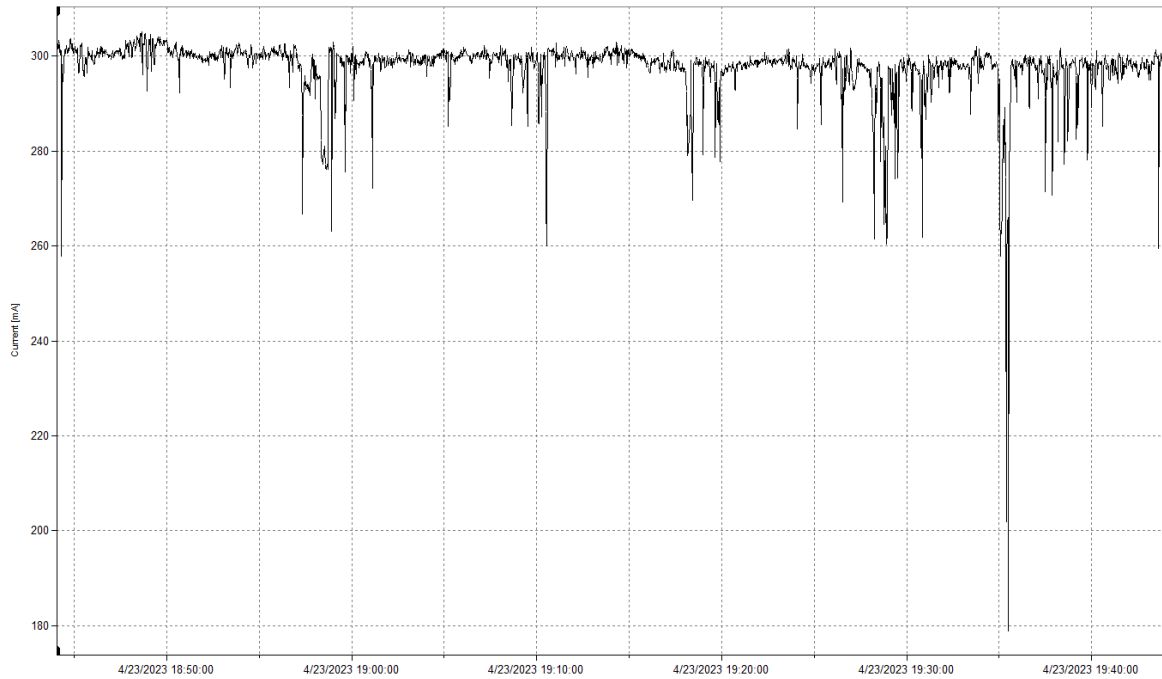


Figura 3.15 Consum curent pentru TV în modul normal de funcționare

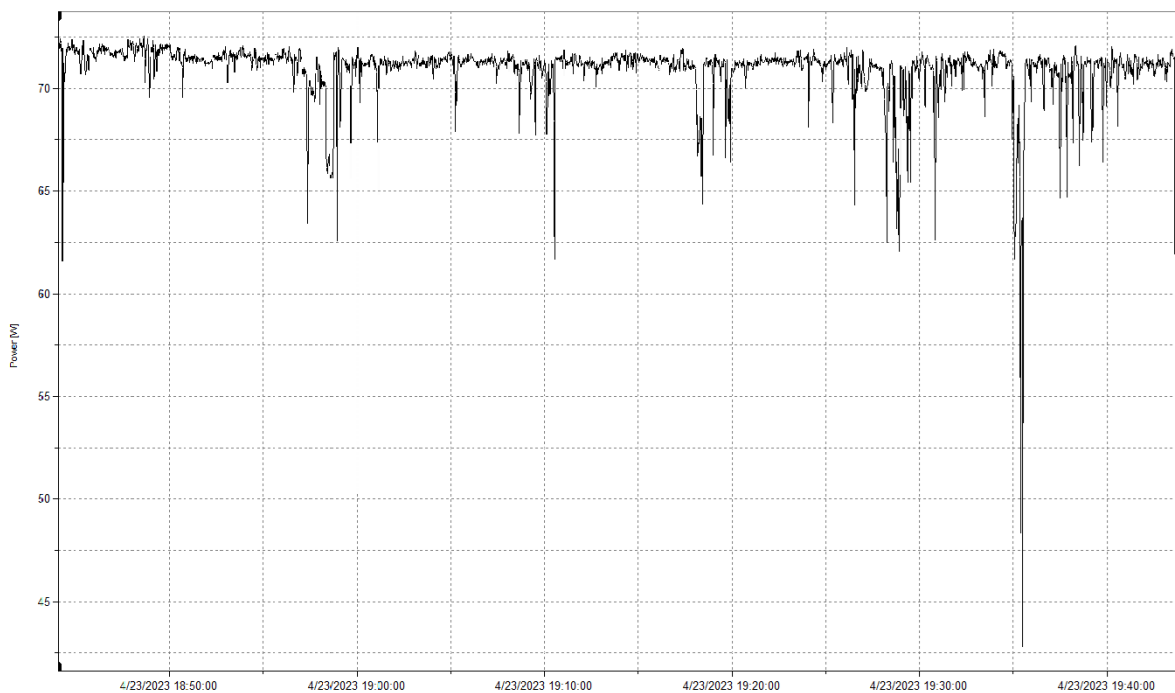


Figura 3.16 Consum putere pentru TV în modul normal de funcționare

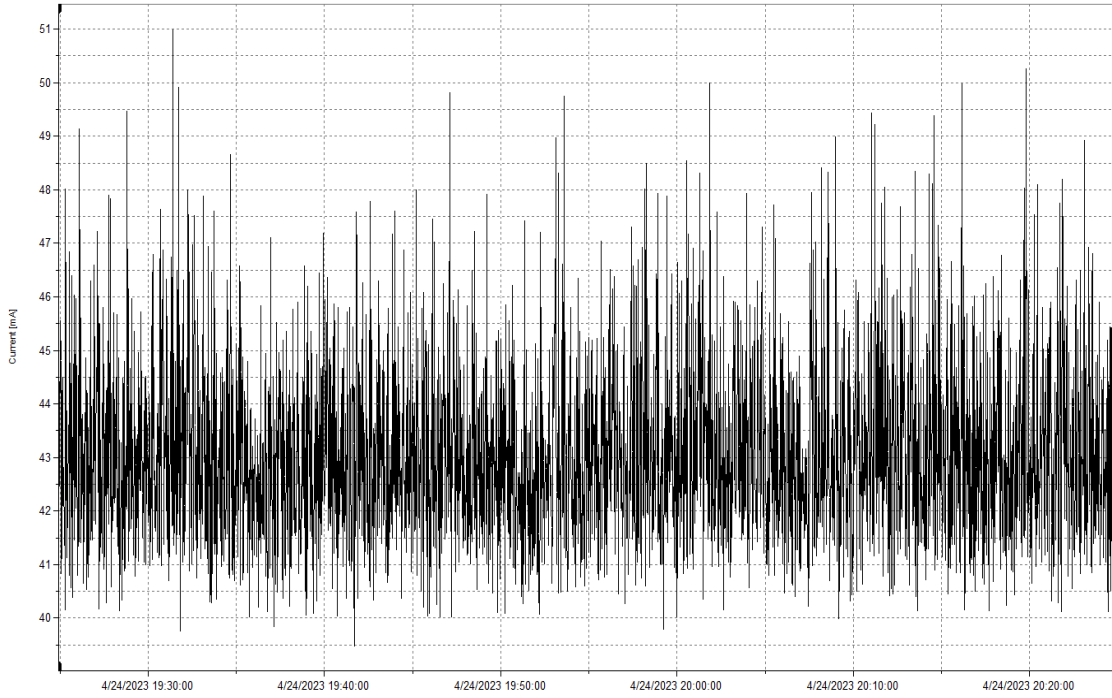


Figura 3.17 Consum curent pentru TV în modul stand-by

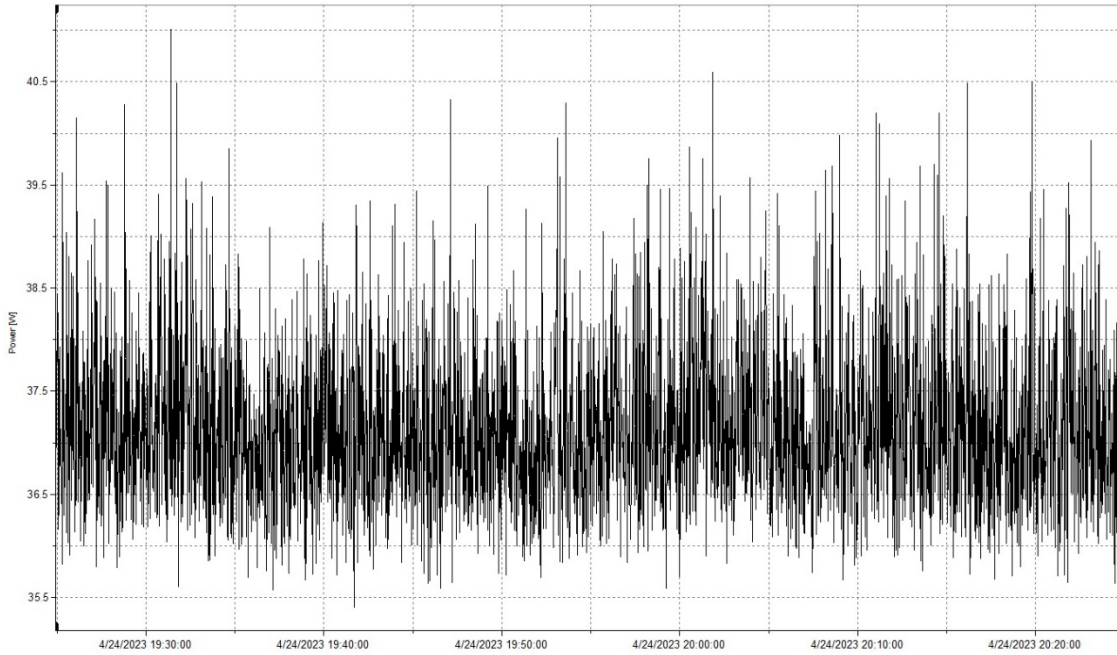


Figura 3.18 Consum putere pentru TV în modul stand-by

1.1.1.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A

În figurile 3.19 și 3.20 sunt reprezentate variațiile curentului și puterii în modul normal de funcționare respectiv în figurile 3.21 și 3.22 în modul stand-by ale televizorului Play Station 5 CFI-1003A, măsurători efectuate cu echipamentul Fluke 1738 Power Logger.

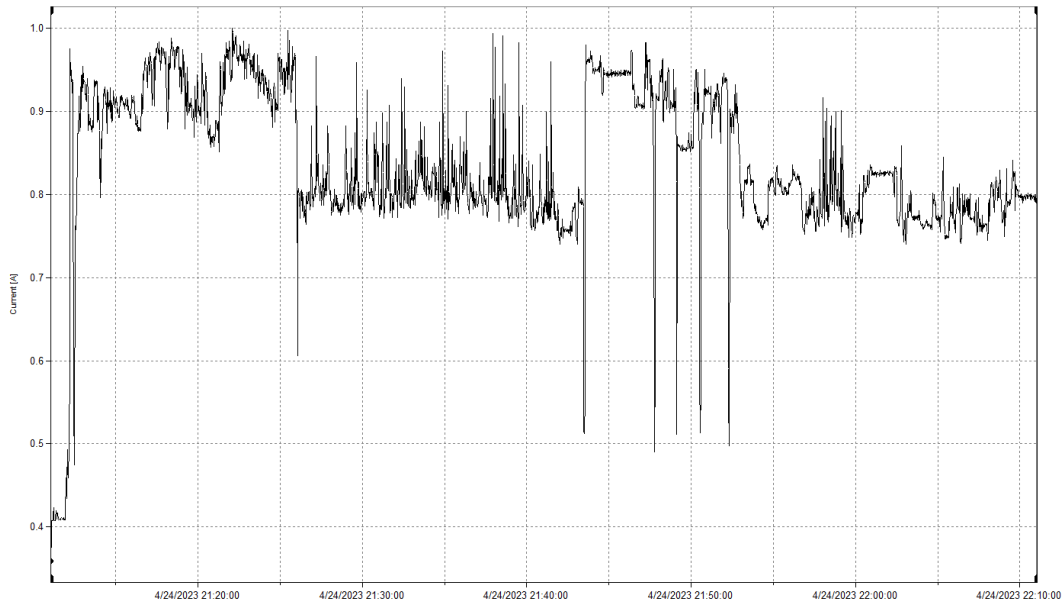


Figura 3.19 Consum curent pentru Playstation în modul normal de funcționare

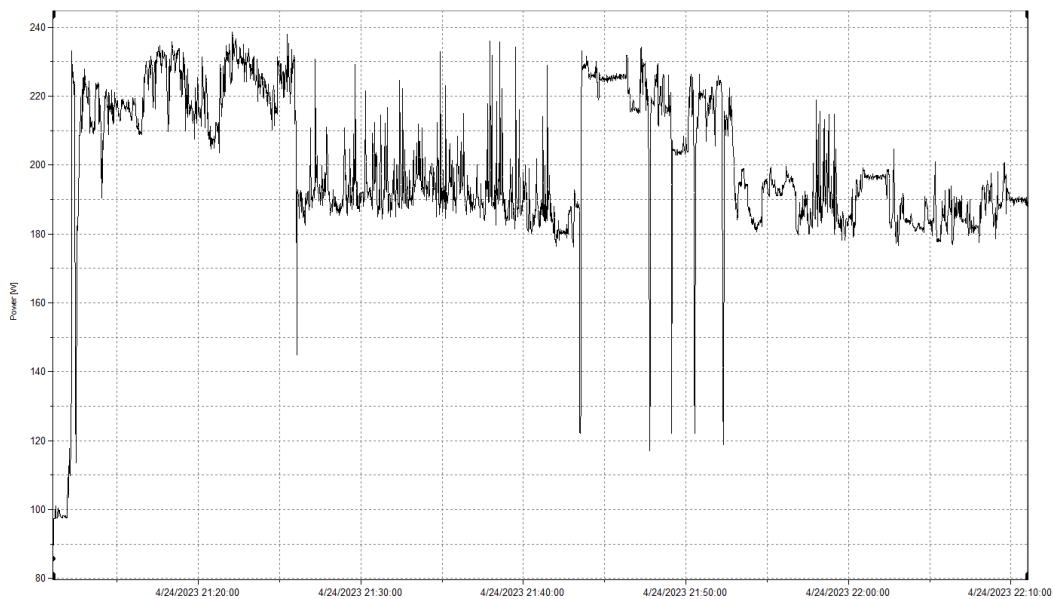


Figura 3.20 Consum putere pentru Playstation în modul normal de funcționare

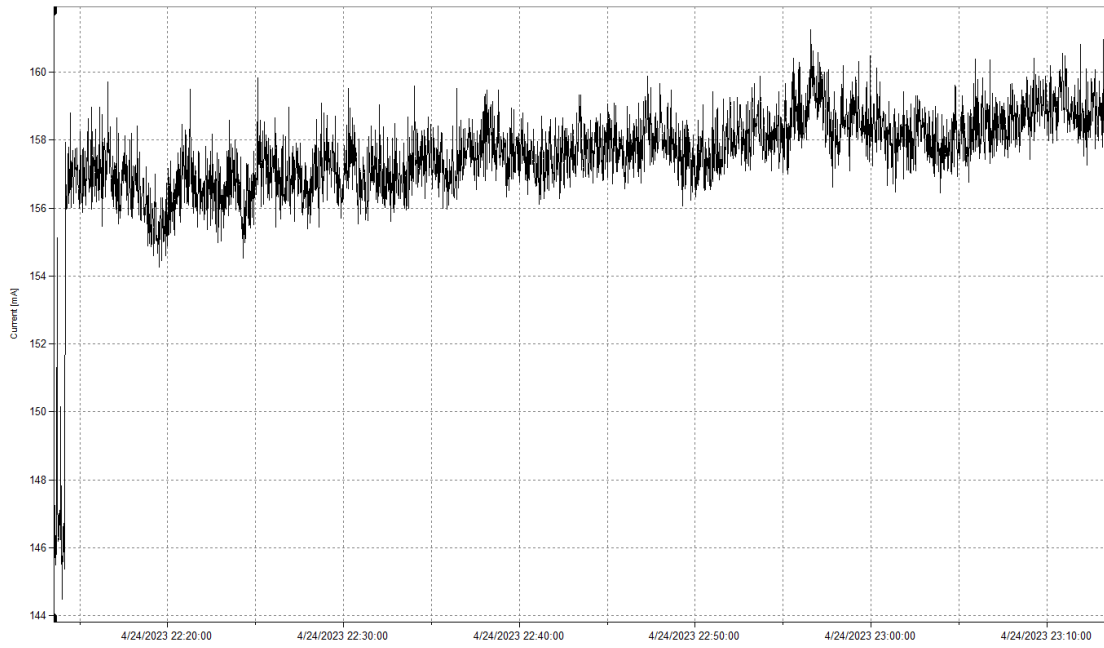


Figura 3.21 Consum curent pentru Playstation în modul stand-by

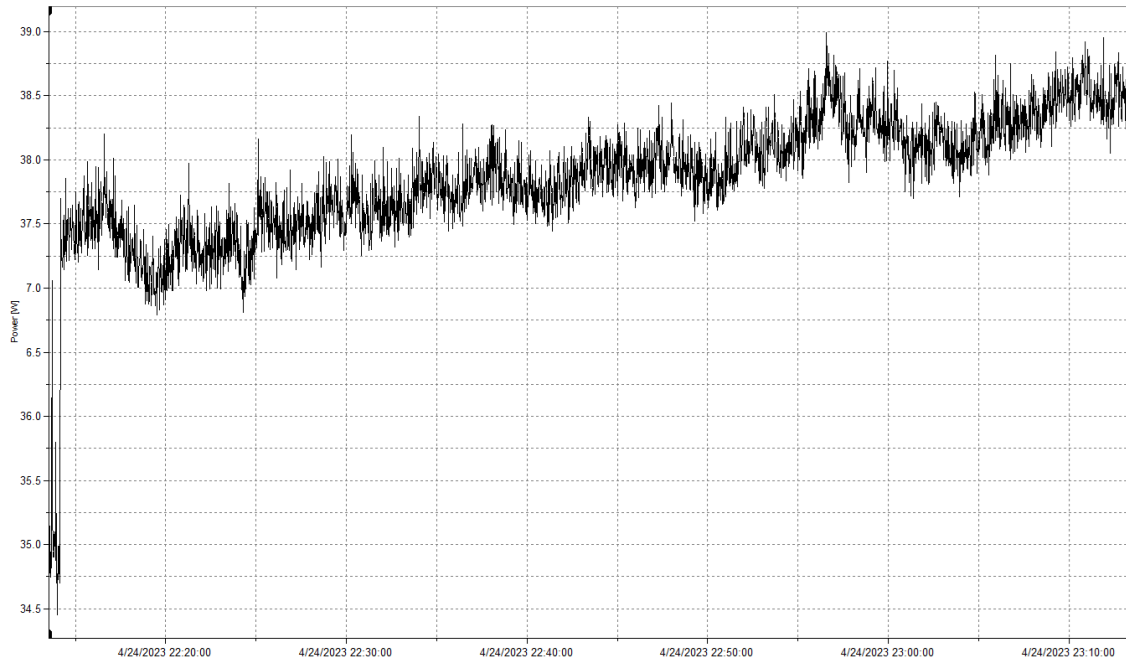


Figura 3.22 Consum putere pentru Playstation în modul stand-by

1.1.2 Proiectarea sistemului de achiziție de date (DAQ)

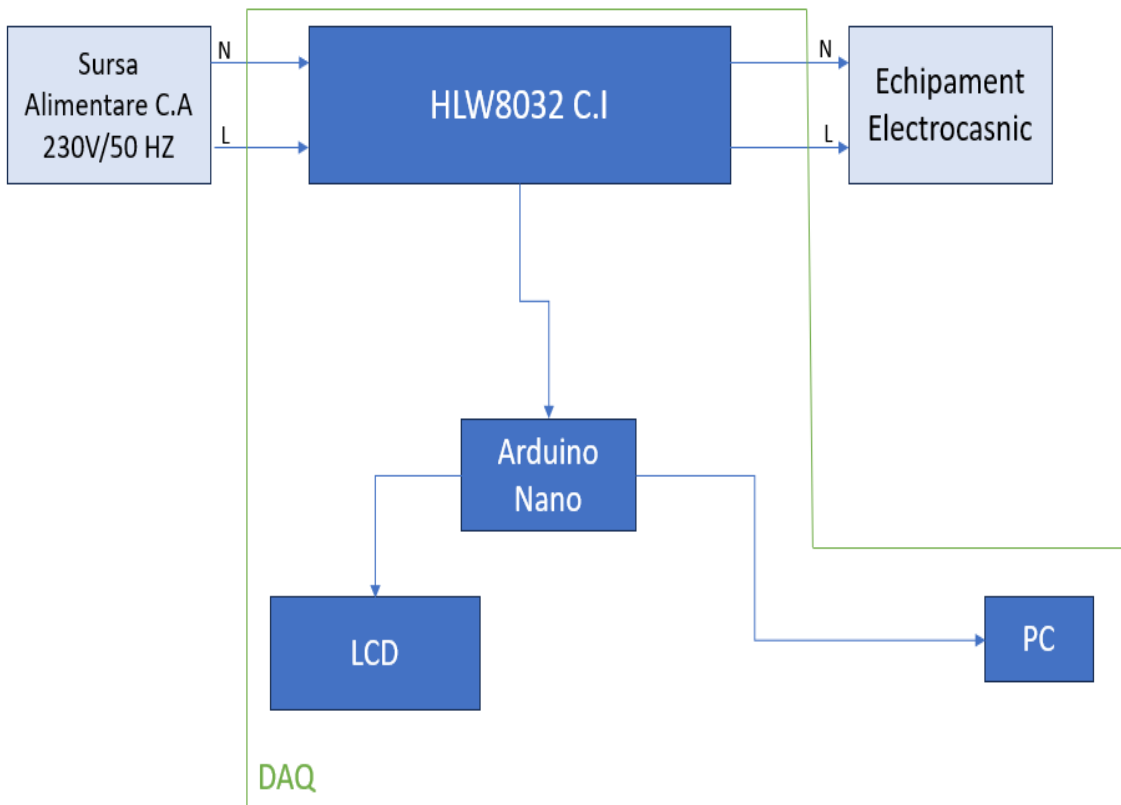


Figura 3.25 Sistem de achiziție date (DAQ)

Sistemul de achiziție a datelor (DAQ) prezentat în figura 3.25 este folosit pentru a obține măsurătorile echipamentelor electrocasnice. Acest sistem este construit în jurul unei platforme de dezvoltare Arduino Nano. Această placă colectează date de la circuitul integrat (CI) de măsurare a energiei HLW8032 prin intermediul unei conexiuni seriale (UART) și le transmite la un computer prin conexiune USB. Datele sunt apoi afișate și înregistrate folosind funcția de monitorizare serială din Arduino IDE. Nucleul configurației de monitorizare a energiei este CI-ul HLW8032, care excellează în măsurarea energiei electrice în fază unică și este evidențiat pentru lipsa necesității de calibrare. Această caracteristică îl face deosebit de util în proiectarea diverselor produse, cum ar fi contoarele inteligente de electricitate și prizele de putere inteligente. Componentele suport ale C.I.-ului includ alimentarea cu tensiune analogică a unui cip, intrări analogice pentru detectarea tensiunii și curentului și ieșire digitală. De asemenea, suportă transmisia datelor prin comunicație serială (figura 3.26).



Figura 3.26 Sistem de achiziție date complet asamblat (DAQ)

1.1.3 Măsurarea parametrilor electrici ai echipamentelor electrocasnice

1.1.3.1 Mașina de spălat Beko WUE81436 CST

Pentru măsurarea echipamentelor casnice a fost aleasă o mașină de spălat Beko WUE81436 CST care are un consum total de curent de 10 A și o putere totală de 2200W. Măsurătorile pentru acest echipament au fost efectuate atât în modul normal de funcționare cât și în modul de stand-by utilizand sistemul DAQ propus anterior folosind schema de conectare prezentată în figura 3.25. Consumul de energie electrică al mașinii de spălat se poate observa în tabelul 3.1 pentru ambele moduri de funcționare.

Tabel 3.1. Consum mașină spălat în modul normal de funcționare și stand-by

Echipament eletrocasnic	Consum	Timp
Masina spalat mod normal	0.73960 kWh	1 ora

Masina spalat mod stand-by	0.01927 kWh	1 ora
----------------------------	-------------	-------

1.1.3.2 Laptop Lenovo 15ACH6H

Al cincilea echipament ales pentru măsurare a fost laptopul Lenovo 15ACH6H, care are o putere totală de 300W (informațiile pentru puterea totală sunt oferite de producător). Măsurătorile pentru acest echipament au fost efectuate în modul normal de funcționare cât și în cel de stand-by. Consumul de energie electrică se poate observa în tabelul 3.5 pentru ambele moduri de funcționare.

Tabel 3.5. Consum laptop în modul normal de funcționare și stand-by

Echipament electrocasnic	Consum	Timp
Laptop mod normal	0.07224kWh	1 ora
Laptop mod stand-by	0.01373kWh	1 ora

Modul de așteptare al laptopului menționat în acest articol se referă la faptul că laptopul este oprit și conectat la rețeaua electrică. Este important de menționat că, indiferent de modul de așteptare al laptopului, fie că este în modul de așteptare convențional, cunoscut și sub denumirea de modul de repaus, fie în modul de hibernare, acesta este echipat cu o baterie internă care previne pierderea datelor și asigură o tranziție lină între modurile de operare.

1.1.3.3 Televizor LG 40UH630V

Al șaselea echipament ales pentru măsurare a fost televizorul LG 40UH630V. Măsurătorile pentru acest echipament au fost efectuate în modul normal de funcționare cât și în cel de stand-by. Consumul de energie electrică se poate observa în tabelul 3.6 pentru ambele moduri de funcționare.

Tabel 3.6. Consum TV în modul normal de funcționare și stand-by

Echipament electrocasnic	Consum	Timp
TV mod normal	0.07004kWh	1 ora
TV mod stand-by	0.00815kWh	1 ora

1.1.3.4 Sony Playstation 5 CFI-1003

Al șaptelea echipament ales pentru măsurare a fost consola Sony Playstation 5 CFI-1003A. Măsurătorile pentru acest echipament au fost efectuate în modul normal de funcționare cât și în cel de stand-by. Consumul de energie electrică se poate observa în tabelul 3.7 pentru ambele moduri de funcționare.

Tabel 3.7. Consum Playstation 5 în modul normal de funcționare și stand-by

Echipament electrocasnic	Consum	Timp
Playstation 5 mod normal	0.21241kWh	1 ora
Playstation 5 mod stand-by	0.03658kWh	1 ora

1.2 Metode numerice de aproximare a caracteristicilor și modelarea echipamentelor

Pentru a obține o aproximare cât mai exactă a caracteristicilor echipamentelor, am utilizat funcția "polyfit" din biblioteca pachetului de programe Matlab, care furnizează coeficienții pentru un polinom de aproximare $P(x)$ de gradul n . Am verificat rezultatele interpolării obținute în Matlab folosind programul PyCharm respectiv biblioteca NumPy. Din cele două aplicații Matlab și PyCharm s-au selectat polinoamele de aproximare ale căror valori ale erorii medii pătratice R^2 au fost cele mai mari (mai apropiate de valoarea 1) iar aceste valori obținute cu cele două programe au fost extrem de apropiate, uneori chiar identice așa cum vor fi prezentate în tabelele din paragrafele următoare.

MATLAB și Libraria NumPy au fost alese datorită puterii de a gestiona seturi mari de date eficient și facilității pe care o au pentru calculul paralel. Acest lucru le face potrivite pentru sarcinile de calcul de înaltă performanță, unde interpolările ar putea necesita a fi efectuate pe volume mari de date.

1.2.1 Mașină de spălat Beko WUE81436 CST

Pentru aproximarea caracteristicilor mașinii de spălat în modul normal de funcționare, am selectat aproximativ 250 de eșantioane din măsurătorile prezentate în subcapitolul 3.1.2.1. Au fost evaluate caracteristicile atât curentul absorbit reprezentat în Figurile 3.56 și 3.57, cât și consumul de energie reprezentat în Figurile 3.58 și 3.59. În reprezentările grafice din aceste figuri, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv de PyCharm.

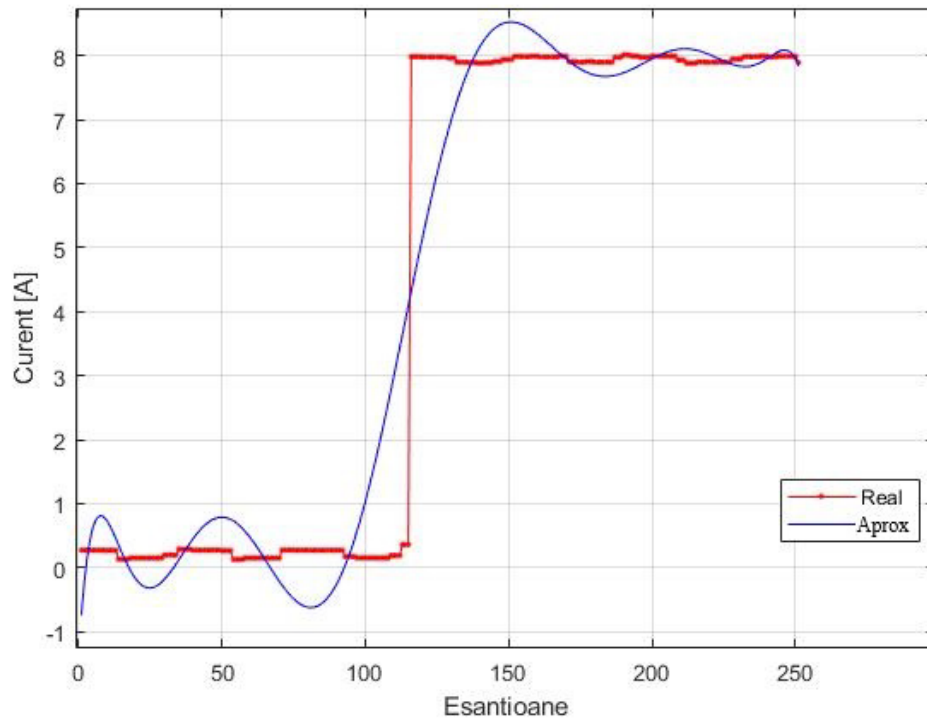


Figura 3.56 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit de mașina de spălat în modul normal de funcționare

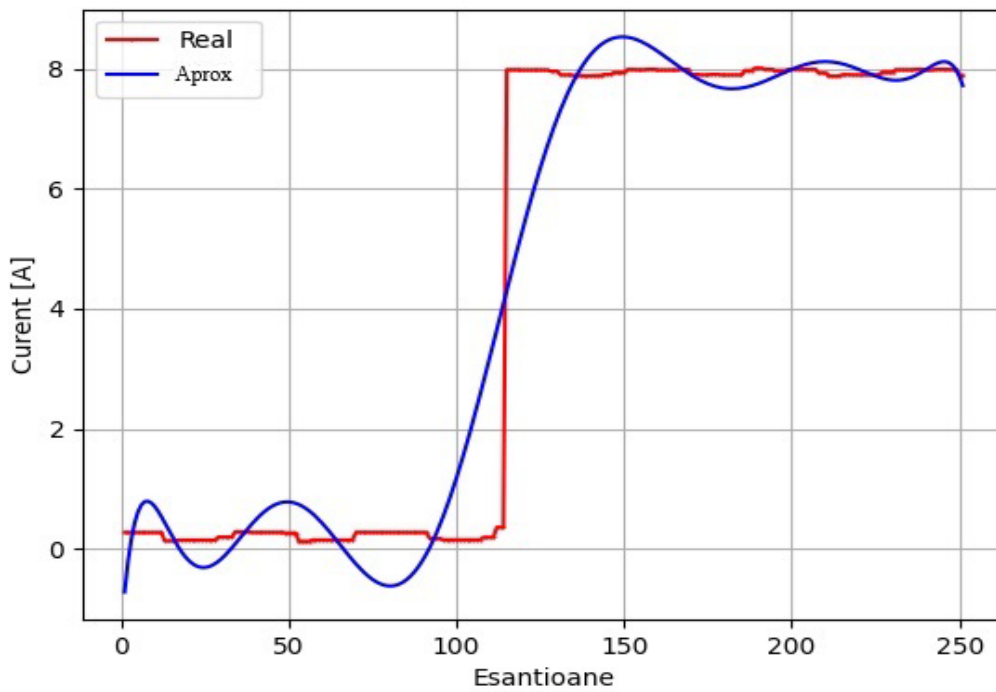


Figura 3.57 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit de mașina de spălat în modul normal de funcționare

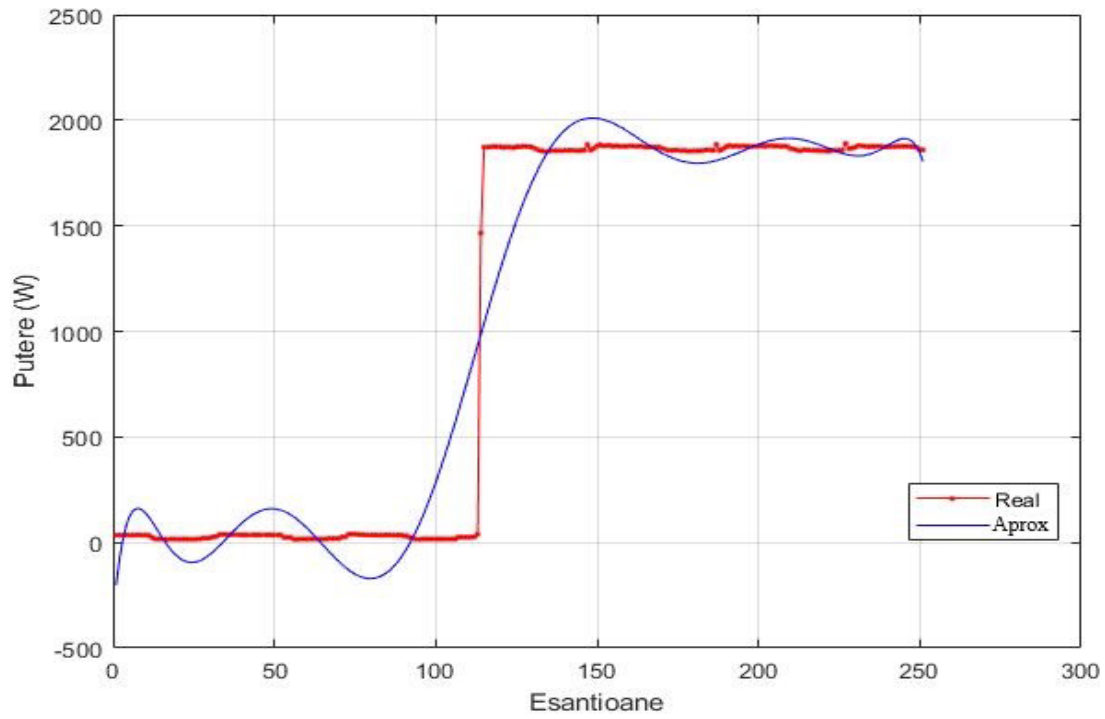


Figura 3.58 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al mașinii de spălat în modul normal de funcționare

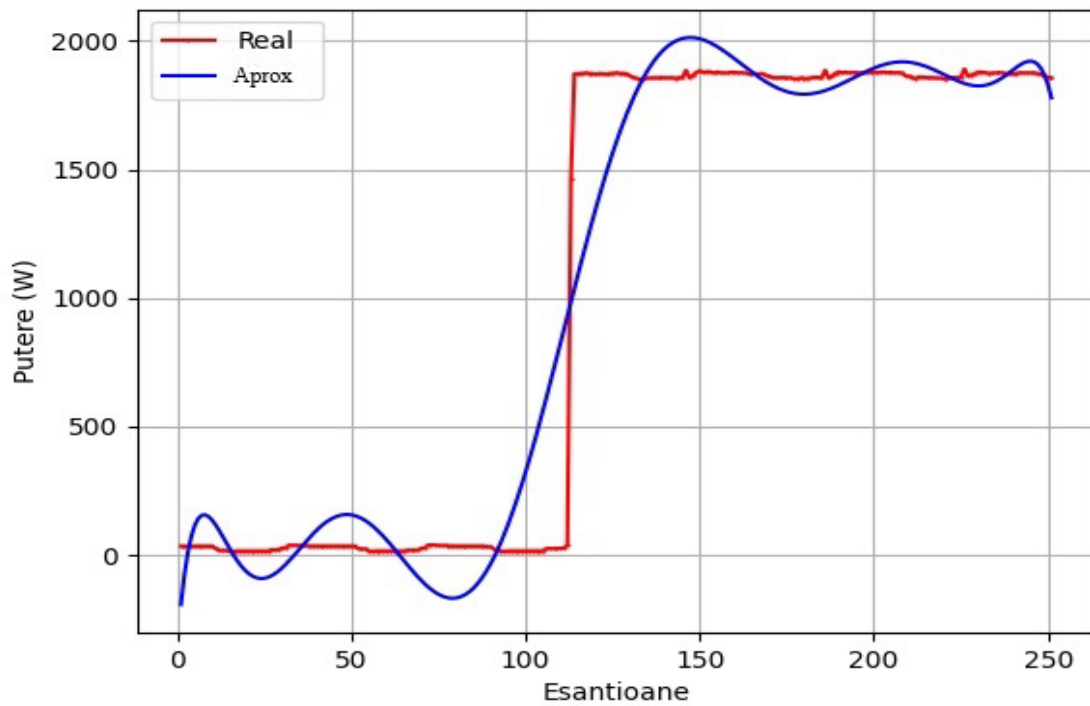


Figura 3.59 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al mașinii de spălat în modul normal de funcționare

În modul normal de funcționare eroarea pătratică R^2 calculată de Matlab se aliniază îndeaproape cu rezultatele obținute de programul PyCharm, atât pentru caracteristica de curent, cât și pentru cea a consumului de energie așa cum sunt prezentate valorile din tabelul 3.9.

Pentru aproximarea caracteristicilor mașinii de spălat, am selectat aproximativ 250 de eșantioane din măsurătorile prezentate în subcapitolul 3.1.2.1 în modul stand-by de funcționare. Au fost evaluate caracteristicile atât pentru curentul absorbit reprezentat în figurile 3.60 și 3.61, cât și pentru consumul de energie reprezentat în figurile 3.62 și 3.63.

În reprezentările grafice din aceste figuri, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv de PyCharm.

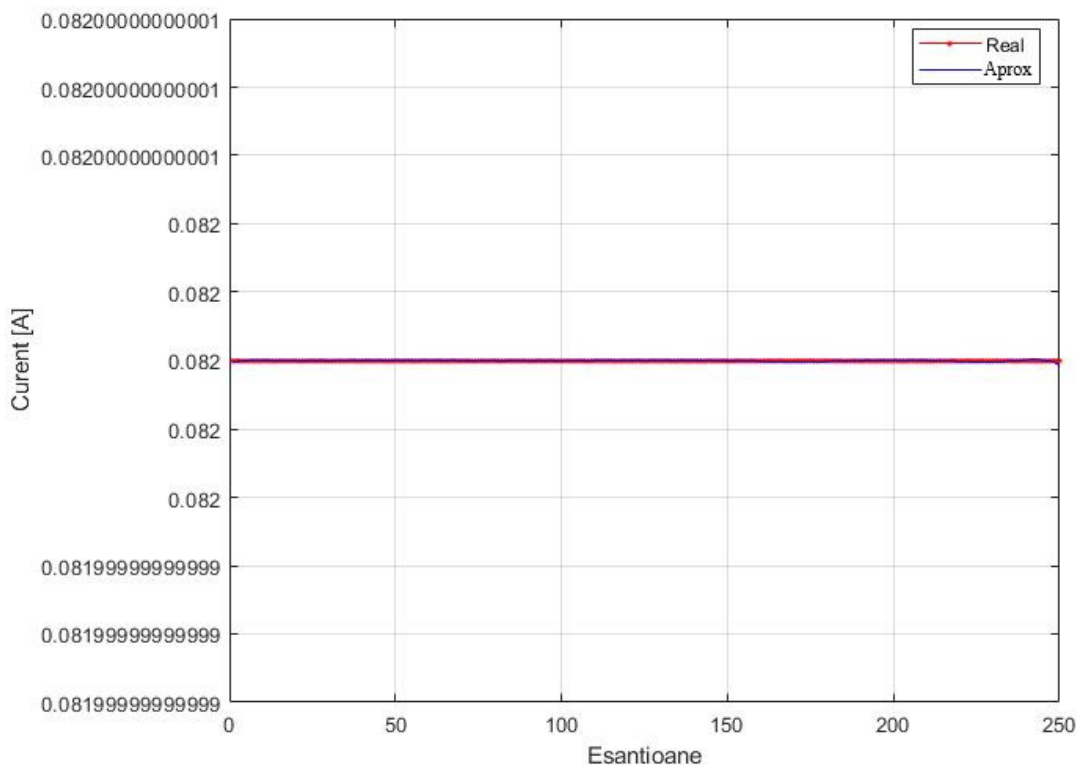


Figura 3.60 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit de mașină de spălat în modul stand-by

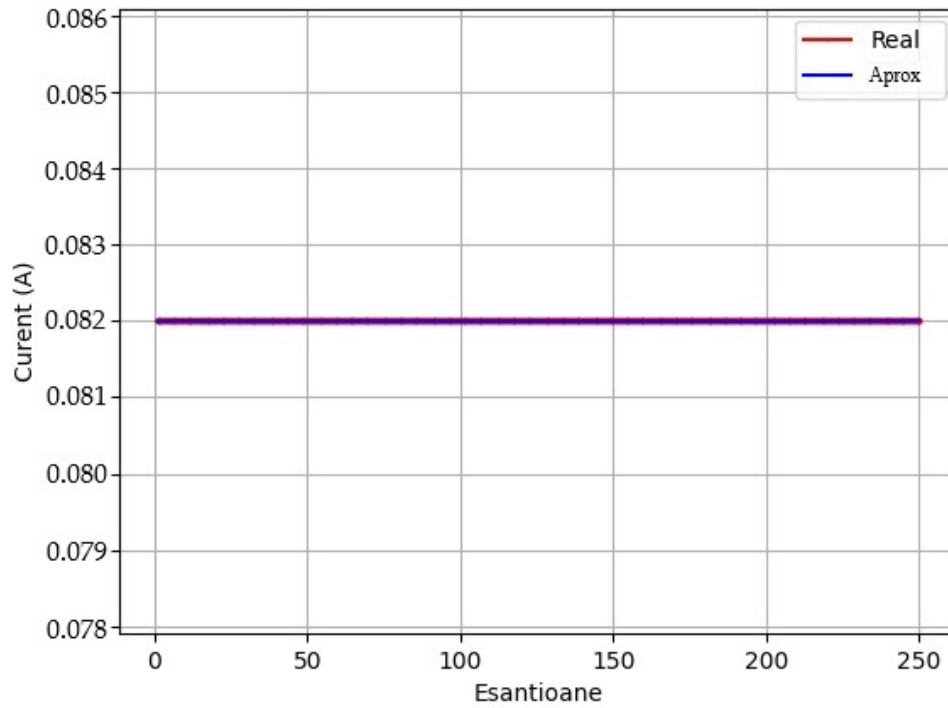


Figura 3.61 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit de mașină de spălat în modul stand-by

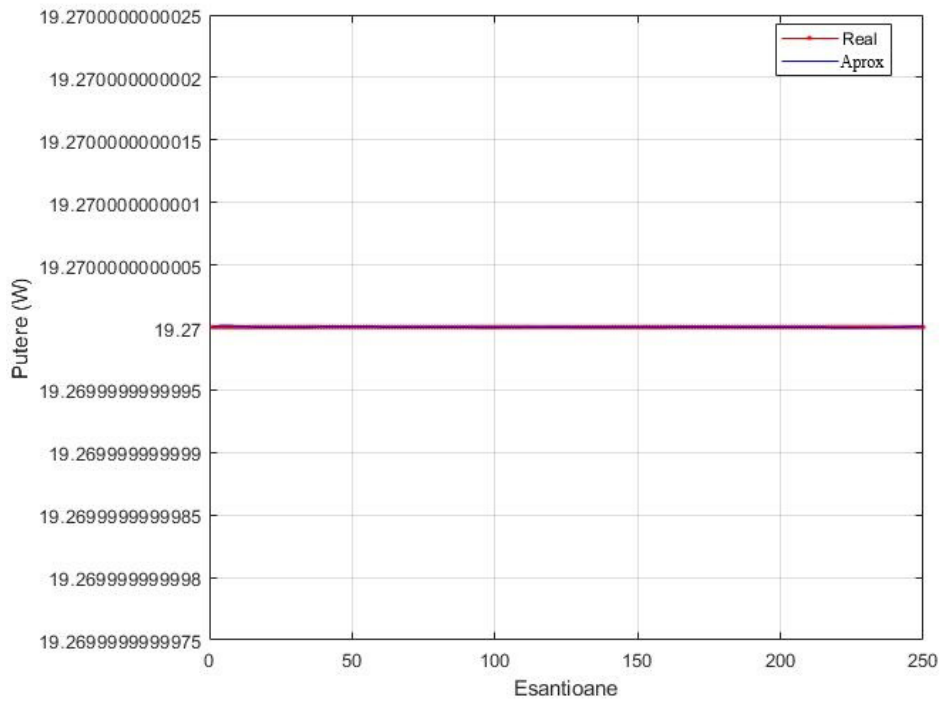


Figura 3.62 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al mașinii de spălat în modul stand-by

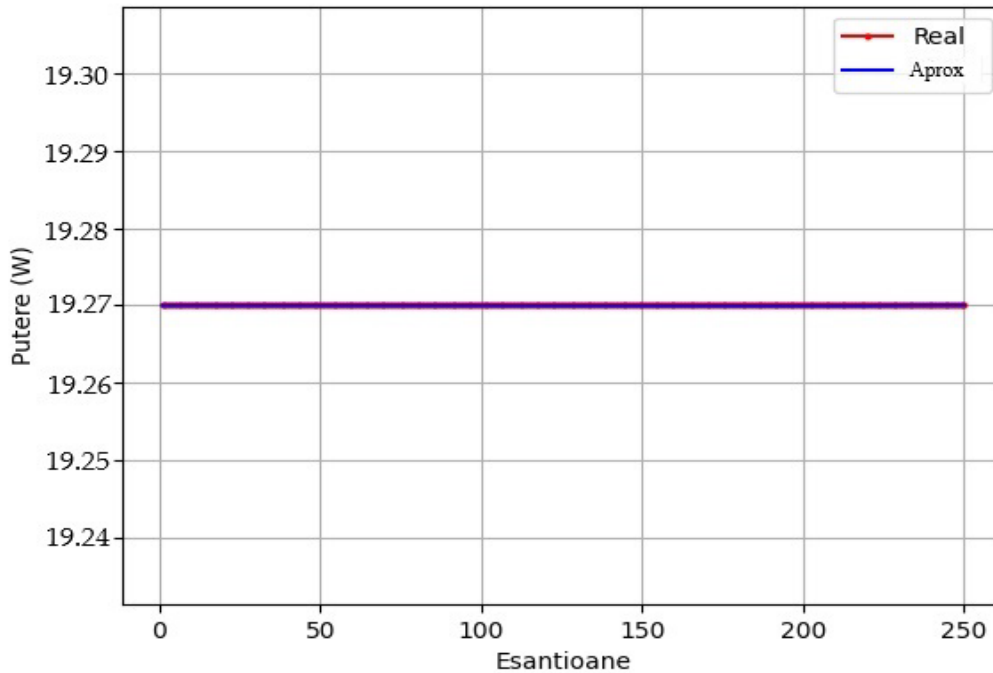


Figura 3.63 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al mașinii de spălat în modul stand-by
 În modul stand-by de funcționare eroarea pătratică R^2 calculată de Matlab este identică cu rezultatele obținute de programul PyCharm, atât pentru caracteristica de curent, cât și pentru cea a consumului de energie așa cum sunt prezentate valorile din tabelul 3.10.

1.2.2 Laptop Lenovo 15ACH6H

Pentru aproximarea caracteristicilor laptopului, am selectat în modul normal de funcționare aproximativ 3000 de eșantioane iar pentru modul stand-by am selectat 20 de eșantioane preluate din măsurătorile prezentate în subcapitolul 3.1.2.5. Pentru modul normal de funcționare am evaluat astfel caracteristicile atât pentru curentul absorbit reprezentat în figurile 3.76 și 3.77, cât și pentru consumul de energie reprezentat în figurile 3.78 și 3.79. În reprezentările grafice din aceste figuri, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv de PyCharm.

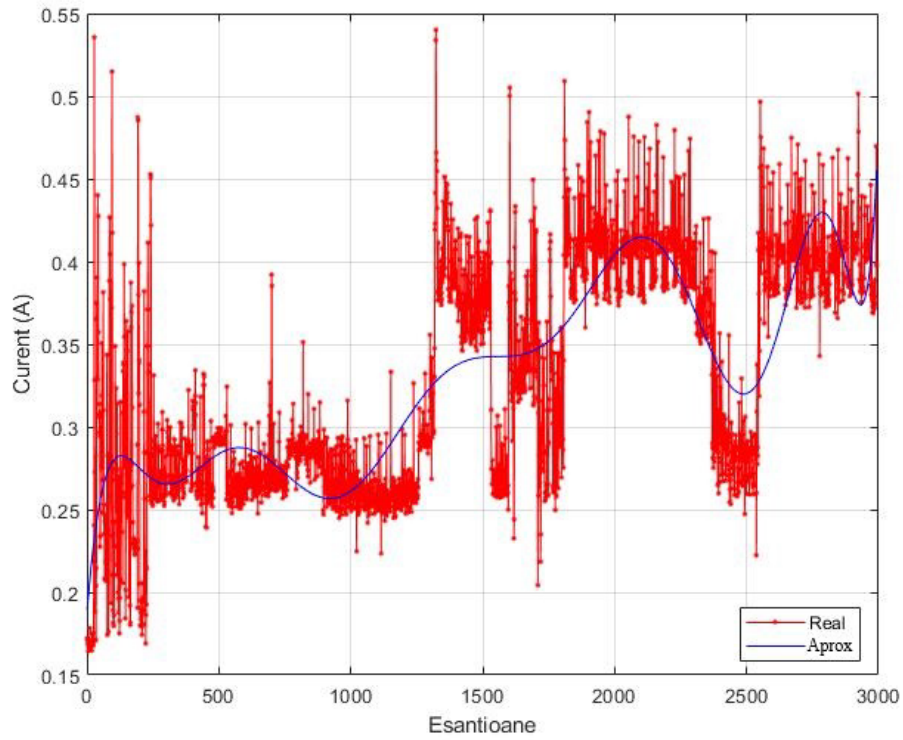


Figura 3.76 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit de laptop în modul normal de funcționare

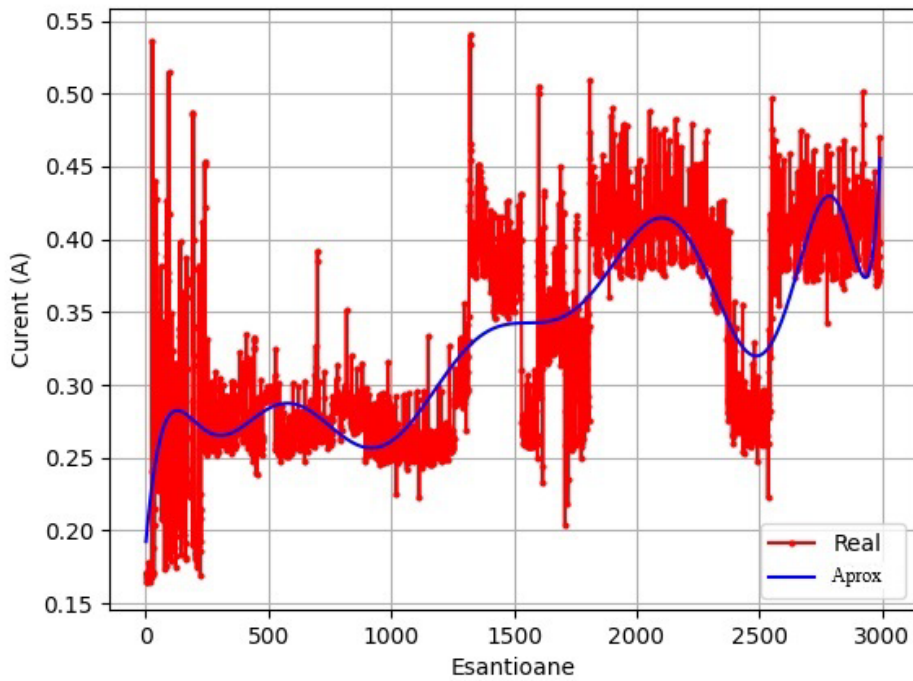


Figura 3.77 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit de laptop în modul normal de funcționare

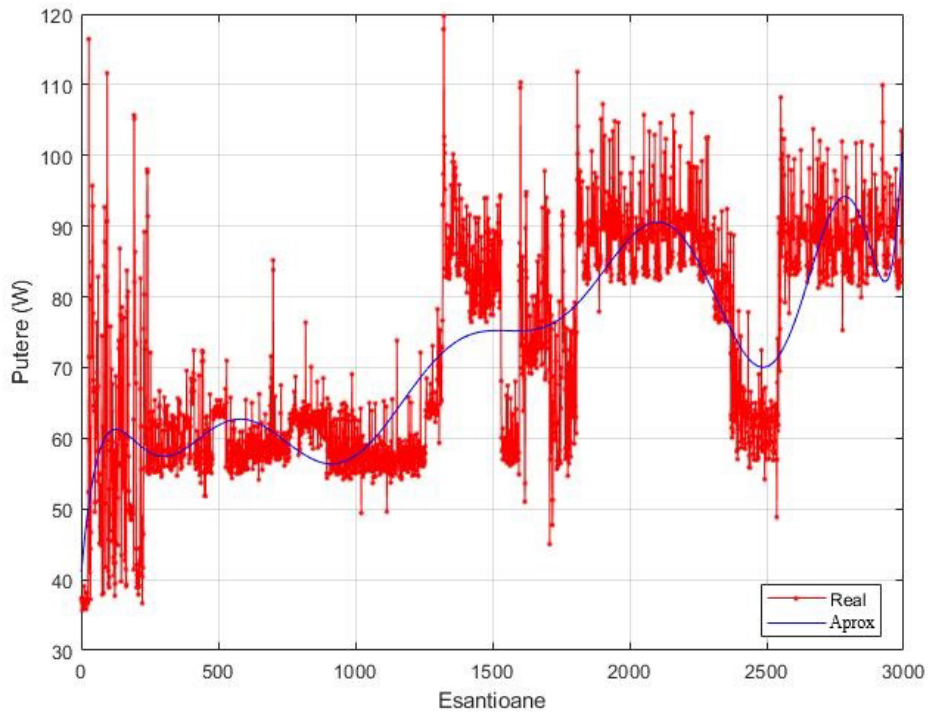


Figura 3.78 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al laptopului în modul normal de funcționare

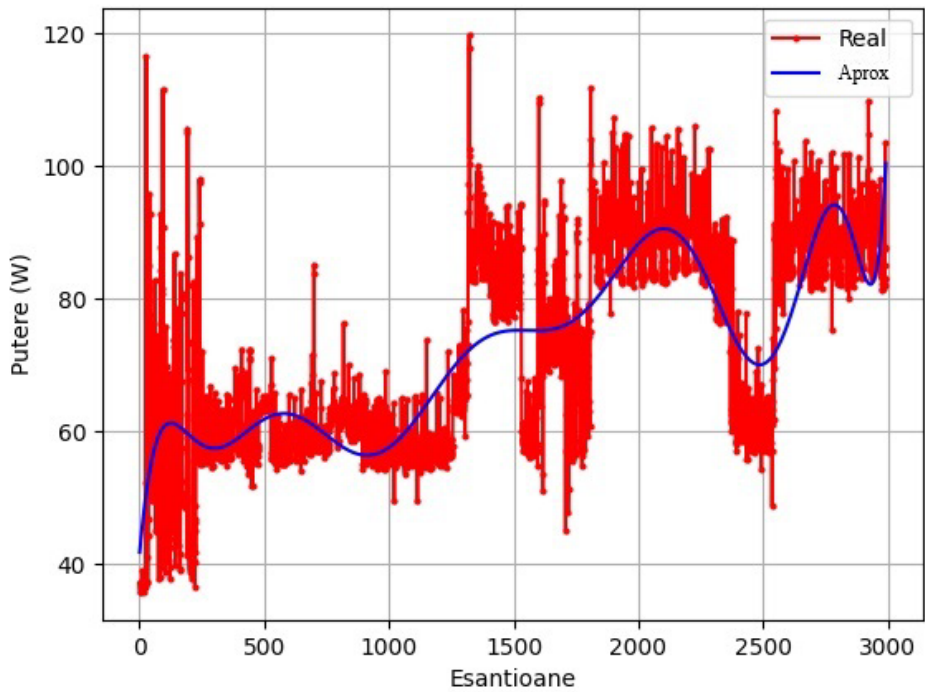


Figura 3.79 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al laptopului în modul normal de funcționare

Valorile erorii pătratice R^2 calculată de Matlab în modul normal de funcționare al laptopului sunt extrem de apropiate de rezultatele obținute de programul PyCharm, atât pentru caracteristica de curent, cât și pentru cea a consumului de energie așa cum sunt prezentate în tabelul 3.14.

Pentru modul de funcționare stand-by am evaluat caracteristicile atât pentru curentul absorbit reprezentat în figurile 3.80 și 3.81, cât și pentru consumul de energie reprezentat în figurile 3.82 și 3.83. În reprezentările grafice din aceste figuri, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv de PyCharm.

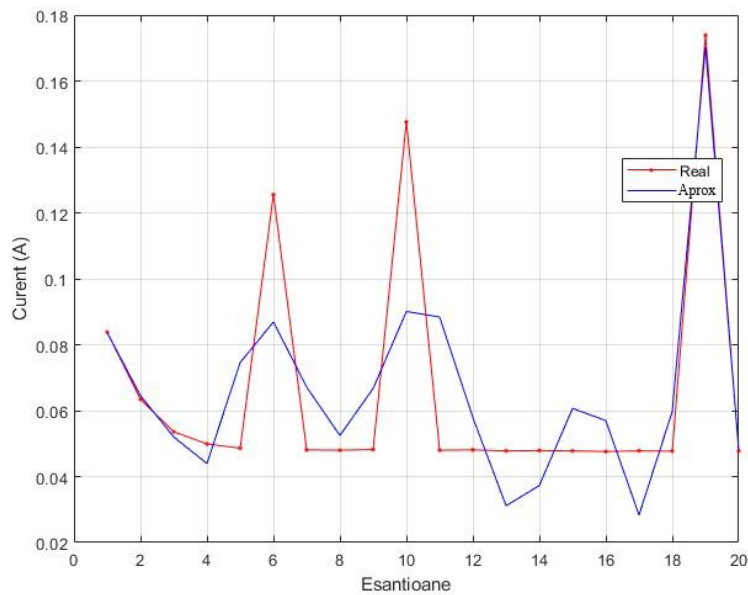


Figura 3.80 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit de laptop în modul stand-by

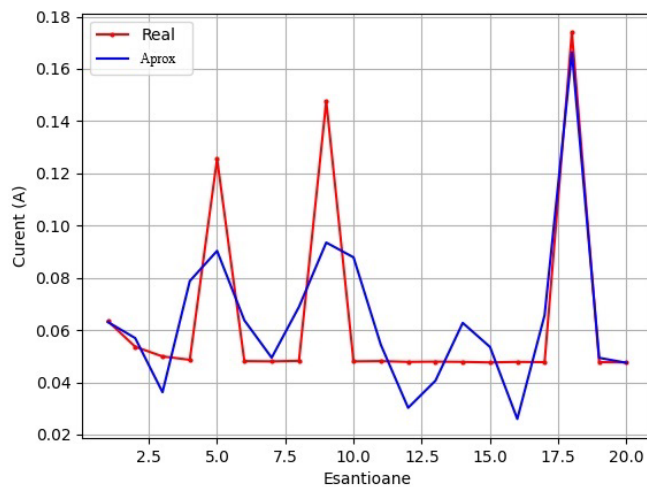


Figura 3.81 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit al laptopului în mod stand-by

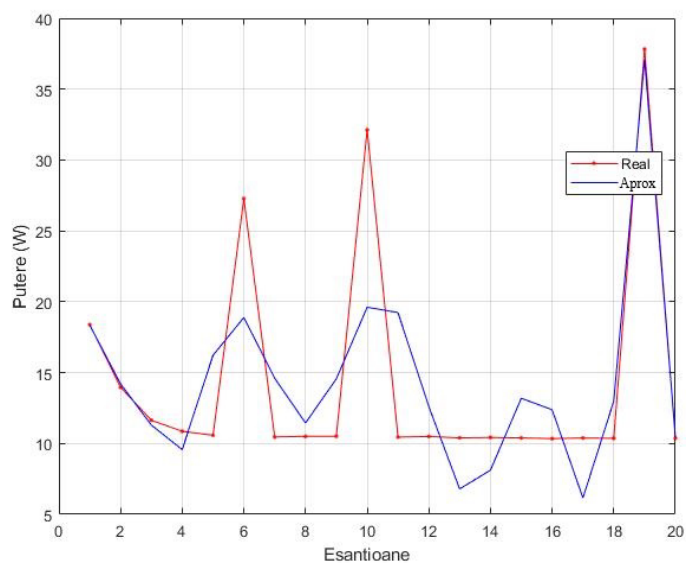


Figura 3.82 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al laptopului în mod stand-by

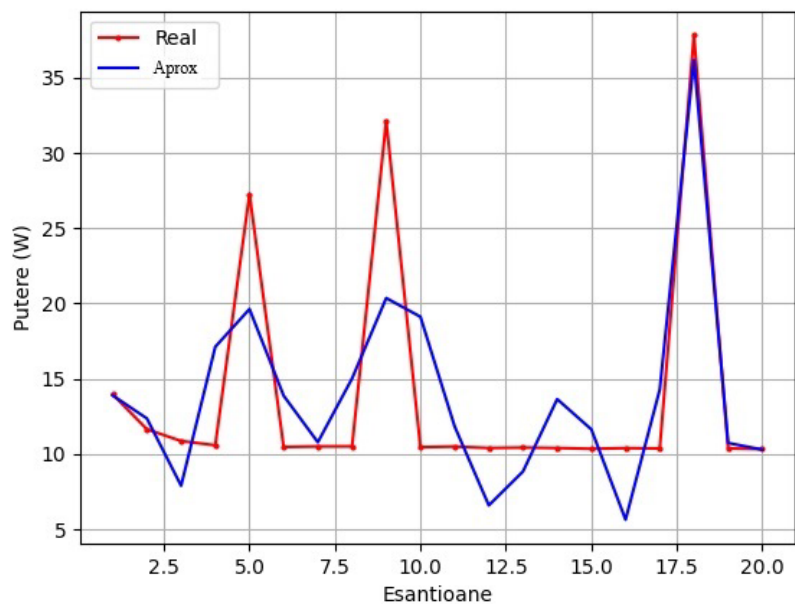


Figura 3.83 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al laptopului în mod stand-by

Valorile erorii pătratice R^2 calculată de Matlab în modul stand-by de funcționare al laptopului sunt apropiate de rezultatele obținute de programul PyCharm, atât pentru caracteristica de curent, cât și pentru cea a consumului de energie așa cum sunt prezentate în tabelul 3.15.

1.2.3 Televizor LG 40UH630V

Pentru aproximarea caracteristicilor televizorului, am selectat în modul normal de funcționare 250 de eșantioane iar pentru modul stand-by am selectat 200 de eșantioane din măsurătorile prezentate în subcapitolul 3.1.2.6. Pentru modul normal de funcționare am evaluat astfel caracteristicile atât pentru curentul absorbit reprezentat în figurile 3.84 și 3.85, cât și pentru consumul de energie reprezentat în figurile 3.86 și 3.87. În reprezentările grafice din aceste figuri, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv de PyCharm.

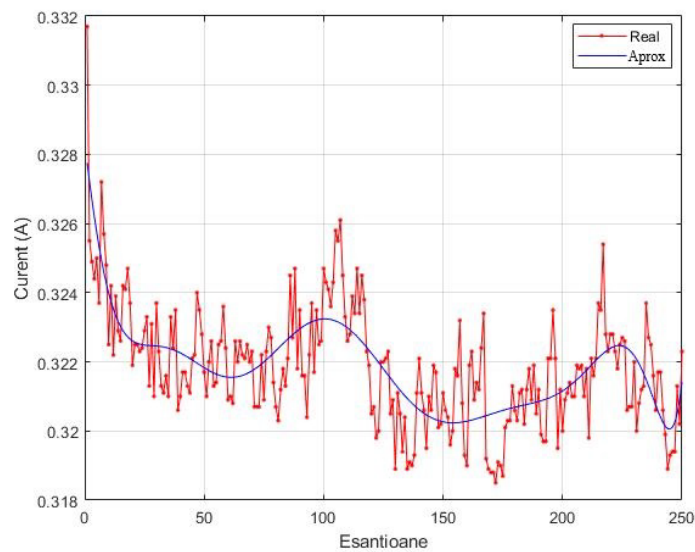


Figura 3.84 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit de TV în modul normal de funcționare

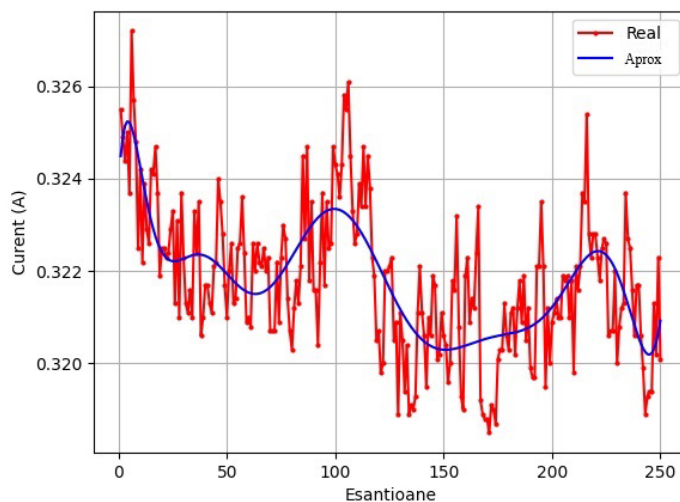


Figura 3.85 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit de TV în modul normal de funcționare

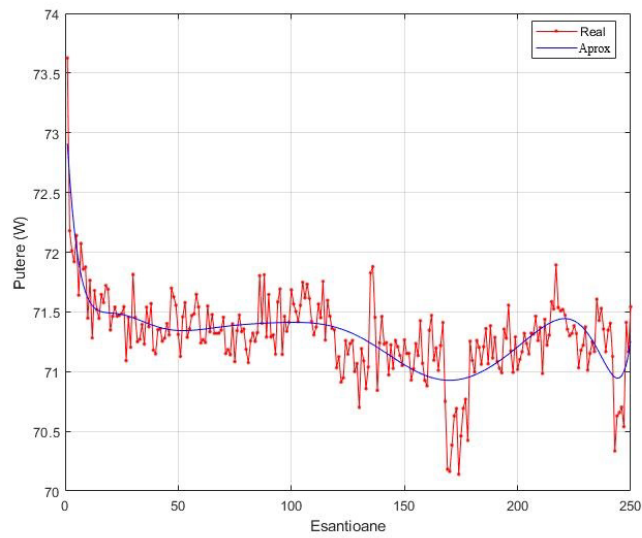


Figura 3.86 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al TV în mod normal de funcționare

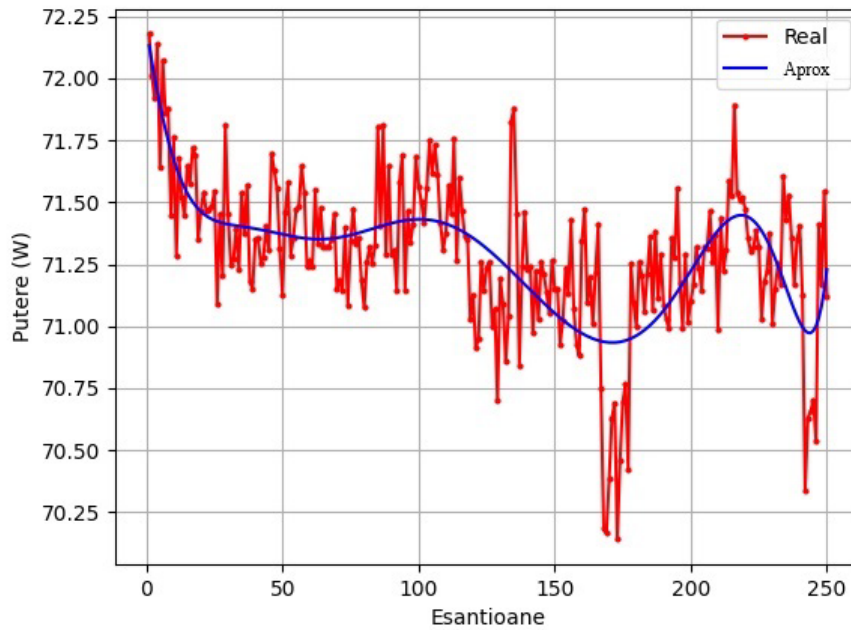


Figura 3.87 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al TV în mod normal de funcționare

Valorile erorii pătratice R^2 calculată de Matlab în modul normal de funcționare al televizorului sunt apropiate de rezultatele obținute de programul PyCharm, atât pentru caracteristica de curent, cât și pentru cea a consumului de energie așa cum sunt prezentate în tabelul 3.16.

Pentru modul de funcționare stand-by am evaluat caracteristicile atât pentru curentul absorbit reprezentat în figurile 3.88 și 3.89, cât și pentru consumul de energie reprezentat în figurile 3.90 și 3.91. În reprezentările grafice din aceste figuri, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv de PyCharm.

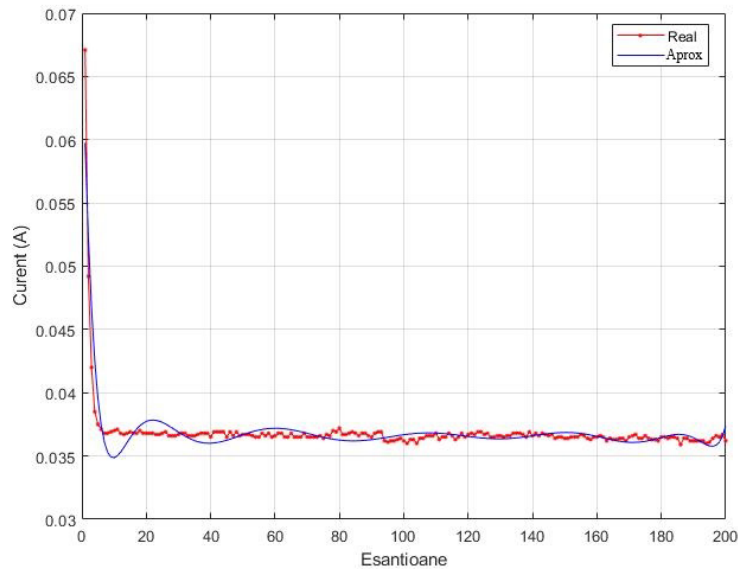


Figura 3.88 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit de TV în modul stand-by

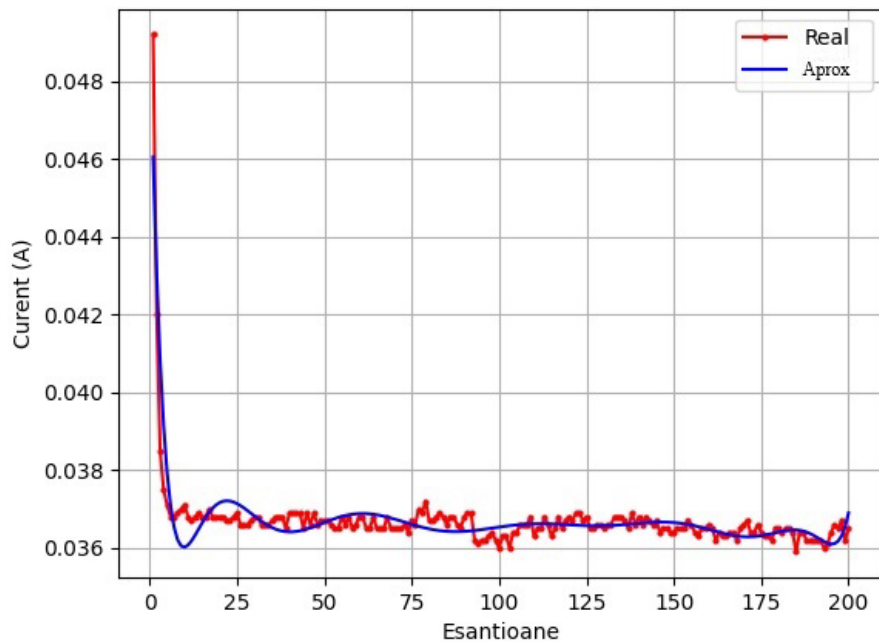


Figura 3.89 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit de TV în modul stand-by

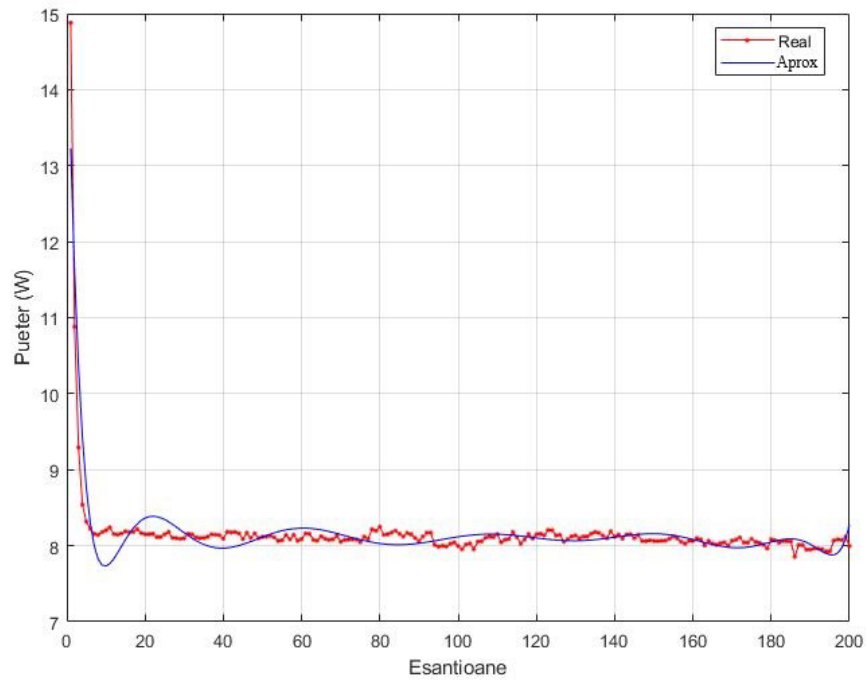


Figura 3.90 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al TV în mod stand-by

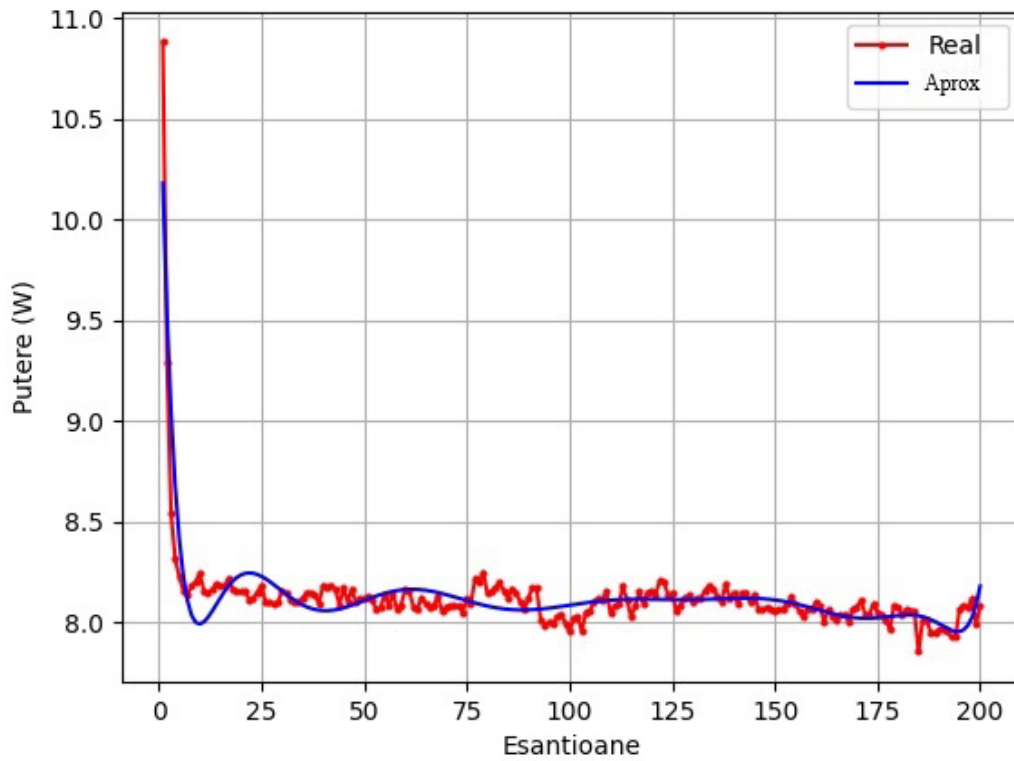


Figura 3.91 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al TV în mod stand-by

Valorile erorii pătratice R^2 calculată de Matlab în modul stand-by de funcționare al TV sunt extrem de apropiate de rezultatele obținute de programul PyCharm, atât pentru caracteristica de curent, cât și pentru cea a consumului de energie așa cum sunt prezentate în tabelul 3.17.

1.2.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A

Pentru determinarea polinoamelor de aproximare ale parametrilor electrici ai Playstation 5, am selectat pentru modul normal de funcționare 500 de eșantioane iar pentru modul stand-by am selectat 250 de eșantioane preluate din măsurătorile prezentate în subcapitolul 3.1.2.7. S-au evaluat, pentru modul normal respectiv stand-by de funcționare, atât curentul absorbit (reprezentat figurile 3.92 și 3.93), cât și consumul de energie (reprezentat figurile 3.94 și 3.95). În reprezentarea grafică, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv Pycharm.

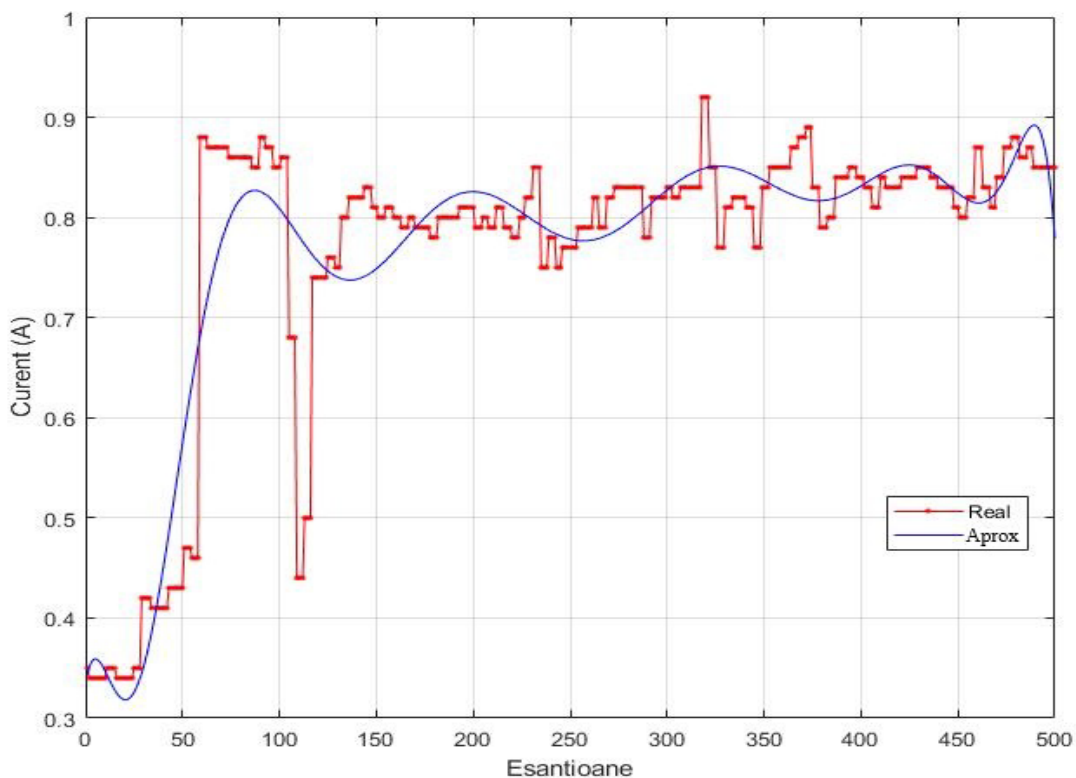


Figura 3.92 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit al Playstation 5 în modul normal de funcționare

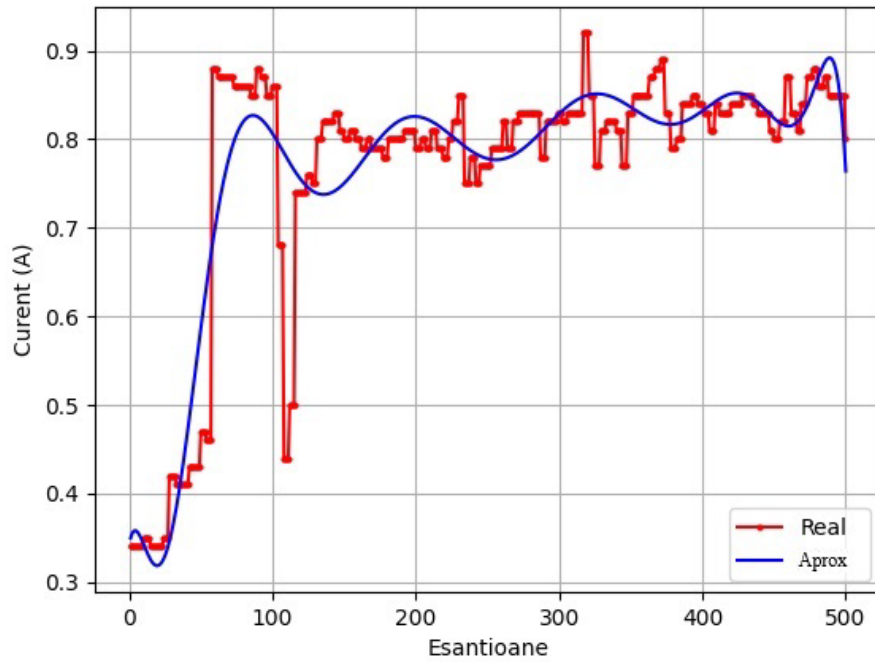


Figura 3.93 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit al Playstation 5 în modul normal de funcționare

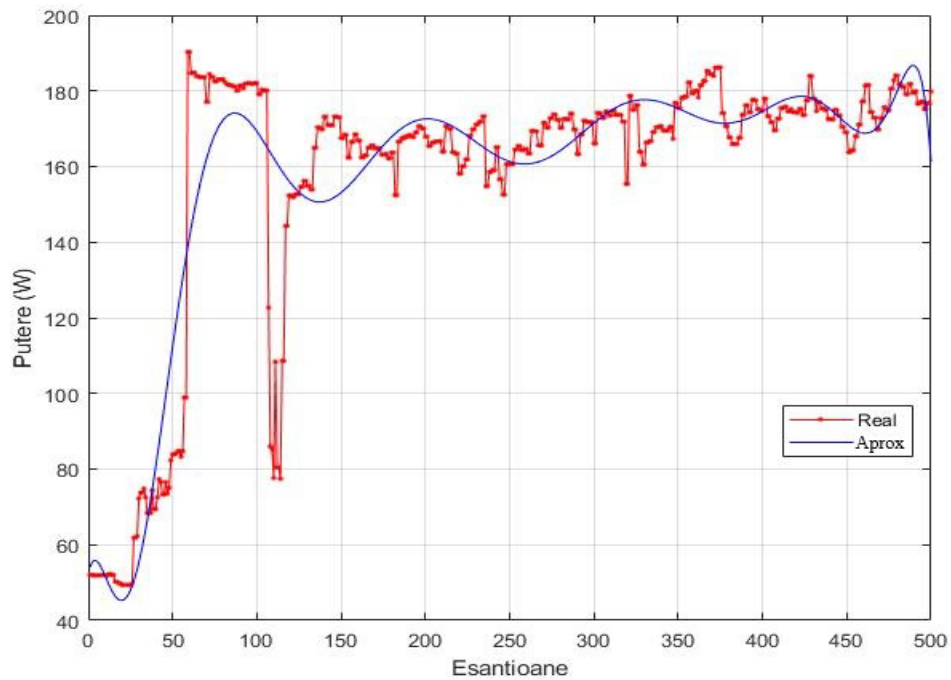


Figura 3.94 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al Playstation 5 în modul normal de funcționare

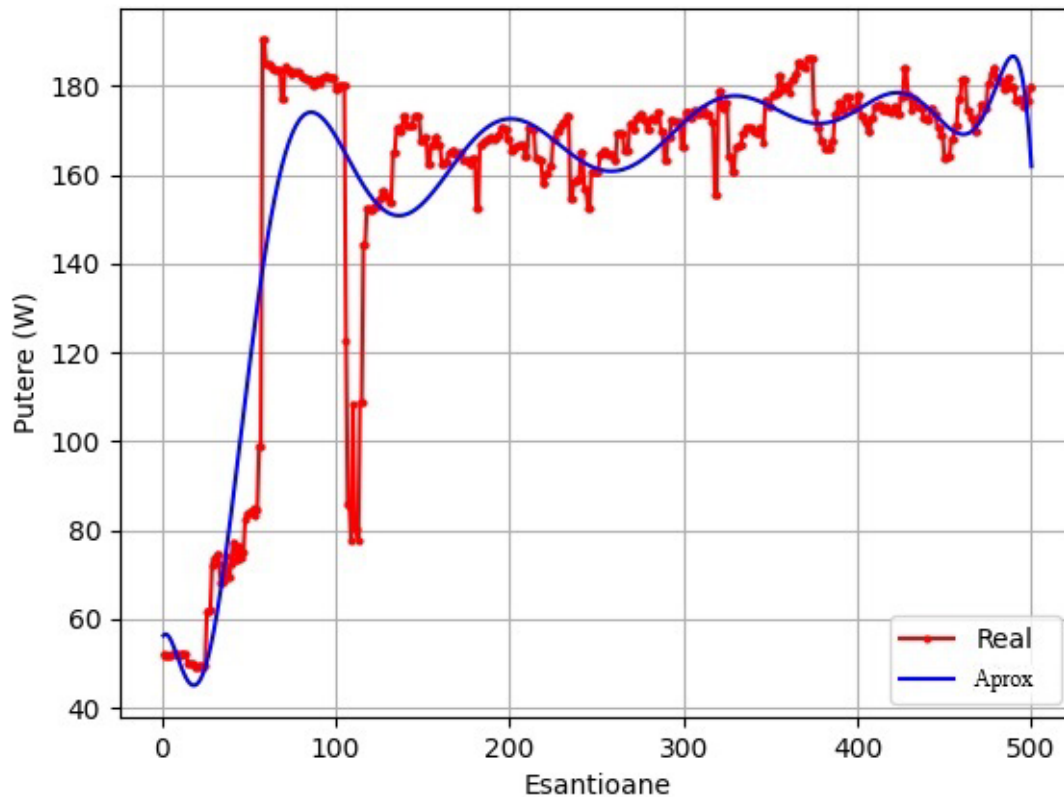


Figura 3.95 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al Playstation 5 în modul normal de funcționare

Valorile erorii pătratice R^2 calculată de Matlab în modul normal de funcționare al Playstation 5 sunt extrem de apropiate de rezultatele obținute de programul PyCharm, atât pentru caracteristica de curent, cât și pentru cea a consumului de energie așa cum sunt prezentate în tabelul 3.18.

Pentru modul de funcționare stand-by am evaluat caracteristicile atât pentru curentul absorbit reprezentat în figurile 3.96 și 3.97, cât și pentru consumul de energie reprezentat în figurile 3.98 și 3.99. În reprezentările grafice din aceste figuri, linia roșie ilustrează setul de valori măsurate, în timp ce linia albastră reprezintă funcția de aproximare generată de Matlab respectiv de PyCharm.

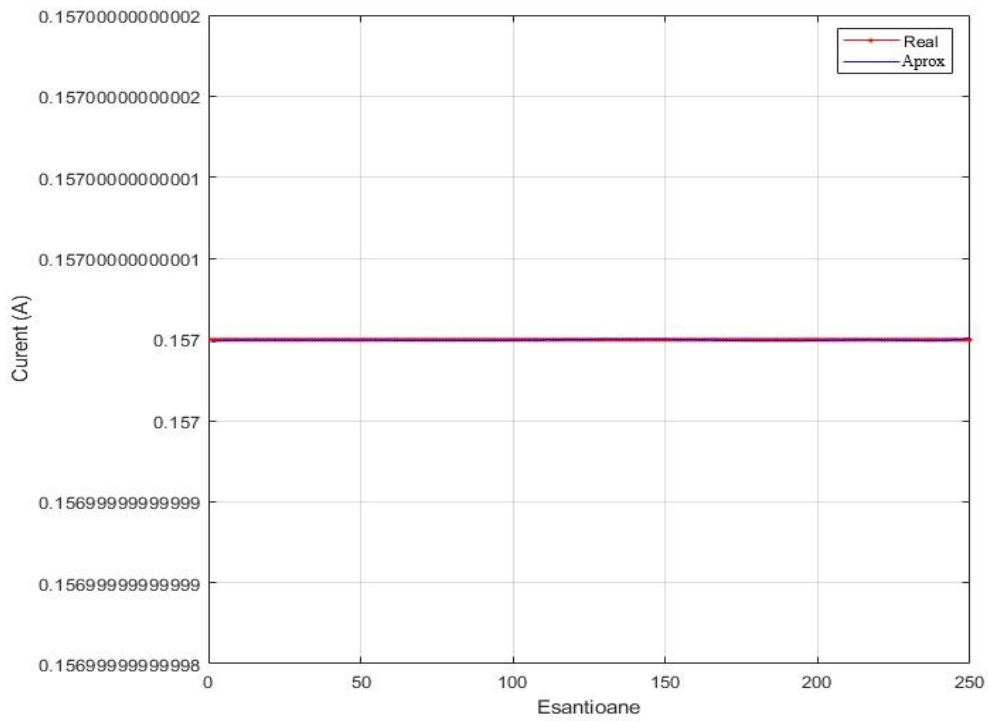


Figura 3.96 Interpolarea Matlab pentru curentul absorbit al Playstation 5 în modul stand-by

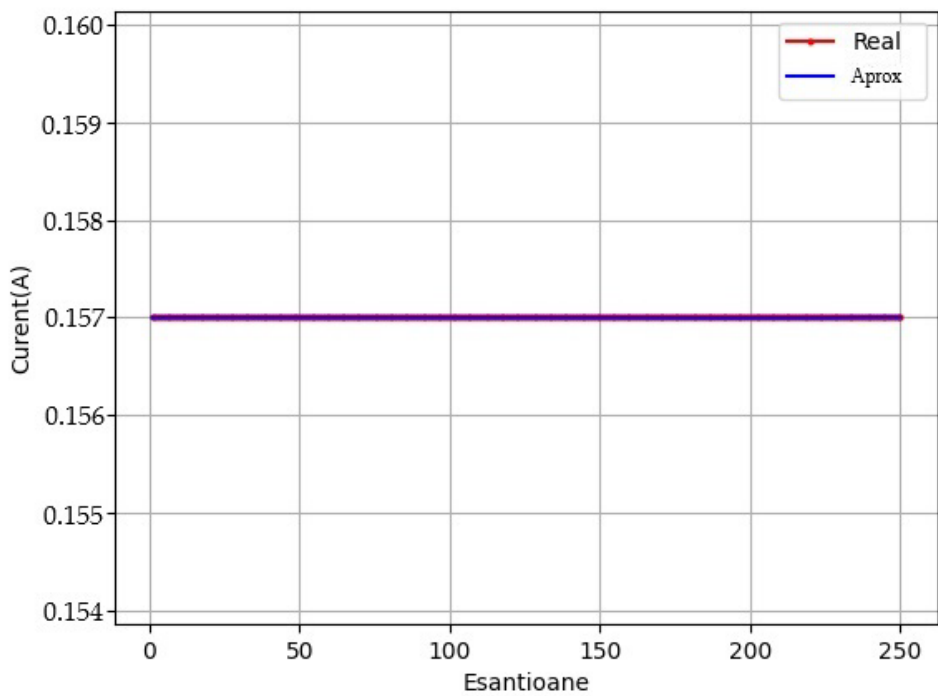


Figura 3.97 Interpolarea Pycharm pentru curentul absorbit al Playstation 5 în modul stand-by

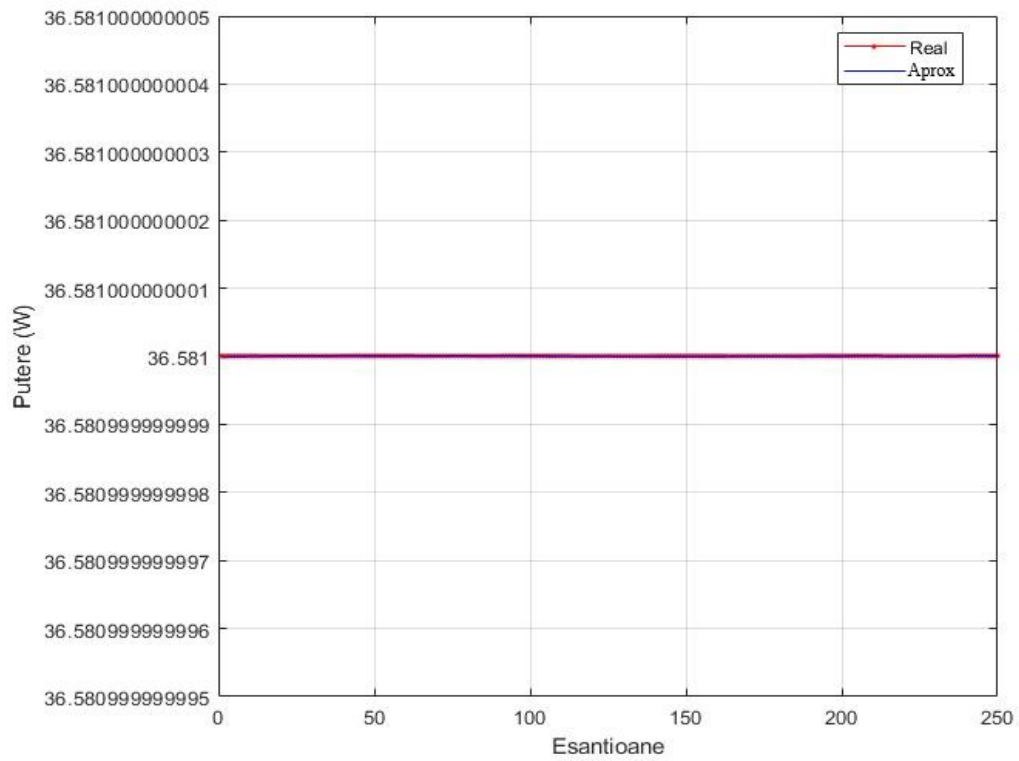


Figura 3.98 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al Playstation 5 în modul stand-by

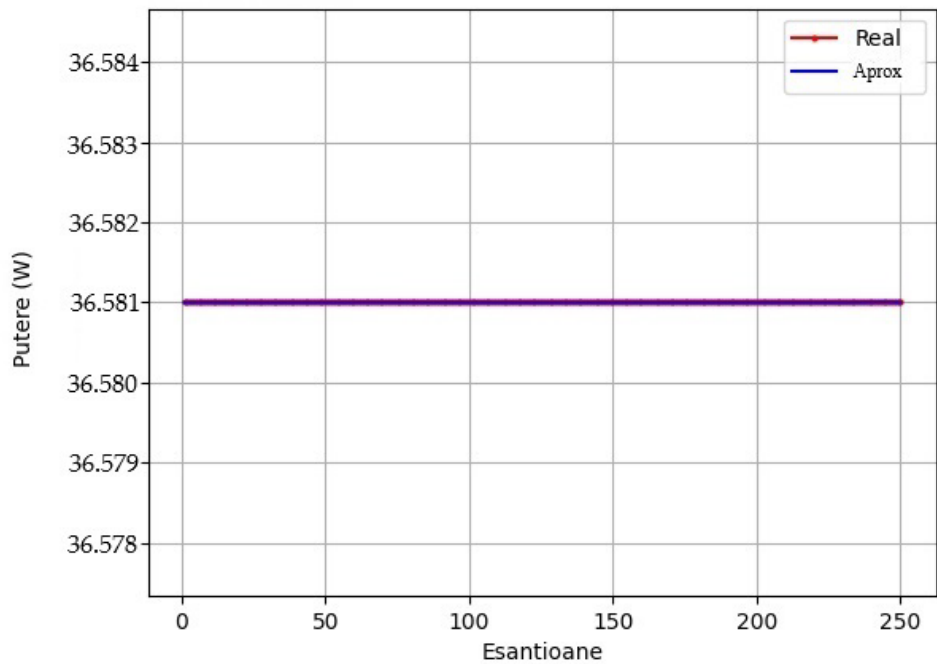


Figura 3.99 Interpolarea Pycharm pentru consumul de energie al Playstation 5 în modul stand-by

1.3 Sisteme automate de control și optimizare

1.3.1 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 1

Pentru etapa inițială de dezvoltare (faza de concept), au fost alese diverse componente de tip „off the shelf” pentru a simplifica procesul de implementare și pentru a accelera dezvoltarea. Obiectivul principal a fost obținerea unor măsurători cât mai precise ale consumului de energie în modul de funcționare stand-by și identificarea potențialelor economii de energie. Componentele cheie utilizate au inclus un microcontroler AVR (placa de dezvoltare Arduino Nano), un modul releu care suportă tensiuni de până la 250V și curenți de până la 10A, modulul Bluetooth HC-06, un buton și un senzor de curent proiectat pentru detectarea valorilor mici de curent.

Așa cum este ilustrat în figurile 3.104 și 3.105, schema sistemului de reducere a consumului de energie include modulul releu și senzorul de curent plasate între sursa de alimentare CA și aparatele electrocasnice. Sistemul este gestionat printr-o aplicație mobilă conectată prin Bluetooth, permițând configurarea și controlul funcțiilor sistemului [94].

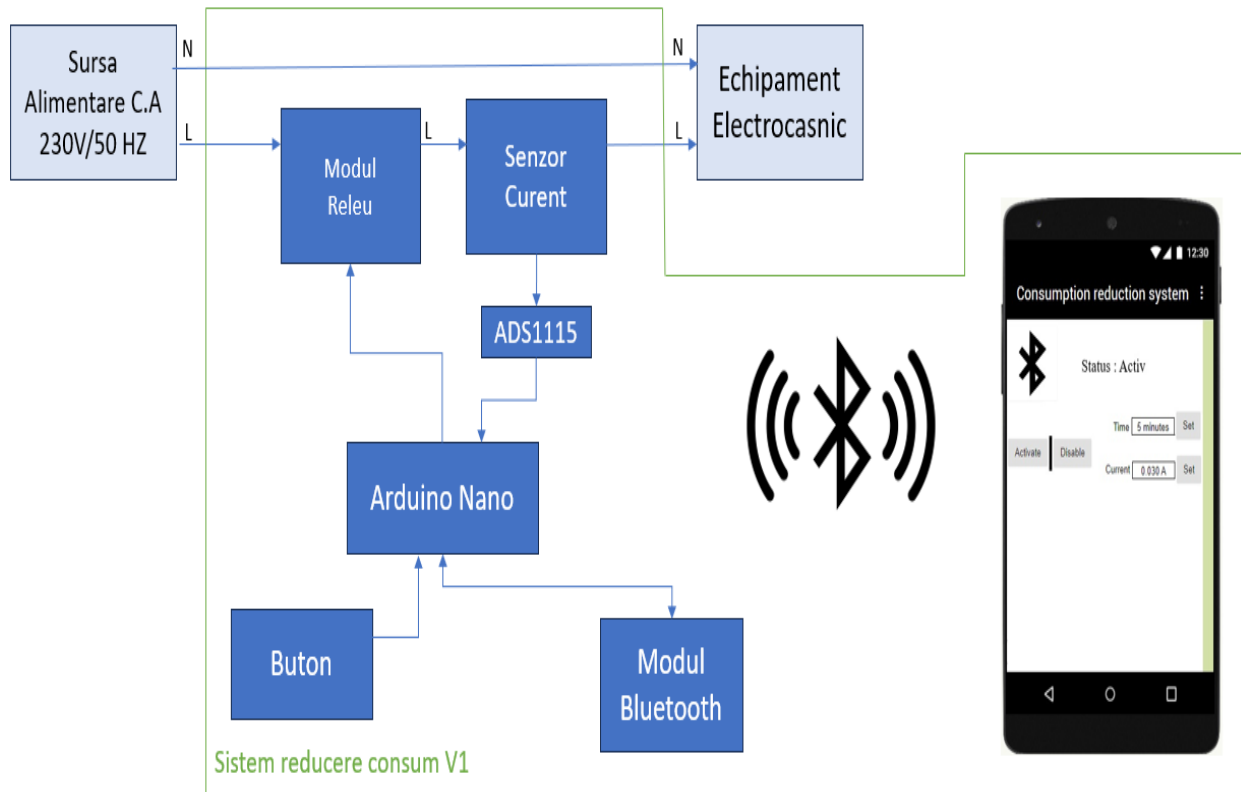


Figura 3.104 Diagrama sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 1

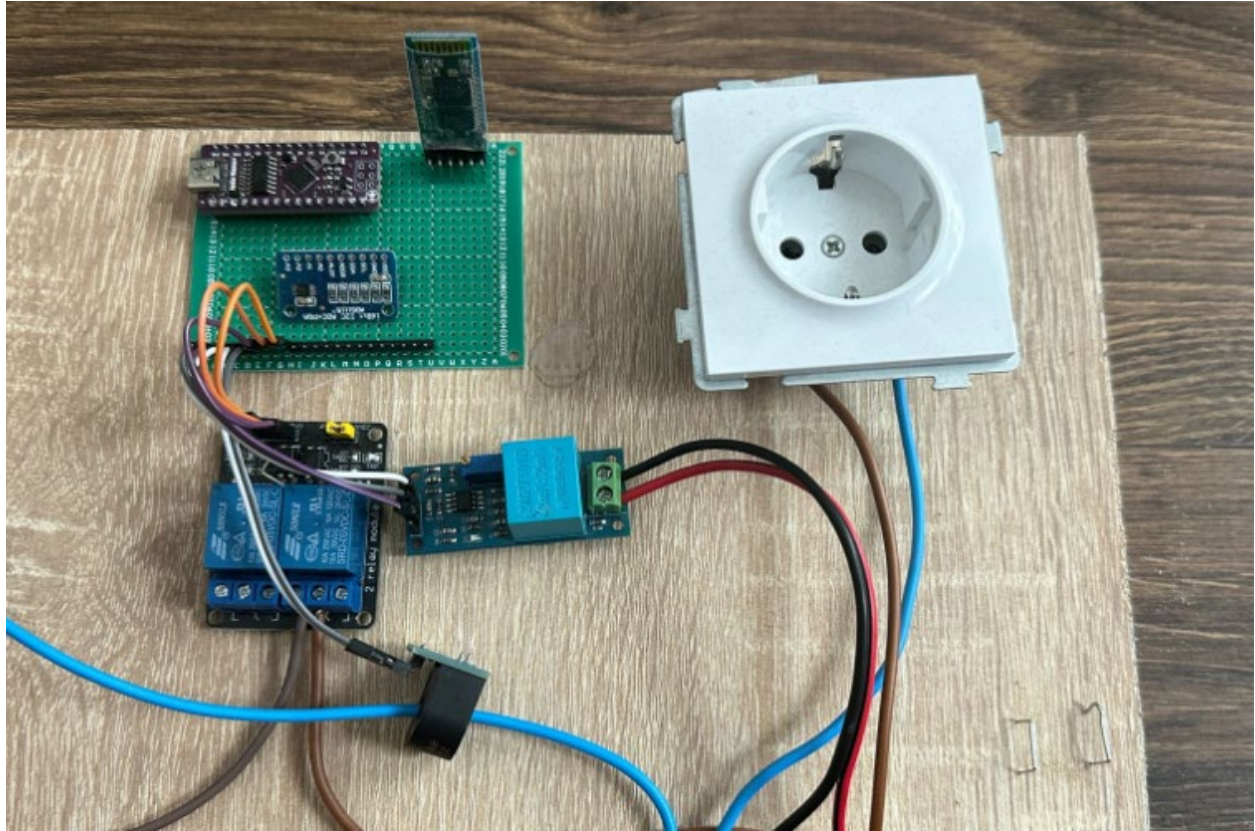


Figura 3.105 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 1

1.3.2 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 2

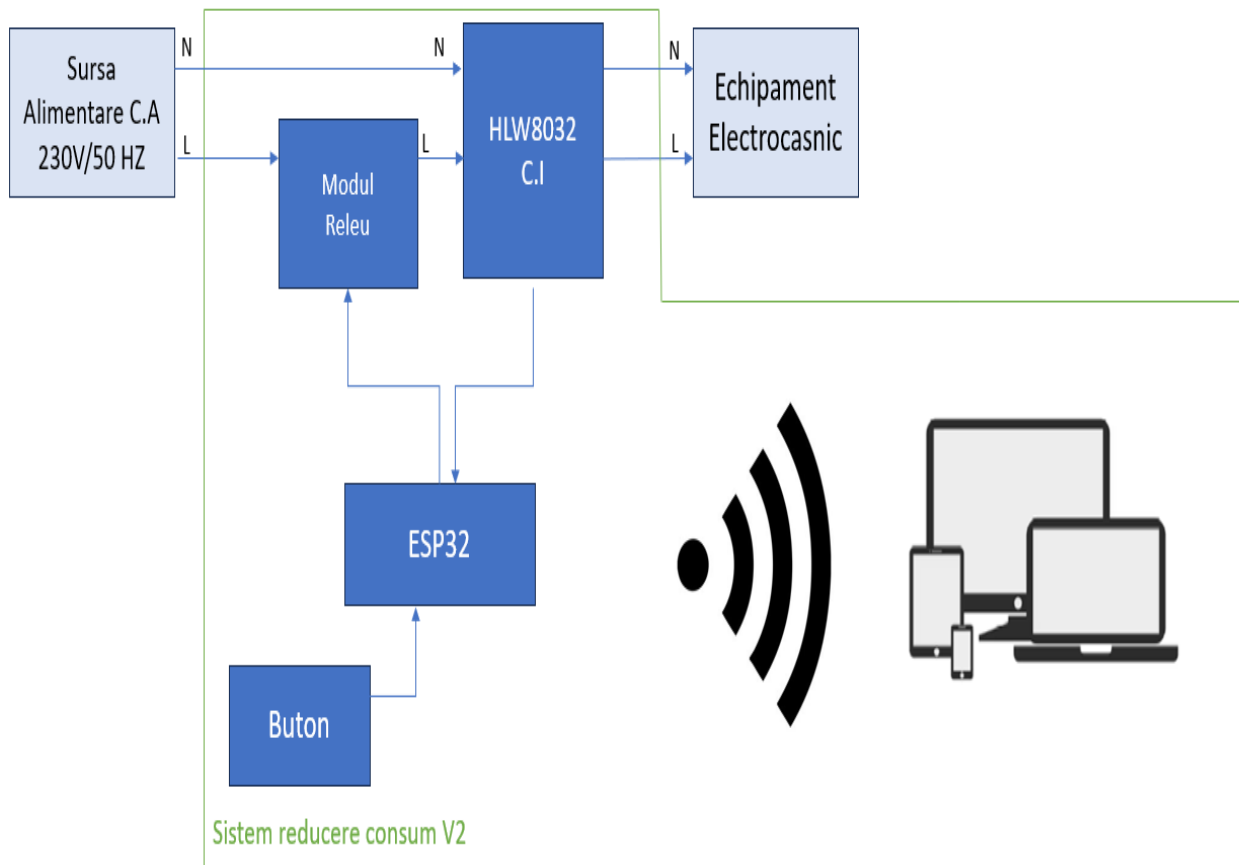


Figura 3.115 Diagrama sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 2

Dezvoltarea sistemului versiunea 2 integrează mai multe componente esențiale împreună cu placa de dezvoltare ESP32 DevKit V4. Această configurație include un modul releu capabil să gestioneze tensiuni de până la 250V și curenți de până la 10A, un buton manual pentru resetarea controlului, și circuitul integrat HLW8032 (IC).

Figurile 3.115 și 3.116 prezintă schema sistemului de reducere a consumului de energie versiunea 2 și realizarea practică a acestuia. Un element crucial, modulul releu, împreună cu IC-ul HLW8032, este plasat între sursa de curent alternativ și echipamentele casnice. Acesta monitorizează consumul de curent și deconectează alimentarea când consumul corespunde nivelului configurat. Placa de dezvoltare bazată pe ESP32 procesează și stochează aceste date despre consumul de curent și controlează releul. Pentru a îmbunătăți siguranța și durabilitatea sistemului, ESP32 este echipat cu un buton fizic pentru resetarea sistemului. În plus, o aplicație web găzduită direct pe placa de dezvoltare oferă o conexiune fără fir la sistem via tehnologiei de comunicare Wi-Fi, acționând ca interfața principală pentru configurarea și gestionarea acestuia folosind orice fel de dispozitiv ce posedă un browser web fie el telefon mobil, tabletă sau PC.

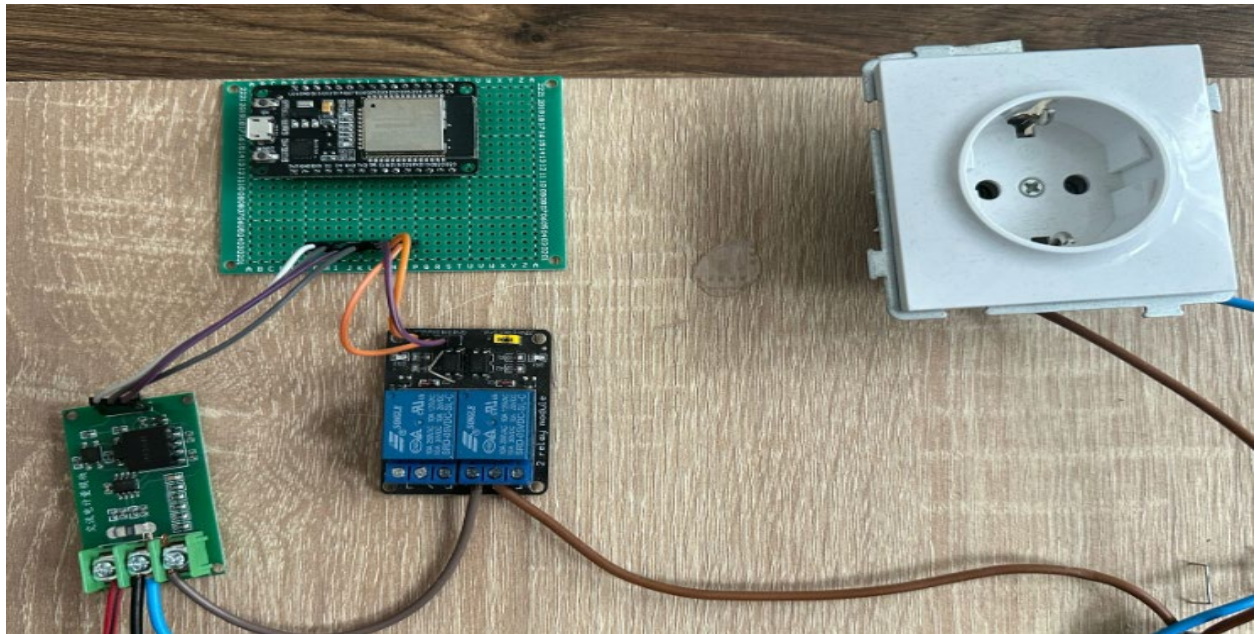


Figura 3.116 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 2

1.3.3 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 3

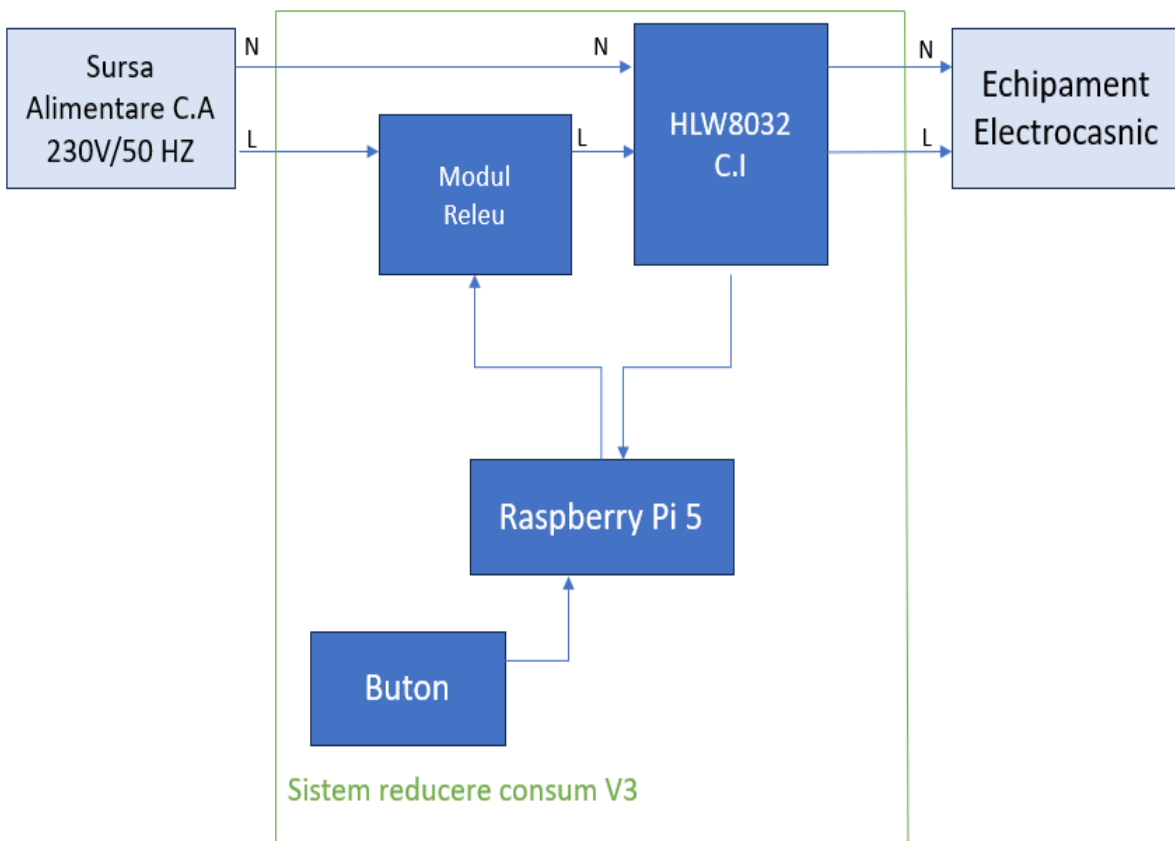


Figura 3.126 Diagrama sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 3

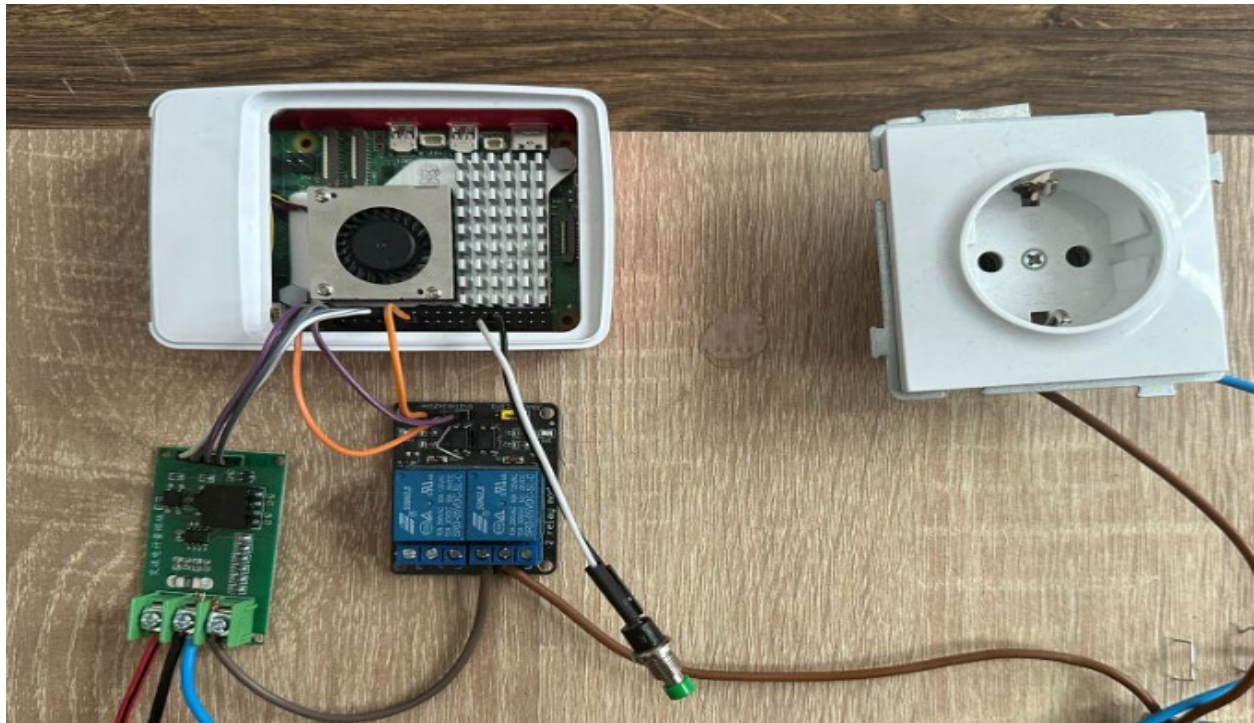


Figura 3.127 Sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 3

Dezvoltarea sistemului versiunea 3 integrează același componente esențiale folosite la versiunea 2 împreună cu placa de dezvoltare Raspberry Pi 5. Această configurație include modulul releu capabil să gestioneze tensiuni de până la 250V și curenți de până la 10A, un buton manual pentru înregistrarea acțiunii de utilizare a echipamentului, și circuitul integrat HLW8032 (CI).

Figurile 3.126 și 3.127 prezintă schema sistemului de reducere a consumului de energie versiunea 3 și realizarea practică a acestuia. Elementele cruciale, cum ar fi modulul releu, împreună cu IC-ul HLW8032 folosite la versiunea 2, sunt plasate între sursa de curent alternativ și echipamentele casnice. Acesta versiune a sistemului monitorizează consumul de curent și deconectează alimentarea atunci când consumul corespunde nivelului de stand-by măsurat și tiparul de utilizare a echipamentului folosind metode ce au la baza funcții de tip rețea neuronală și învățare automată, astfel eliminând nevoia de a folosi o aplicație terță pentru control și configurare sistem. Placa de dezvoltare Raspberry Pi 5 procesează și stochează aceste date despre consumul de curent și necesitatea utilizatorului de a folosi echipamentul pe baza de acțiune/timp și controlează releul. Pentru a învăța tiparul de utilizare a echipamentului am atașat un buton ce are rolul de a înregistra acțiunea de a utiliza sistemul într-o anumită perioadă din timp și a prezice după o perioadă mai lungă de utilizare momentul când echipamentul va fi folosit și va activa automat sistemul de alimentare.

1.3.4 Monitorizarea și controlul simultan al echipamentelor

Monitorizare și controlul simultan al celor 4 echipamente prezentate anterior și care realizează un consum de energie electrică în modul stand-by, sunt posibile datorită capacității hardware-ului folosit la sistemele de reducere a consumului în versiunile 2 și 3. Plăcile de dezvoltare folosite (ESP32 DevKit V4 și Raspberry Pi 5) sunt limitate la un număr maxim de 4 conexiuni de date tip UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Protocolul UART este un protocol de comunicare serială asincronă utilizat pe scară largă pentru transmisia de date între dispozitive. Este o metodă simplă și eficientă pentru a transfera informații binare între microcontrolere, computere, senzori și alte echipamente electronice. Pentru testarea capacității sistemului de reducere a consumului, versiunea a doua a sistemului propus a fost modificată prin adăugarea a 4 senzori HLW8032 și a unui modul de tip releu cu 4 canale la placa de dezvoltare ESP32 DevKit v4 iar butonul a fost înlăturat iar funcția acestuia a fost implementată în aplicația web. Aplicația web a fost modificată conform noii configurații, adăugând un meniu de selecție pentru fiecare dispozitiv în parte. Pentru a reduce costurile de implementare și a scurta timpul de amortizare a acestuia, sistemul trebuie montat într-un panou electric dintr-o casă inteligentă. Circuitele electrice dintr-o astfel de locuință contribuie la implementarea eficientă a sistemului propus, deoarece fiecare priză și bec sunt conectate printr-un circuit propriu la rețeaua electrică.

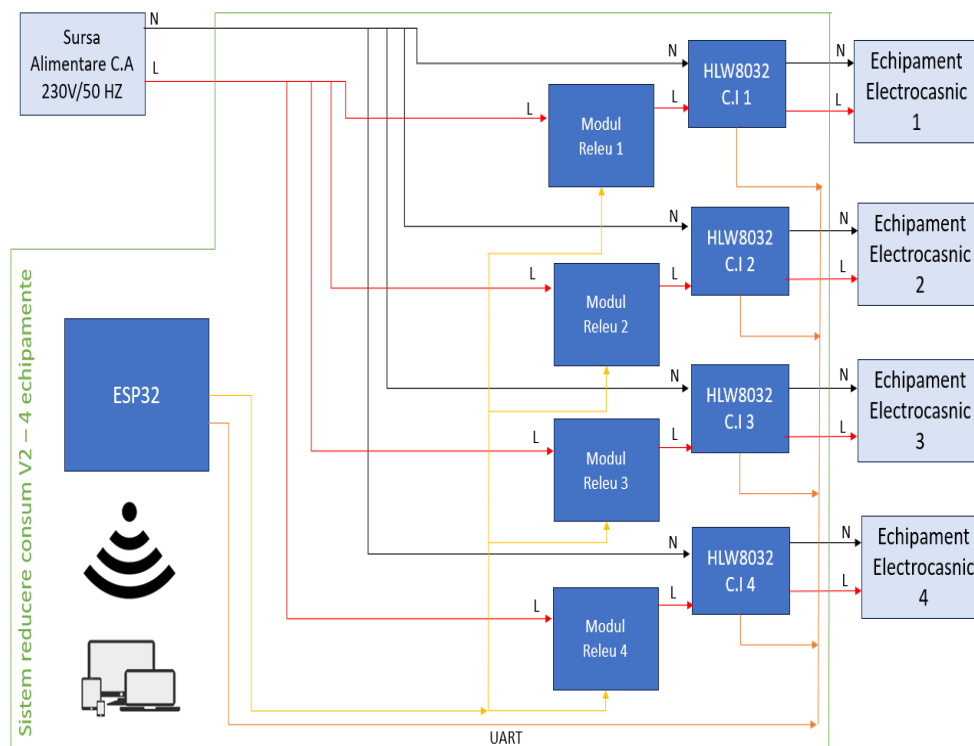


Figura 3.133 Sistem reducere consum versiunea 2 pentru 4 echipamente electrocasnice

1.4 Comparație sisteme automate de control și optimizare

În această subcapitol, am comparat trei sisteme propuse de reducere a consumurilor echipamentelor electrocasnice cu mod de functionare stand-by—Sistem V1, Sistem V2 și Sistem V3. Analiza comparată a luat în considerare parametri operaționali suplimentari și costuri. Comparația include cerințele de calibrare a senzorilor, aplicația de control, metodele de control, metodele de obținere a valorilor curente, numărul de echipamente controlate, timpii de răspuns ai releelor, acuratețea măsurătorilor, consumul de energie și costurile.

1) Sistem V1

Sistemul V1 se caracterizează prin necesitatea calibrării senzorului, ceea ce indică timp suplimentar pentru întreținere și configurare. Utilizează o aplicație Android pentru control, cu metode manuale cât și pentru obținerea valorilor curente, limitând capacitățile de automatizare. Sistemul controlează un singur echipament, cu un timp de răspuns al releului de 10 milisecunde. Acuratețea măsurătorii curente este de 98%, ușor mai mică decât celelalte sisteme. Consumul de energie este de 4.968 kWh pe lună, ceea ce îl face relativ eficient energetic. Costul acestui sistem este de 254 RON.

2) Sistem V2

Sistemul V2 nu necesită calibrarea senzorilor, reducând necesitatea de configurare și întreținere inițială. Folosește o aplicație web pentru control și metode manuale atât pentru control cât și pentru obținerea valorilor curente. Poate controla până la patru echipamente, sporindu-i astfel capacitatea operațională. Timpul de răspuns al releului rămâne la 10 milisecunde, și atinge o acuratețe mai mare a măsurătorilor curente de 100%. Consumul său de energie este identic cu cel al Sistemului V1, la 4.968 kWh pe lună, oferind eficiență împreună cu o acuratețe și capacități de control îmbunătățite. Costul acestui sistem este de 110 RON.

3) Sistem V3

Sistemul V3 nu necesită nici el calibrarea senzorilor, simplificându-i configurarea și întreținerea continuă. Nu folosește nicio aplicație specifică de control, utilizând control automat și obținerea automată a valorilor curente, oferind niveluri mai ridicate de automatizare și ușurință în utilizare. Acest sistem poate controla până la zece echipamente prin implementarea unor module auxiliare de monitorizare și control,

sporindu-i astfel capacitatea operațională. De asemenea poate menține un timp de răspuns al releului de 10 milisecunde și oferă o acuratețe perfectă de 100% în măsurarea curentului. Cu toate acestea, beneficiile vin cu un cost al consumului de energie crescut, care este semnificativ mai mare, la 10.980 kWh pe lună. Costul acestui sistem este de 514 RON.

Capitolul 4. Funcționarea autonomă a echipamentelor electrice. Rețele bidirecționale de comunicații. Optimizarea consumurilor energetice.

2.1 Funcționarea autonomă a echipamentelor electrice

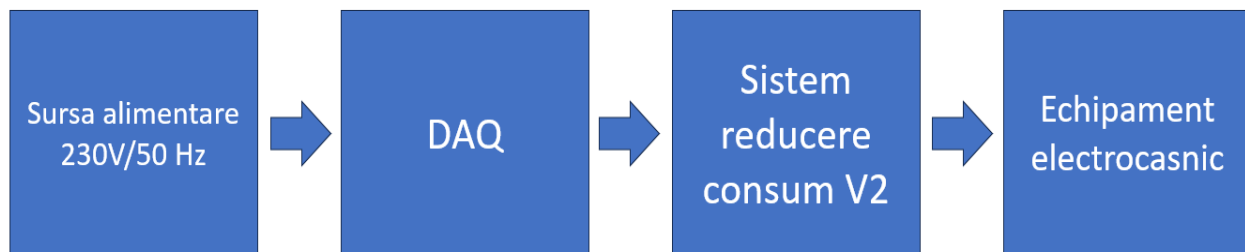


Figura 4.1 Diagramă bloc testare sistem propus

Figura 4.1 ilustrează poziționarea sistemului propus versiunea 2 (V2), plasat între sursa de alimentare AC și aparatul electrocasnic. Acest ansamblu include un sistem de achiziție a datelor pentru a verifica eficacitatea operațională a dispozitivului. Este de remarcat faptul că sistemul de achiziție a datelor este același prezentat în figura 3.13, care a fost folosit pentru a identifica și măsura modul stand-by pentru cele patru dispozitive rezidențiale comune selectate.

Sistemul este inițial programat cu o întârziere implicită de 5 minute, ceea ce înseamnă că verifică la fiecare 4 minute dacă valoarea curentului care trece prin senzorul de curent este egală sau mai mică decât pragul specificat prin aplicația web. Utilizatorii pot modifica perioada de întârziere pentru a se potrivi nevoilor lor specifice, în sensul în care unele echipamente electrice pot avea un curent absorbit mic, dar într-un timp limitat, chiar și în perioada funcționării lor în modul normal. Apoi, dacă valoarea curentului măsurat este egal sau scade sub valoarea prestabilită, sistemul deconectează aparatul de la rețeaua electrică, prevenind astfel consumul de energie în modul stand-by de funcționare.

2.1.1 Mașina de spălat Beko (WUE81436)

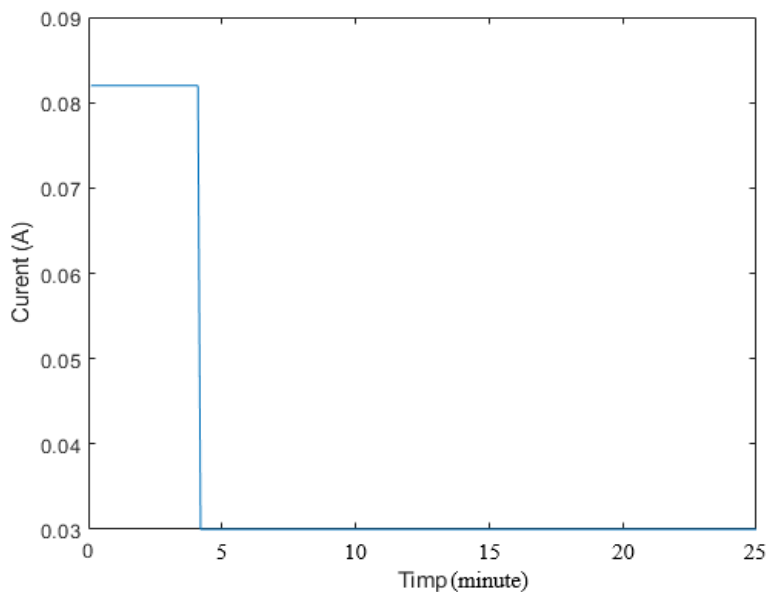


Figura 4.2 Curentul absorbit de mașina de spălat în modul stand-by după implementarea sistemului V2

Figura 4.2 și figura 4.3 ilustrează curentul și consumul de energie al mașinii de spălat echipată cu sistemul de economisire a energiei propus. Sistemul inițiază o citire de la senzorul de curent la patru minute după activare. Apoi evaluează această citire față de un prag predefinit și, dacă este necesar, deconectează alimentarea printr-un releu, economisind astfel energie. În timpul perioadei inițiale de cinci minute, curentul și consumul de energie ale mașinii de spălat sunt remarcabil de scăzute, la 0.082 A și respectiv 19.09 W. Aceste valori scad și mai mult la 0 A și respectiv 0 W ulterior, până când sistemul este fie resetat, fie oprit pentru operarea obișnuită. Un curent și un consum de energie înregistrat de 0.030 A și respectiv 6.9 W sunt atribuite achiziției de date a sistemului propus. Măsurarea curentului și a consumului de energie a fost efectuată cu V2.

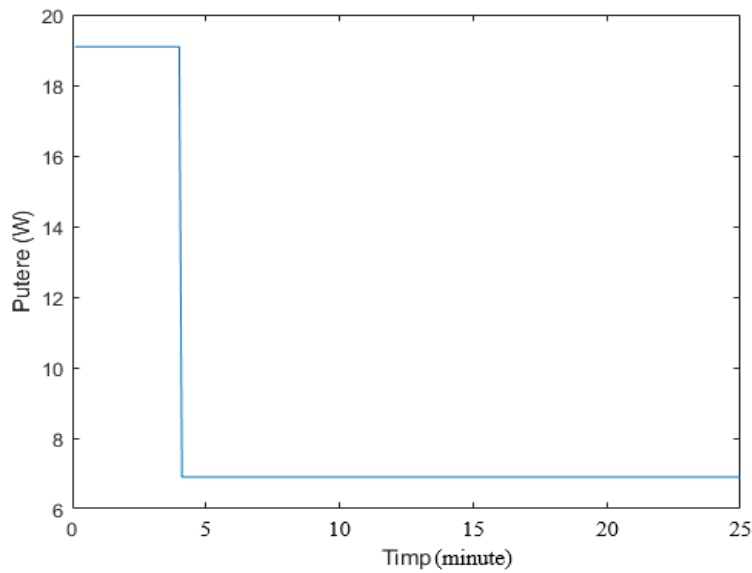


Figura 4.3 Consumul de putere al mașinii de spălat în modul stand-by după implementarea sistemului V2

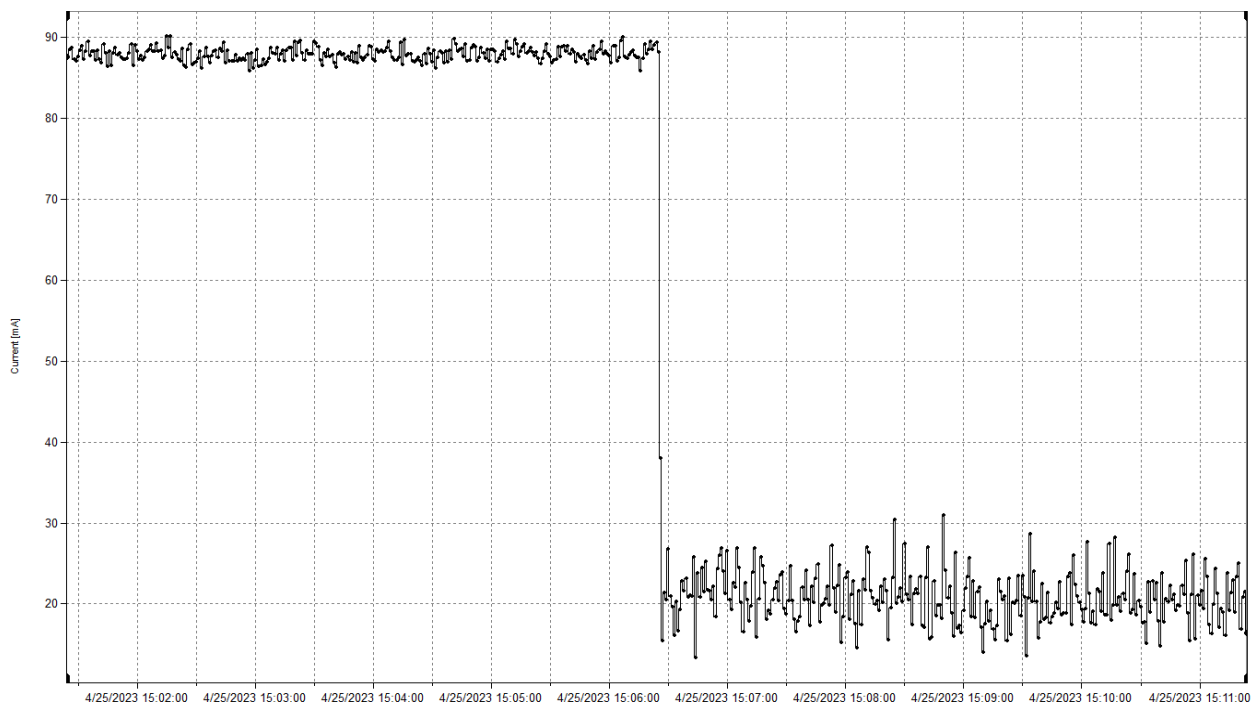


Figura 4.4 Curentul absorbit de mașina de spălat în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

Pentru a demonstra că sistemul de economisire a energiei propus funcționează așa cum au arătat măsurătorile obținute cu V2 dezvoltat am refăcut măsurătorile și cu echipamentul Fluke 1738 pe care l-am folosit drept aparat de măsurare etalon. Figura 4.4

și figura 4.5 ilustrează curentul și consumul de energie al mașinii de spălat echipată cu sistemul de economisire a energiei propus.

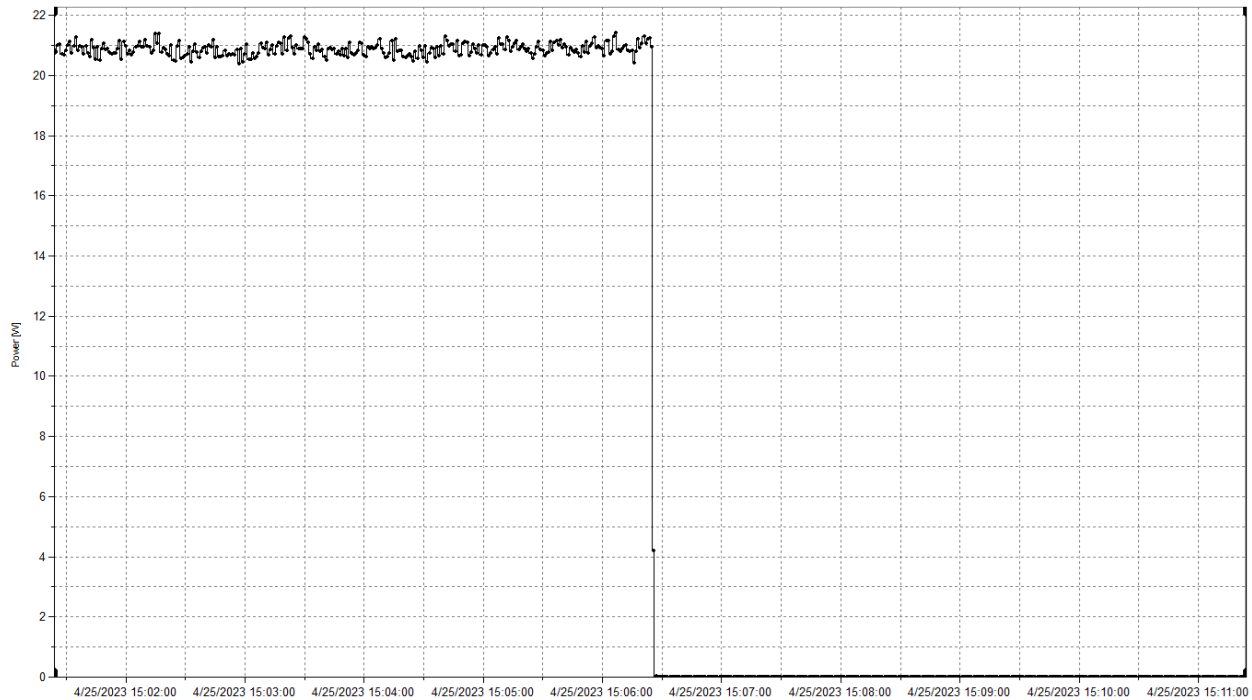


Figura 4.5 Consumul de putere al mașinii de spălat în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

2.1.2 Laptop Lenovo Legion (15ACH6H)

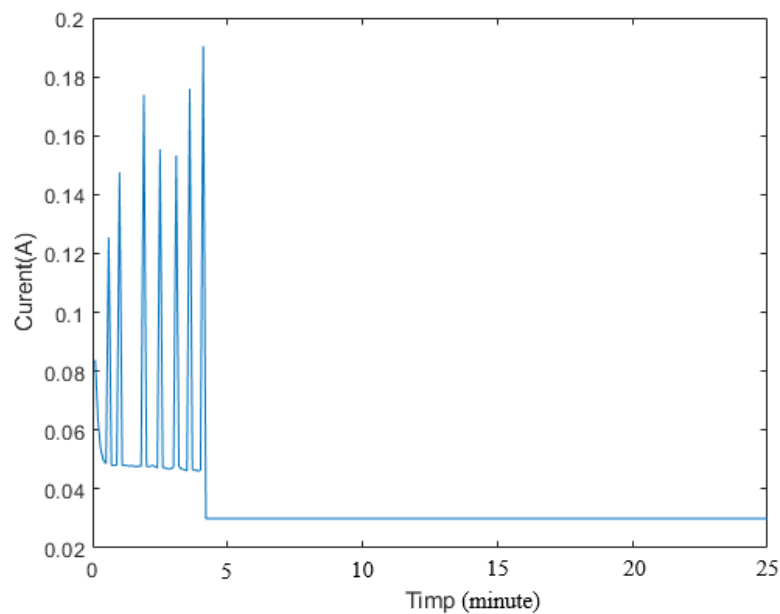


Figura 4.6 Curentul absorbit de laptop în modul stand-by după implementarea sistemului V2

Figurile 4.6 și 4.7 ilustrează curentul și consumul de energie ale laptopului echipat cu sistemul de economisire a energiei propus. Sistemul inițiază o citire de la senzorul de curent la patru minute după activare. Apoi evaluează această citire în raport cu un prag predefinit și, dacă este necesar, deconectează alimentarea printr-un releu, economisind astfel energie. În timpul perioadei inițiale de cinci minute, curentul și consumul de energie ale laptopului sunt remarcabil de scăzute, la 0.050 A cu vârfuri regulate de până la 0.190 A și respectiv 11.5 W cu vârfuri regulate de până la 43.7 W. Aceste valori scad ulterior la 0 A și respectiv 0 W, până când sistemul este resetat sau oprit pentru operarea obișnuită. Un curent și un consum de energie înregistrat de 0.030 A și respectiv 6.9 W sunt atribuite achiziției de date a sistemului propus.

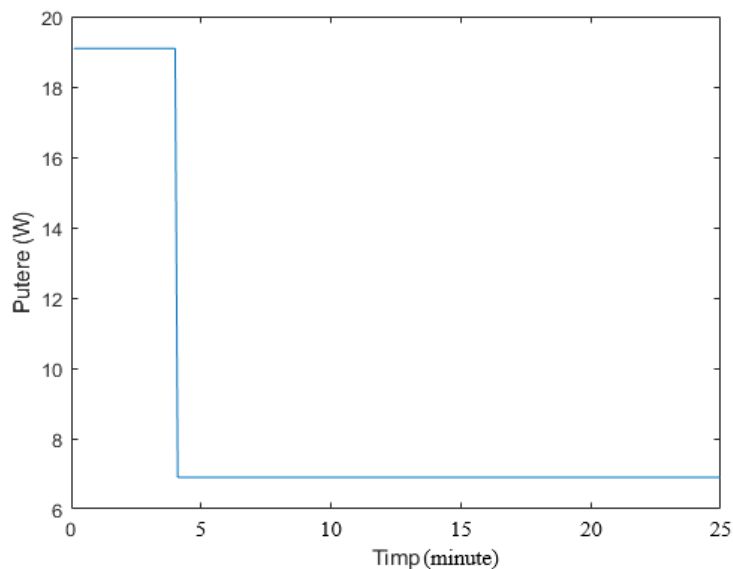


Figura 4.7 Consumul de putere al laptopului în modul stand-by după implementarea sistemului V2

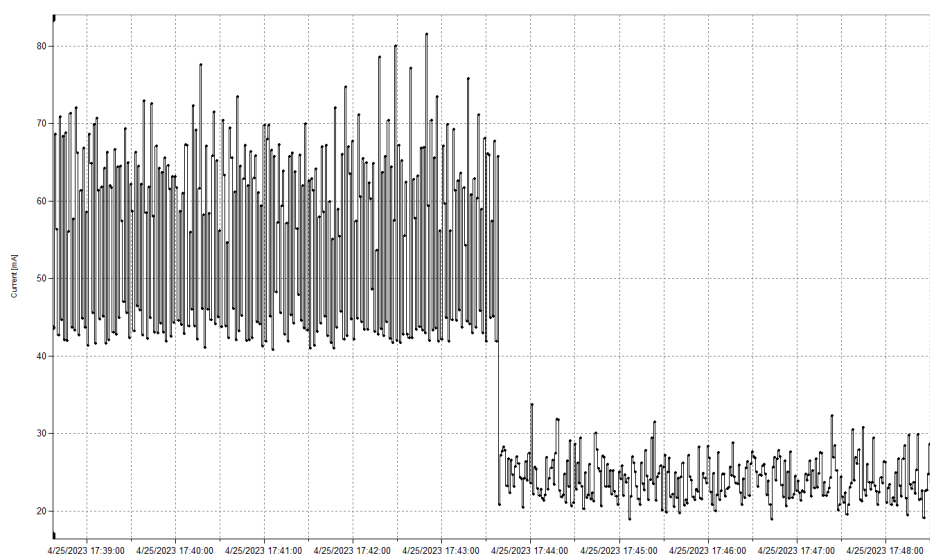


Figura 4.8 Curentul absorbit de laptop în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

Pentru a demonstra că sistemul de economisire a energiei propus funcționează așa cum au arătat măsurătorile obținute cu V2 dezvoltat am refăcut măsurătorile și cu echipamentul Fluke 1738 pe care l-am folosit drept aparat de măsurare etalon. Figura 4.8 și figura 4.9 ilustrează curentul și consumul de energie ale laptopului echipat cu sistemul de economisire a energiei propus.

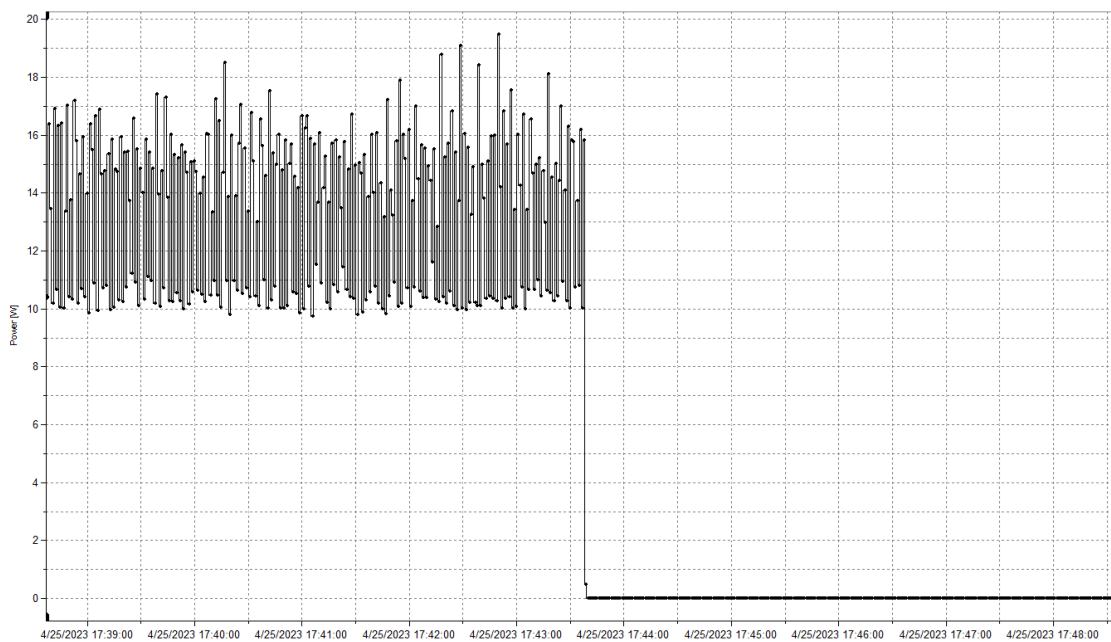


Figura 4.9 Consumul de putere al laptopului în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

2.1.3 Televizor LG (40UH630V)

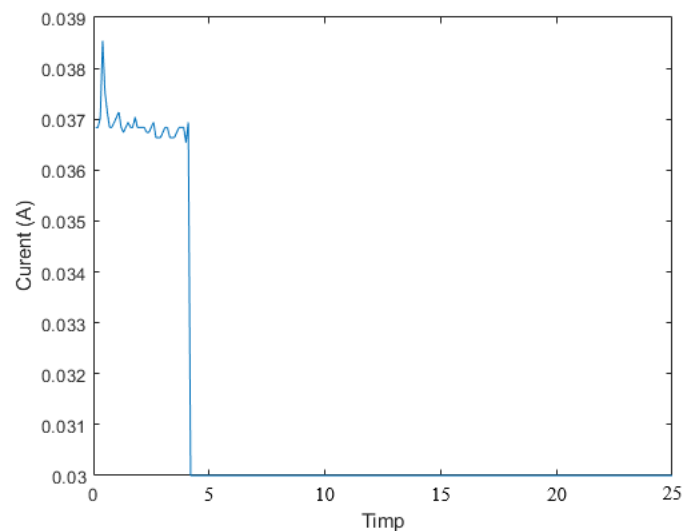


Figura 4.10 Curent absorbit de televizor în modul stand-by după implementarea sistemului V2

Figurile 4.10 și 4.11 ilustrează curentul și consumul de energie ale televizorului echipat cu sistemul de economisire a energiei propus. Sistemul inițiază o citire de la senzorul de curent la patru minute după activare. Apoi evaluează această citire în raport cu un prag predefinit și, dacă este necesar, deconectează alimentarea printr-un releu, economisind astfel energie. În timpul perioadei inițiale de cinci minute, curentul și consumul de energie ale televizorului sunt remarcabil de scăzute, la 0.037 A și respectiv 8.51 W. Aceste valori scad ulterior la 0 A și respectiv 0 W, până când sistemul este resetat sau oprit pentru operarea obișnuită. Un curent și un consum de energie înregistrat de 0.030 A și respectiv 6.9 W sunt atribuite achiziției de date a sistemului propus.

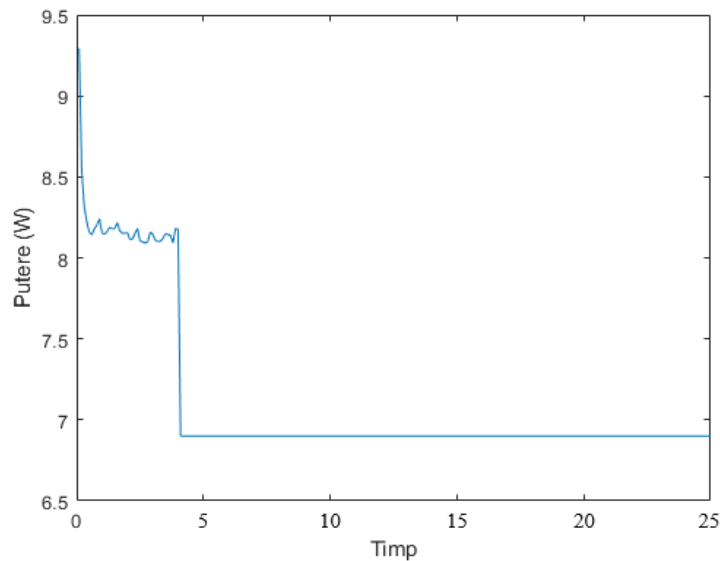


Figura 4.11 Consumul de putere al TV în modul stand-by după implementarea sistemului V2

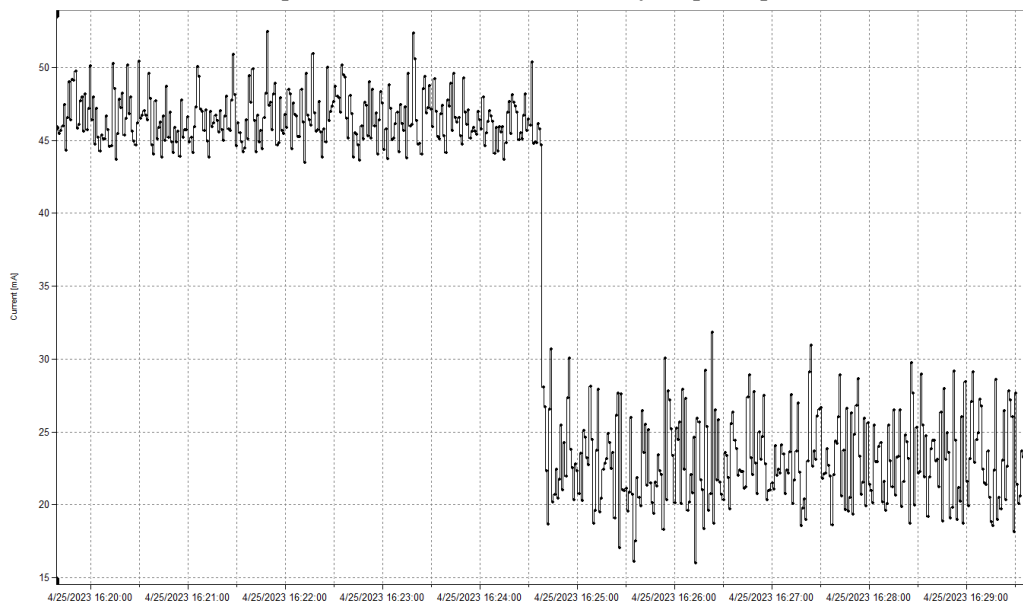


Figura 4.12 Curent absorbit de TV în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

Pentru a demonstra că sistemul de economisire a energiei propus funcționează așa cum au arătat măsurătorile obținute cu V2 dezvoltat am refăcut măsurătorile și cu echipamentul Fluke 1738 pe care l-am folosit drept aparat de măsurare etalon. Figurile 4.12 și 4.13 ilustrează curentul și consumul de energie ale televizorului echipat cu sistemul de economisire a energiei propus.

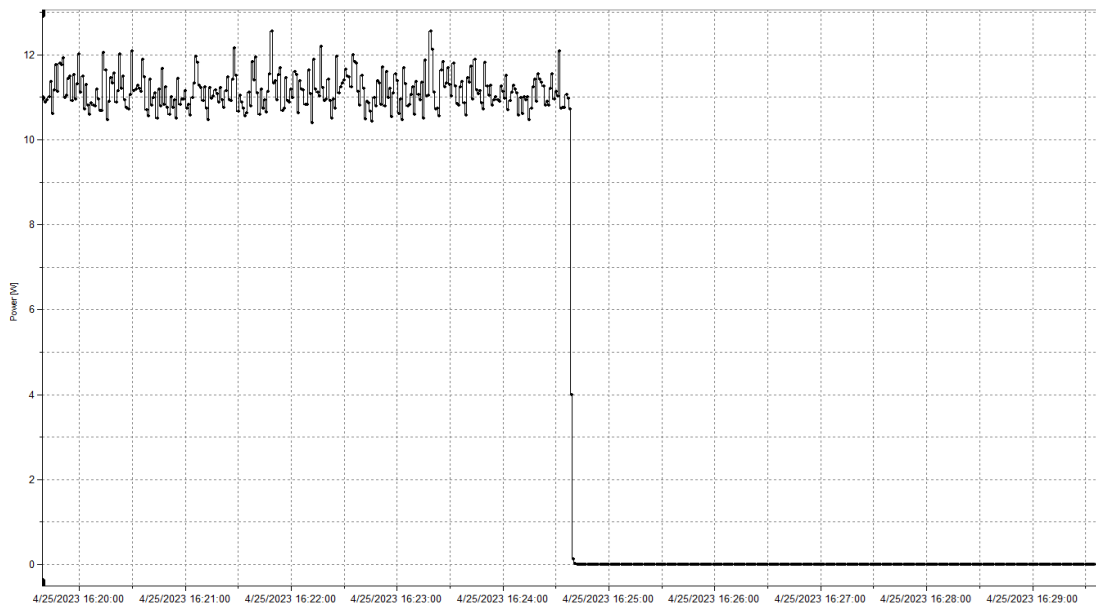


Figura 4.13 Consumul de putere al TV în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

2.1.4 Sony Playstation 5 (CFI-1003A)

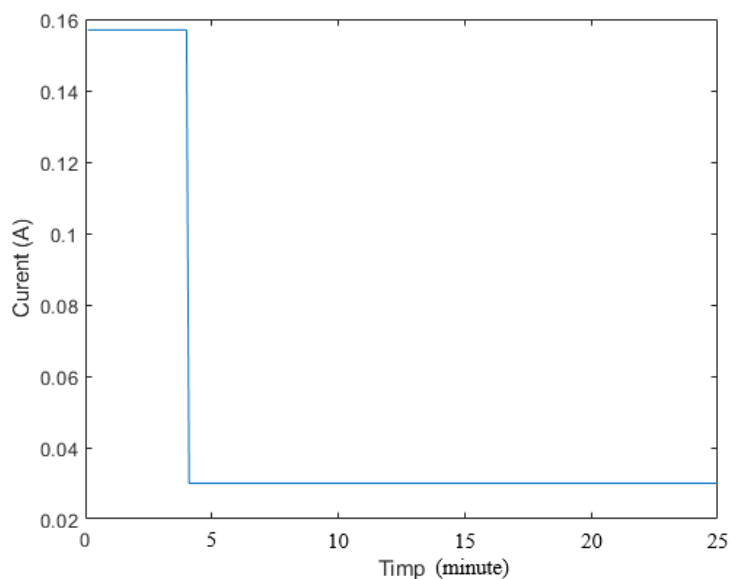


Figura 4.14 Curentul absorbit de Playstation 5 în modul stand-by după implementarea sistemului V2

Figurile 4.14 și 4.15 ilustrează curentul și consumul de energie al consolei Playstation 5 echipat cu sistemul de economisire a energiei propus. Sistemul inițiază o citire de la senzorul de curent la patru minute după activare. Apoi evaluează această citire în raport cu un prag predefinit și, dacă este necesar, deconectează alimentarea printr-un releu, economisind astfel energie. În timpul perioadei inițiale de cinci minute, curentul și consumul de energie ale televizorului sunt scăzute, la 0.157 A și respectiv 38.51 W. Aceste valori scad ulterior la 0 A și respectiv 0 W, până când sistemul este resetat sau oprit pentru operarea obișnuită. Un curent și un consum de energie înregistrat de 0.030 A și respectiv 6.9 W sunt atribuite achiziției de date a sistemului propus.

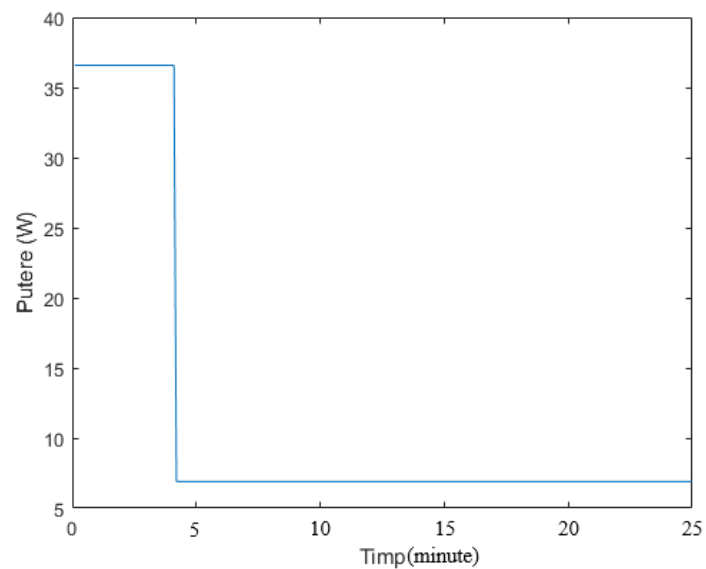


Figura 4.15 Consumul de putere al Playstation 5 în modul stand-by după implementarea sistemului V2

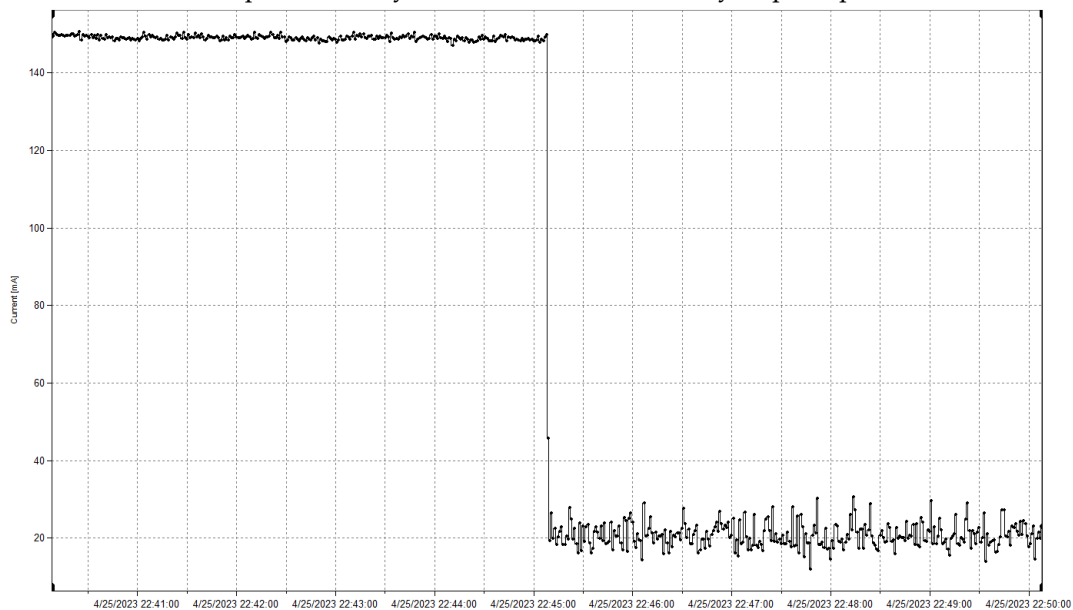


Figura 4.16 Curentul absorbit de Playstation 5 în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

Pentru a demonstra că sistemul de economisire a energiei propus funcționează așa cum au arătat măsurătorile obținute cu V2 dezvoltat am refăcut măsurătorile și cu echipamentul Fluke 1738 pe care l-am folosit drept aparat de măsurare etalon. Figurile 4.16 și 4.17 ilustrează curentul și consumul de energie ale consolei echipat cu sistemul de economisire a energiei propus.

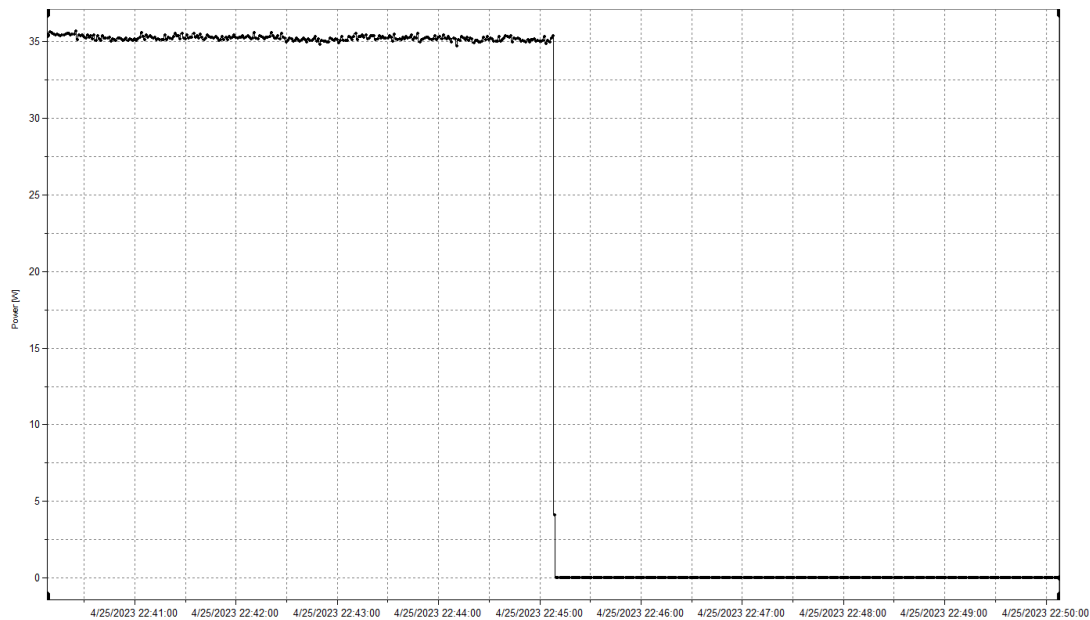


Figura 4.17 Consumul de putere al Playstation 5 în modul stand-by după implementarea sistemului V2, măsurat cu Fluke 1738

2.2 Optimizarea consumurilor energetice

În Figurile 4.18, 4.19 și 4.20 se prezintă, grafic, o analiză comparată a consumului de energie electrică a celor 4 echipamente casnice prezentate la începutul acestui capitol, cu și fără implementarea sistemului V2 propus, pe perioada de o oră, o zi și respectiv de o lună.

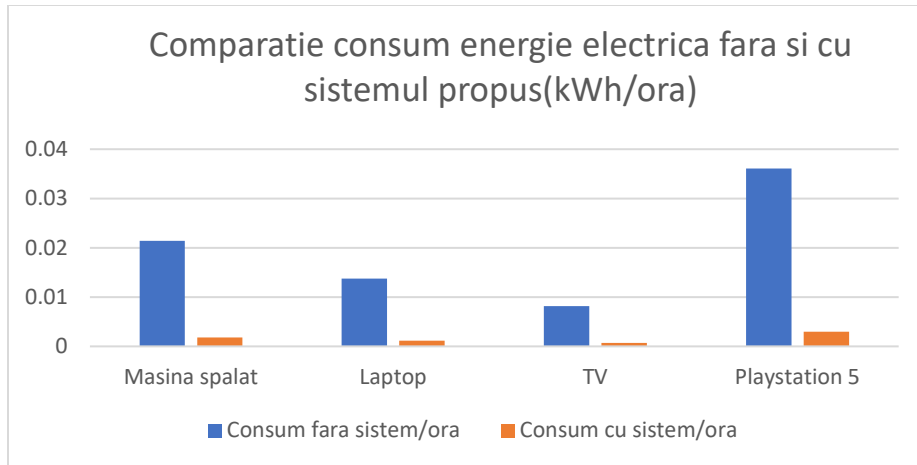


Figura 4.18 Grafice comparative ale consumului orar de energie electrică a echipamentelor cu și fără sistemul propus (kWh/oră)

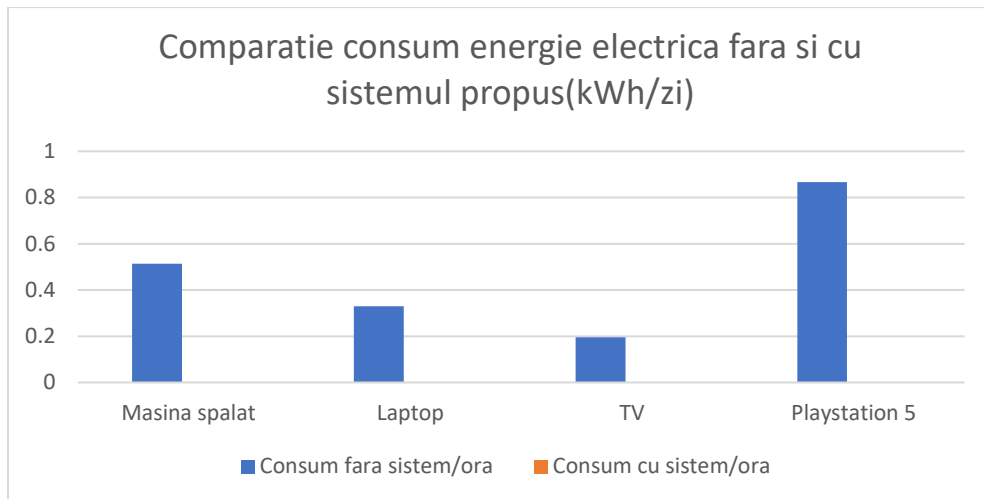


Figura 4.19 Grafice comparative ale consumului zilnic de energie electrică a echipamentelor cu și fără sistemul propus (kWh/oră)

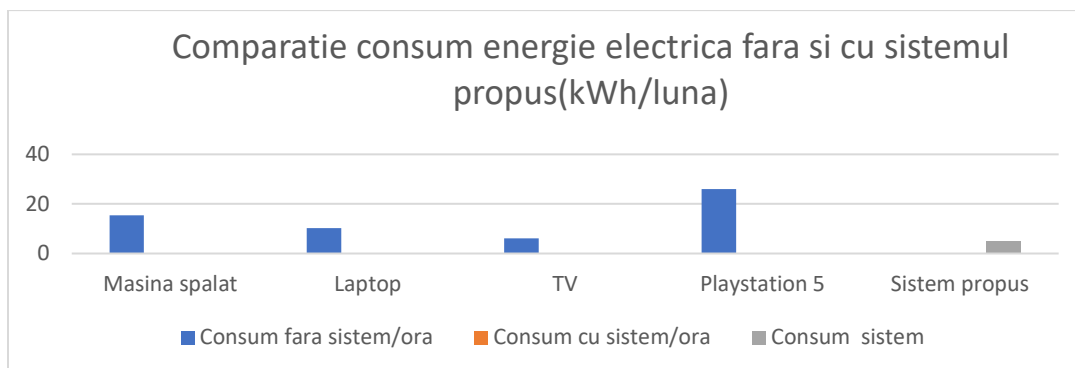


Figura 4.20 Grafice comparative ale consumului lunar de energie electrică a echipamentelor cu și fără sistemul propus (kWh/oră)

Apoi în tabelul 4.1 se prezintă valorile consumurilor de energie în regim de stand-by pentru echipamentele casnice analizate, cu și fără sistemul propus. **Trebuie menționat că, în situația în care sistemul propus este implementat, consumul de energie în regim de stand-by are loc doar timp de 5 minute, până când sistemul este repornit sau dezactivat, în mod automat de la distanță, pentru utilizarea normală a echipamentului.**

Consumul total inițial orar de energie în regim stand-by al echipamentelor este măsurat la 0,07938 kWh. După implementarea sistemului V2 consumul de stand-by total al echipamentelor considerate se reduce la 0.00659 kWh, adică cu 83.1 %. Consumul de stand-by nu se reduce la zero deoarece trebuie luat în considerare consumul propriu al sistemului V2 care monitorizează și controlează echipamentele. Consumul operațional tipic al sistemului propus este de 4,968 kWh pe lună, astfel încât consumul total de energie este redus cu 52,71kWh pe lună, adică cu 91.3%, ceea ce evidențiază reducerea semnificativă a consumurilor energetice prin utilizarea sistemului V2 propus.

Table 4.1. Consum de energie în regim stand-by al echipamentelor casnice cu și fără sistemul propus

Echipamente	Consum orar stand-by fără sistem kWh	Consum orar stand-by cu sistem kWh	Consum stand-by fără sistem kWh/zi	Consum stand-by cu sistem kWh/zi	Consum stand-by fără sistem kWh/lună	Consum stand-by cu sistem kWh/lună
Mașina de spălat	0.02139	0.00178	0.51336	-	15.40080	-
Laptop	0.01373	0.00114	0.32952	-	10.21512	-
TV	0.00815	0.00067	0.19560	-	6.0636	-
Playsation 5	0.03611	0.00300	0.86664	-	25.9992	-
Sistem propus	-	-	-	-	-	4.968
Total	0.07938	0.00659	1.90512	-	57.67872	4.968

Principiul Priorității Eficienței Energetice este un concept central în orientările oferite de Jurnalul Oficial al Uniunii Europene 2021/C 373/01. Acest principiu este crucial pentru asigurarea faptului că proiectele de infrastructură sunt concepute și operate cu un consum minim de energie.

Principiul „energy efficiency first” este definit în Articolul 2(18) al Regulamentului (UE) 2018/1999 al Parlamentului European. Acesta presupune că eficiența energetică trebuie să fie o prioritate în toate deciziile legate de proiectele de infrastructură. În cadrul fazei de analiză detaliată a proiectelor, este esențial să se integreze ferm principiul „eficienței energetice pe primul loc” în designul proiectului, analiza opțiunilor și analiza cost-beneficiu. Aceasta implică adoptarea celor mai eficiente soluții energetice posibile pentru a minimiza consumul de energie și emisiile de gaze cu efect de seră pe toată durata de viață a infrastructurii [116].

Recent, au fost adoptate noi reglementări ale UE privind reducerea consumului în modul standby, ceea ce face ca tema și propunerile făcute în acest articol să fie în concordanță cu aceste preocupări viitoare. Regulamentul Comisiei (UE) 2023/826

stabilește cerințe stricte pentru consumul de energie al echipamentelor electrice și electronice de uz casnic și de birou în modurile standby și off. Acest regulament face parte din Directiva 2009/125/CE, care vizează îmbunătățirea eficienței energetice a produselor vândute în UE. Începând cu 2025, dispozitivele nu trebuie să consume mai mult de 0,5 Wh în modul stand-by sau off, și 0,8 Wh dacă sunt în modul stand-by și afișează statusul sau informații. Din 2027, aceste limite vor fi reduse la 0,5 Wh în modul stand-by și 0,3 Wh în modul off, în timp ce consumul maxim pentru dispozitivele care afișează statusul sau informații în modul stand-by va rămâne la 0,8 Wh. Pentru dispozitivele conectate la internet în modul stand-by în rețea, limitele de consum variază între 2 și 7 Wh, în funcție de tipul de produs, și vor fi reduse progresiv pentru a încuraja creșterea eficienței energetice [117].

Tabel 4.2. Consumul de energie în modul de așteptare realizat prin implementarea sistemului propus comparativ cu reglementările viitoare ale UE

Echipeamente electrocasnice cu sistemul implementat	Consum orar stand-by cu sistemul V2 propus (kWh)	Consum stand-by regulament EU 2025 (kWh)	Consum stand-by regulament EU 2027 (kWh)
Masina de spalat	0.00178	0.0005 - 0.0008 sau 0.0002 - 0.0007	0.0003-00005 sau 0.0002 - 0.0007
TV	0.00067		
Laptop	0.00114		
Playstation 5	0.0030		

Comparând tabelele 4.1 și 4.2, fără a lua în considerare consumul sistemului V2 propus, rezultă că pentru echipamentele utilizate consumul lor de stand-by este zero, ceea ce arată încadrarea în limitele propuse de reglementările UE. Dar, practic, dacă se ia în considerare și consumul sistemului V2 implementat, sunt necesare optimizări ale consumului acestui sistem astfel încât să ne încadrăm în limitele reglementate. De exemplu, sistemul V2 propus poate fi alimentat cu acumulator de 5V exterior dotat cu sistem de management al bateriilor. În general analiza comparativă a valorilor din cele două tabele arată clar că limitele reale de consum de stand-by ale echipamentelor electrocasnice utilizate după implementarea sistemului propus sunt destul de apropiate de cele impuse de limitele europene. Pe de altă parte, introducerea acestor noi reglementări europene privitoare la reducerea consumurilor aparatelor electrocasnice în stand-by arată actualitatea și importanța temei aleasă în această teză de doctorat.

Capitolul 5. Concluzii. Contribuții originale. Dezvoltări ulterioare ale tezei

Pe măsură ce prețurile energiei continuă să crească, optimizarea consumului de energie pentru a reduce atât utilizarea energiei, cât și costurile asociate a devenit o preocupare din ce în ce mai importantă. O caracteristică prevalentă a aparatelor electrocasnice tipice este tendința lor de a consuma electricitate chiar și atunci când sunt în modul de așteptare.

Progresul lent în conservarea energiei domestice poate fi atribuit unei lipse de cunoștințe fundamentale privind consumul de energie. Diverse gospodării încorporează diferite surse de energie în viața lor de zi cu zi, dar adesea există confuzie cu privire la scopurile specifice pentru care este utilizat fiecare tip de energie. Mai mult, corelația între caracteristicile gospodăriei și consumul de energie nu este pe larg înțeleasă. Gospodăriile joacă un rol crucial în cererea globală de energie, în special în domeniul electricității. În timp ce reducerea consumului de energie electrică este vitală pentru preocupările de mediu și securitatea energetică, electricitatea rămâne indispensabilă în viața noastră de zi cu zi.

Prezenta lucrare propune optimizarea consumului de energie a echipamentelor electrocasnice usuale găsite într-o locuință și implicit costul de operare a acestora prin dezvoltarea unui sistem pentru reducerea consumului de energie electrică a echipamentelor ce au un consum în modul stand-by. Acest sistem are rolul să reducă la minim cantitatea de energie electrică consumată prin deconectarea echipamentelor de la rețeaua electrică. Proiectarea generală a sistemului cuprinde dezvoltare hardware și software atât pentru sistemului de reducere a consumului de energie propus în trei versiuni cât și dezvoltarea sistemului de achizite date în două versiuni folosit la caracterizarea parametriilor electrici a echipamentelor electrocasnice.

În această teză a fost prezentată o imagine de ansamblu atât a tehnologiilor conceptuale ale unei case inteligente cât și stadiul actual al acesteia împreună cu prezentarea echipamentelor comune regăsite, cu funcționarea sistemelor automate și a rețelelor de comunicații.

Sistemele propuse, concepute pentru caracterizarea electrică a echipamentelor regăsite în mod uzual într-o locuință împreună cu sistemul de reducere a consumului de energie prin deconectarea acestora de la rețeaua electrică în modul de așteptare, a demonstrat rezultate promițătoare.

Măsurătorile efectuate cu ajutorul unui sistemului de achizite de date (DAQ) pe opt consumatori casnici importanți care, cu datele procesate prin aplicația dezvoltată în Matlab și verificată prin aplicația dezvoltată în Python, au demonstrat modele precise de interpolare polinomială. Astfel arătând că sistemul DAQ dezvoltat funcționează bine și

poate fi utilizat pentru măsurarea consumului de energie al tuturor echipamentelor casnice iar componentele folosite pentru măsurarea caracteristicilor electrice folosite de sistemul DAQ dezvoltat au fost folosite la sistemul propus pentru reducerea consumului de energie.

Sistemul pentru reducere consumului de energie electrică propus a realizat o reducere a consumului de energie de până la 52,71 kWh pe lună. Cu toate acestea, eficacitatea să depinde de faptul că locuința trebuie să fie cablată electric pentru tehnologia inteligentă, fiecare priză având propriul circuit. Această configurație permite monitorizarea și controlul eficient al mai multor aparate prin integrarea cu panoul de siguranțe al locuinței, menținând astfel costurile de implementare cât și timpul de amortizare a sistemului scăzute.

3.1 Contribuții originale

1. Prima contribuție originală a acestei o reprezintă este implementarea unui sistem ce are rolul de a monitoriza, controla și reduce consumul de energie electrică a echipamentelor electrocasnice în regim de stand-by, care integrează atât componente hardware cât și software. Teza prezintă soluții noi pentru acest sistem propus, ce are și funcția de sistem de achiziții de date, care prin utilizarea de componente hardware de tip "off the self", conduce la identificarea echipamentelor electrocasnice cu consum de energie în modul stand-by.

2. Am efectuat măsurătorile pentru parametrii electrici ai echipamentelor electrocasnice cu aparatul de măsură Fluke 1738 Power Logger. Fiind un aparat de măsură certificat a fost luat drept etalon pentru dezvoltarea sistemului de achiziție de date.

3. Dezvoltarea sistemului de achiziție de date (DAQ) pe baza unui circuit integrat (CI) și dezvoltarea programului software ce are rolul de a citi datele primite de la sistemul de achiziție de date.

4. Măsurarea consumurilor de energie electrică al echipamentelor electrocasnice în modul normal și în cel de stand-by de funcționare cu sistemul de achiziție de date (DAQ). Măsurătorile obținute au fost similare cu cele efectuate cu aparatul de măsură etalon Fluke 1738.

5. Modelarea matematică a parametrilor electrici ai echipamentelor măsurate pentru ambele moduri de funcționare ce are rolul de a demonstra eficiența sistemului de achiziție de date. Modelarea matematică a fost dezvoltată folosind aplicații proiectate în pachetele de programe Matlab și Pycharm.

6. Dezvoltarea sistemului folosit pentru reducere consumului de energie electrică în versiunea 1 prin crearea unui prototip hardware ce este asigurat echipamentelor care prezintă consum de energie în modul stand-by.

7. Dezvoltarea software a sistemului versiunea în 1 și a unei aplicații mobile pentru sistemul de operare Android ce folosește tehnologia bidirecțională Bluetooth cea care permite utilizatorului o soluție pentru control și monitorizare atât prin setarea timpului ciclului de măsurare cât și a valorii de prag a curentului absorbit pentru a deconecta echipamentul în modul de stand-by.

8. Dezvoltarea sistemului folosit pentru reducere consumului de energie electrică în versiunea 2 prin crearea unui prototip hardware îmbunătățit care folosește circuitul integrat al sistemului de achiziție în versiunea 2 și o platformă de dezvoltare mai performantă (ESP32). Această platformă modernă are rolul de a citi și opera atât releul de comandă și cât și serverul web unde este găzduită aplicația software ce permite utilizatorului să se conecteze la sistem via tehnologiei bidirecționale Wi-Fi prin orice fel de dispozitiv ce posedă un browser web (mobil, tabletă sau PC) astfel oferind o soluție bidirecțională de control și monitorizare a echipamentelor.

9. Dezvoltarea aplicației software pentru sistemul în versiunea 2 și a aplicației web folosită pentru monitorizare și control.

10. Dezvoltarea sistemului folosit pentru a reduce consumului de energie electrică în versiunea 3 prin crearea unui prototip hardware îmbunătățit care se află încă în stadiul incipient de dezvoltare. Acest sistem folosește circuitul integrat utilizat la sistemul anterior și sistemul de achiziție date menționat împreună cu o placă de dezvoltare performantă (Raspberry Pi 5).

11. Dezvoltarea aplicației software pentru sistemul versiunea 3 unde am folosit tehnologii software de tip învățare automată și rețele neuronale ce au rolul de a automatiza complet sistemul prin funcții de învățare care determină automat consumul de stand-by și timpul de folosire al utilizatorului fără să mai fie nevoie de o aplicație terță pentru monitorizare și control.

12. Obținerea unui consum redus de 52,71 de kWh pe lună prin implementarea sistemului pe patru echipamente ce au consum de energie electrică în stand-by.

13. Analiza comparativă a rezultatelor obținute cu cele 3 versiuni ale sistemului de reducere a consumului echipamentelor electrocasnice.

14. Studiu comparativ al rezultatelor obținute cu sistemul propus cu cele reglementate de UE și evaluarea impactului financiar al implementării sistemului propus.

3.2 Dezvoltări ulterioare ale tezei

Pentru dezvoltarea ulterioară a tezei se propune perfecționarea aplicației software a sistemului de reducere a consumului de energie electrică a echipamentelor electrocasnice în versiunea 3 prin optimizarea aplicației astfel încât să ofere o funcție de comunicare cu alte dispozitive și, în același timp, pentru a crea o rețea de sisteme ce au capacitatea de a învăța și înregistra automat consumurile de energie electrică ale altor echipamente. De asemenea poate oferi identificarea unei “amprente” de consum energetic a utilizării aparaturii electrocasnice în casele inteligente folosind tehnologia bidirecțională de comunicare Wi-Fi. Acesta nouă funcție a sistemului va oferi o nouă metodă de învățare adoptând tehnologii de rețele neuronale sau AI pentru a se perfecționa automat în ceea ce privește utilitatea lor astfel contribuind la reduceri și mai mari ale consumului energiei electrice atât în sectorul rezidențial cât și în cel industrial.

Bibliografie (selectivă)

- [1] Hu, Y., Chen, J., & Ding, Y. (2014). A smart home system based on ZigBee and Android technology. *Journal of Computers*, 9(10), 2489-2496.
- [2] Huang, Q., & Li, W. (2013). Design and implementation of a smart home solution based on the internet of things. *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, 178-181.
- [3] Ihara, M. (2019). Cybersecurity in smart homes. *Journal of Cyber Security Technology*, 3(1), 21-29.
- [4] Mann, S. (2016). Evolution of the smart home and its impact on technology. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(2), 21-25.
- [5] Desiderio, R.J.; Del Rio, P. Analysing the drivers of the efficiency of households in electricity consumption, *Energy Policy* 2022, Vol 164, pp.43-61.
- [6] Eurostat, *Energy Consumption in Households*, (2023).
- [7] Villanueva, D.; San-Facundo, D.; Miguez-Garcia, E.; Fernandez-Otero, A. Modeling and Simulation of Household Appliances Power Consumption. *Appl. Sci.*2022, 12(7), 3689, pp. 202-222.
- [8] Hubert, P.; Gerber, M.; Rumsch, A., Paice, A. Prediction of domestic appliances usage based on electrical consumption, *Energy Informatics* volume 12018, Article number: 16, pp. 266-271.
- [9] Moldovan, D.; Slowik, A. Energy consumption prediction of appliances using machine learning and multi-objective binary grey wolf optimization for feature selection. *Applied Soft Computing*2021, vol 111, pp.103-121.

- [10] Chauhan, R. K.; Chauhan, K.; Badar, A. Optimization of electrical energy waste in house using smart appliances management System-A case study, *Journal of Building Engineering* 2021, no. 46, vol 2, pp.37-45.
- [11] Molla, T.; Khan, B.; Moges, B. Alhelou, H.; Zamani, R.; Siano, P. Integrated energy optimization of smart home appliances with cost-effective energy management system, *CSEE Journal of Power and Energy Systems* 2019, no.5, vol.2, pp.249-258.
- [12] Issi, F.; Kaplan, O. The Determination of Load Profiles and Power Consumptions of Home Appliances, *Energies* 2018, Vol 11.
- [13] Perumal, T., & Sulaiman, M. N. (2014). Proactive architecture for Internet of Things (IoTs) management in smart homes. *Journal of Network and Computer Applications*, 44, 269-279.
- [14] Rhee, W., & Park, J. (2015). Smart home automation with wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(10), 691672.
- [15] Ries, M., & Schuster, F. (2019). The Internet of Things (IoT) in smart homes: An exploratory study. *Telematics and Informatics*, 36, 121-135.
- [16] Tsai, C. W., Lai, C. F., & Vasilakos, A. V. (2014). Future trends and recent advances in wireless power transfer for smart homes. *IEEE Wireless Communications*, 21(4), 54-60.
- [17] Zhu, J., & Wang, L. (2014). Smart homes: Overview and key technologies. *IEEE Communications Magazine*, 52(8), 92-101.
- [18] Ziegler, C. (2016). Smart home communication networks: A review. *Journal of Communications and Networks*, 18(4), 567-581.
- [19] Zou, Y., & Liang, X. (2016). Wireless sensor network design for smart homes. *Journal of Communications*, 11(4), 340-345.
- [20] Zuquete, A., & Pinto, A. (2019). An integrated framework for smart home management. *IEEE Access*, 7, 129082-129092.
- [21] **AC Gheorghe**, H. Andrei, E. Diaconu, Data measurement and modeling method of electrical parameters of basic household equipment, 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI) (2022).
- [22] **AC Gheorghe**, I. Udroi, E. Stan, Electricity Consumption Measurement System Using ESP32, *Tea Scientific Newsletter of Electrical Engineering Faculty*, 21, 2, pp. 23-26 (2021).
- [23] **Gheorghe, A. C.**; Andrei, H.; Diaconu, E. Système Intelligent Pour la Réduction de la Consommation Electrique en Veille Des Équipements Ménagers. *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série Électrotechnique et Énergétique* 2023, Vol.68(4), pp.413-418.
- [24] **AC Gheorghe**, H. Andrei, E. Diaconu, PC Andrei, Smart system for energy saving in stand-by residential consumption, *Energies* 2024. *Energies* 2024, 17(12), 2989. DOI: 10.3390/en17122989. WOS:001256690200001.

- [25] Jurnalul Oficial al Uniunii Europene 2021/C 373/01: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:C:2021:373:TOC>
- [26] Regulament European EU 2023/826: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:32023R0826>

Research on the Characterization, Modeling, and Simulation of Electrical Equipment in Smart Homes

- Abstract -

**PhD Supervisor:
Prof. univ. dr. ing. Horia Leonard ANDREI**

**PhD Student:
Drd. ing. Andrei Cosmin GHEORGHE**

**TÂRGOVIȘTE
2024**

Table of Contents

Acknowledgments.....	4
Chapter 1. Introduction. Smart Homes. The Importance and Development of Smart Homes. Present and Future Perspectives	4
Chapter 2. Electrical Equipment in Smart Homes. Operation of Automated Systems in Smart Homes. Communication Networks Used.....	6
Chapter 3. Measurement of Electrical Parameters of the Main Equipment Used in Smart Homes. Numerical Methods for Approximating and Modeling Their Characteristics. Automated Control and Optimization Systems.	8
1.1 Measurement of Electrical Parameters of the Main Equipment Used in Smart Homes.....	8
1.1.1 Measurement of Electrical Parameters of the Main Equipment Used in Smart Homes Using Fluke 1738 Power Logger	9
1.1.1.1 The Washing Machine Beko WUE81436 CST.....	9
1.1.1.2 Laptop Lenovo 15ACH6H	11
1.1.1.3 TV LG 40UH630V.....	13
1.1.1.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A	15
1.1.2 Design of the Data Acquisition System (DAQ).....	17
1.1.3 Measurement of Electrical Parameters of Household Appliances	19
1.1.3.1 Washing Machine Beko WUE81436 CST	19
1.1.3.2 Laptop Lenovo 15ACH6H.....	19
1.1.3.3 TV LG 40UH630V.....	19
1.1.3.4 Sony Playstation 5 CFI-1003	20
1.2 Numerical Methods for Approximating Characteristics and Modeling Equipment.....	20
1.2.1 Washing Machine Beko WUE81436 CST	21
1.2.2 Laptop Lenovo 15ACH6H	25
1.2.3 TV LG 40UH630V	30
1.2.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A.....	34
1.3 Automated Control and Optimization Systems	39
1.3.1 System for Reducing Consumption of Household Appliances Version 1.....	39
1.3.2 Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 2	40
1.3.3 Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 3	41
1.3.4 Simultaneous Monitoring and Control of Equipment	43
1.4 Comparison of Automated Control and Optimization Systems	44
Capitolul 4. Autonomous Operation of Electrical Equipment. Bidirectional Communication Networks. Optimization of Energy Consumption.	45
2.1 Autonomous Operation of Electrical Equipment	45
2.1.1 Washing machine Beko (WUE81436)	46
2.1.2 Laptop Lenovo Legion (15ACH6H).....	48
2.1.3 TV LG (40UH630V).....	50
2.1.4 Sony Playstation 5 (CFI-1003A).....	52
2.2 Optimization of Energy Consumption.....	54
Chapter 5. Conclusions. Original Contributions. Future Developments of the Thesis.....	57
3.1 Original Contributions	59
3.2 Future Developments of the Thesis	61
Selective Bibliography.....	61

Keywords: electrical parameter measurement, energy consumption reduction, household appliances, automation, energy reduction system, Wi-Fi, Arduino, Raspberry Pi, web application, Android application, appliance characteristic modeling, machine learning, artificial intelligence, economic efficiency.

ACKNOWLEDGMENTS

With deep gratitude and respect, I would like to thank Professor Dr. Eng. Horia Leonard ANDREI for the guidance and support he provided me throughout the completion of my doctoral thesis. Professor's guidance and constant dedication were fundamental to the success of this work. Throughout this academic journey, I benefited from his expertise and wisdom, which helped me overcome numerous challenges and grow both professionally and personally. The support he provided, whether through constructive feedback or the valuable time he dedicated to me, had a significant impact on my development as a researcher. I thank him for his patience and willingness to always answer my questions and guide me in the right direction. His essential contribution and unconditional involvement were the keys to the success of this work.

I thank Associate Professor Dr. Eng. Emil Mihai Diaconu. His contribution, manifested through his academic expertise and constant dedication, was essential in the development and completion of this work. The patience and wisdom with which he provided genuine support and guided the research had a profound impact on the progress and success of the project. His unconditional support was a reliable pillar for the thesis, providing me with the motivation and confidence needed to overcome the challenges encountered.

I thank Professors Dr. Eng. Dinu COLTUC and Dr. Eng. Nicolae VASILE for the advice they provided throughout my doctoral studies.

Last but not least, I want to sincerely thank my parents and my wife for their unconditional support and, most importantly, for believing in me from the very beginning of this journey. Without their support and faith, my achievements would not have been possible.

Chapter 1. Introduction. Smart Homes. The Importance and Development of Smart Homes. Present and Future Perspectives

The concept of the 'smart home' began to take shape in the early 1980s with the emergence of ideas about 'smart buildings.' Initially, smart homes focused primarily on enhancing user comfort. Over time, smart homes have evolved to include technologies that enable remote or centralized control of functions and services, prioritizing the needs and desires of residents regarding various household features and functionalities [1].

Smart home systems use the internet to enable remote control capabilities. Historically, the internet was predominantly used for web browsing, information searching, engaging in chats, and downloading content. However, with rapid technological advancements, the Internet has also become an essential tool for monitoring and controlling services, facilitating interaction with machines and devices. These developments have significantly improved home comfort and security, enabled more rational use of energy and other resources, and led to substantial savings. Initially, smart homes aimed to increase the comfort of working individuals, but they now also cater to the personal needs of the elderly and people with disabilities, providing vital assistance and support—a field that promises significant future development.

Early visions of smart homes, which focused on automating and controlling every electrical device without the need for manual intervention, have expanded to include a wide range of applications. In recent years, smart systems have become popular in residential homes, commercial centers, skyscrapers, hotels, and other facilities. Major organizations like MIT, Siemens, Cisco, IBM, Xerox, and Microsoft are heavily involved in this sector, with approximately 20 smart home laboratories developed. These laboratories serve as more than just training facilities; they involve extensive operations that significantly impact the industry [2].

To build a superior smart building, certain key factors must be considered. The process requires a skilled designer who is well-versed in environmental conditions, open to new developments, and deeply familiar with smart systems. In this context, 'smart design' encompasses sustainable design, high-tech usage, and user-friendly configurations.

Smart homes are typically examined through four main dimensions:

The physical structure of the building: important for features like heating and natural ventilation, which are considered in the design phase. Engineers calculate the optimal use of insulating materials and strategically position the building to maximize energy efficiency.

System aspects: including security, air conditioning, and power control.

Services offered: such as Internet connectivity and communications.

Management features: covering energy management, lighting, and irrigation, which can be integrated after construction or in prefabricated buildings [3].

In the modern era, automation is increasingly becoming an integral part of our homes and workplaces. Generally described as a process that executes predetermined sequences with minimal human intervention, automation is supported by various sensors that monitor processes, along with actuators and various techniques and devices [4].

Smart home technologies have permeated nearly all facets of domestic life, revolutionizing the way we interact with our living spaces. These innovations range from entertainment and lighting to security and household management, each designed to enhance comfort, safety, and efficiency. Here is a detailed overview of various smart home technologies:

Smart TVs: These devices connect to the internet to stream content via apps, offering on-demand videos and music. Many smart TVs are equipped with voice or gesture recognition, allowing for easier navigation and control.

Smart lighting systems: Products like Philips Lighting Holding B.V.'s Hue can detect the presence of people in a room and adjust lighting accordingly. These smart bulbs can also adjust their brightness based on available natural light, optimizing energy consumption while maintaining optimal lighting conditions.

Smart thermostats: Devices like the Nest thermostat have built-in Wi-Fi, allowing users to set, monitor, and adjust home temperatures remotely. These thermostats learn their users' habits over time, automatically adjusting settings to maximize comfort and energy efficiency. They also provide energy usage reports and maintenance reminders, such as when to change air filters.

Smart locks and garage door openers: These allow users to control access to their homes remotely. Smart locks can recognize when residents are nearby and automatically unlock doors while also providing the ability to grant or deny visitor access remotely.

Smart security cameras and motion sensors: These systems allow residents to monitor their homes remotely, providing peace of mind while away or on vacation. Smart sensors can distinguish between residents, visitors, pets, and potential intruders, alerting authorities to suspicious activity.

Automated pet and plant care: Connected feeders handle pet feeding schedules, and smart irrigation systems can be programmed to water indoor plants and lawns based on timers or environmental sensors.

Smart kitchen appliances: This category includes a variety of devices, such as coffee makers that can automatically brew coffee at a set time, smart refrigerators that track expiration dates and create shopping lists, and even suggest recipes based on available ingredients. Other appliances include smart slow cookers, toasters, and washing machines that optimize their functions for energy efficiency and convenience.

Home system monitors: These devices are essential for preventing potential disasters, such as detecting power surges and shutting down appliances or identifying water leaks or frozen pipes to stop water flow, thereby preventing flooding [5].

Each of these technologies not only simplifies routine tasks but also helps create a more responsive and sustainable living environment. As these devices continue to evolve, they promise even greater integration and utility in the smart homes of the future.

Chapter 2. Electrical Equipment in Smart Homes. Operation of Automated Systems in Smart Homes. Communication Networks Used

In the dynamic field of smart homes, household appliances are no longer just functional; they are also seamlessly integrated with advanced technology to enhance the living experience. Smart homes use a wide range of connected devices and appliances that not only provide standard utilities but also offer enhanced control, efficiency, and interaction. This integration transforms mundane tasks into sophisticated, automated processes, contributing to a lifestyle that symbolizes comfort and modernity [58].



Figura 2.1 Smart Home Equipment Diagram [45]

Smart homes are equipped with a wide range of household appliances that fall into several categories:

Smart Appliances: The kitchen in a smart home is a hub of high-tech appliances. Smart refrigerators, for example, not only keep food fresh but also monitor contents, suggest recipes based on available ingredients, and alert homeowners when food items are running low. Smart ovens can be preheated remotely and are capable of adjusting cooking times and temperatures based on the dish being prepared, thanks to built-in recipes and sensors.

Climate Control Systems: Smart thermostats and HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) systems intelligently manage the home's temperature for optimal comfort and energy efficiency. These devices learn the owner's preferences and routines to automatically adjust settings, reduce energy consumption when the house is unoccupied, and even provide maintenance notifications.

Lighting and Window Control: Smart lighting systems allow residents to control lights remotely via smartphone apps, set custom scenes and schedules, and even adjust lighting based on natural light availability or occupancy patterns. Similarly, automated

blinds and curtains can be programmed to open and close based on the time of day or sunlight, helping to conserve energy and provide security [59].

Security and Monitoring: Enhanced security is a key feature of smart homes, encompassing smart locks, surveillance cameras, and alarm systems that homeowners can monitor and control remotely. These systems offer features such as motion detection, real-time alerts, and integration with voice assistants for hands-free operation.

Entertainment Systems: Entertainment in a smart home is sophisticated and highly customizable. Smart TVs and home theater systems are connected to the internet, allowing the streaming of various media content and easy integration with other smart devices for a unified home entertainment experience.

Utility and Maintenance Equipment: Even the less visible aspects of home maintenance have been transformed by smart technology. Connected utility meters and smart water systems facilitate the monitoring of water and energy consumption, detect leaks, and help manage utilities more efficiently to conserve resources and reduce costs.

The convergence of these smart devices in a home creates a coherent ecosystem that intelligently responds to the needs of its residents, making daily routines easier and the home environment more comfortable and secure. As technology continues to evolve, the scope of household appliances in smart homes will expand, further improving the quality of life and efficiency for those who embrace this connected lifestyle [60].

Chapter 3. Measurement of Electrical Parameters of the Main Equipment Used in Smart Homes. Numerical Methods for Approximating and Modeling Their Characteristics. Automated Control and Optimization Systems.

1.1 Measurement of Electrical Parameters of the Main Equipment Used in Smart Homes

1.1.1 Measurement of Electrical Parameters of the Main Equipment Used in Smart Homes Using Fluke 1738 Power Logger

The measurement of electrical parameters and the identification of household appliances' energy consumption, especially in standby mode, were carried out at the beginning of the experimental research in this thesis using a Fluke 1738 Power Logger. As a calibrated measuring instrument, the data measured by it were used as a reference for the data acquisition system (DAQ) developed later. The Fluke 1738 Power Logger is a portable and sophisticated instrument designed for comprehensive energy analysis and the recording of electrical power quality. It supports the measurement of single-phase/three-phase energy and can record over 500 parameters simultaneously, making it ideal for long-term studies and the identification of intermittent issues. The intuitive touchscreen interface, wireless data access, and compliance with international power quality standards ensure ease of use and reliability [80].

Figures 3.1 and 3.2 show the variations in current and power in normal operation mode, while figures 3.3 and 3.4 depict the standby mode of the Beko WUE81436 CST washing machine, with measurements taken using the Fluke 1738 Power Logger.

1.1.1.1 The Washing Machine Beko WUE81436 CST

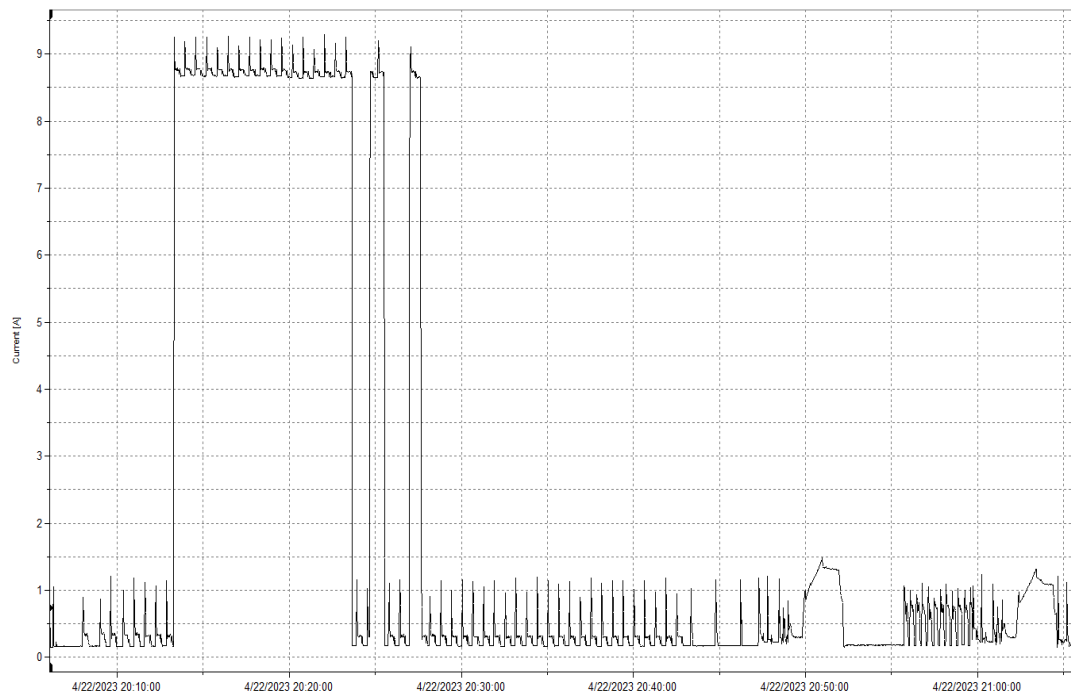


Figura 3.1 Current Consumption for the Washing Machine in Normal Operating Mode

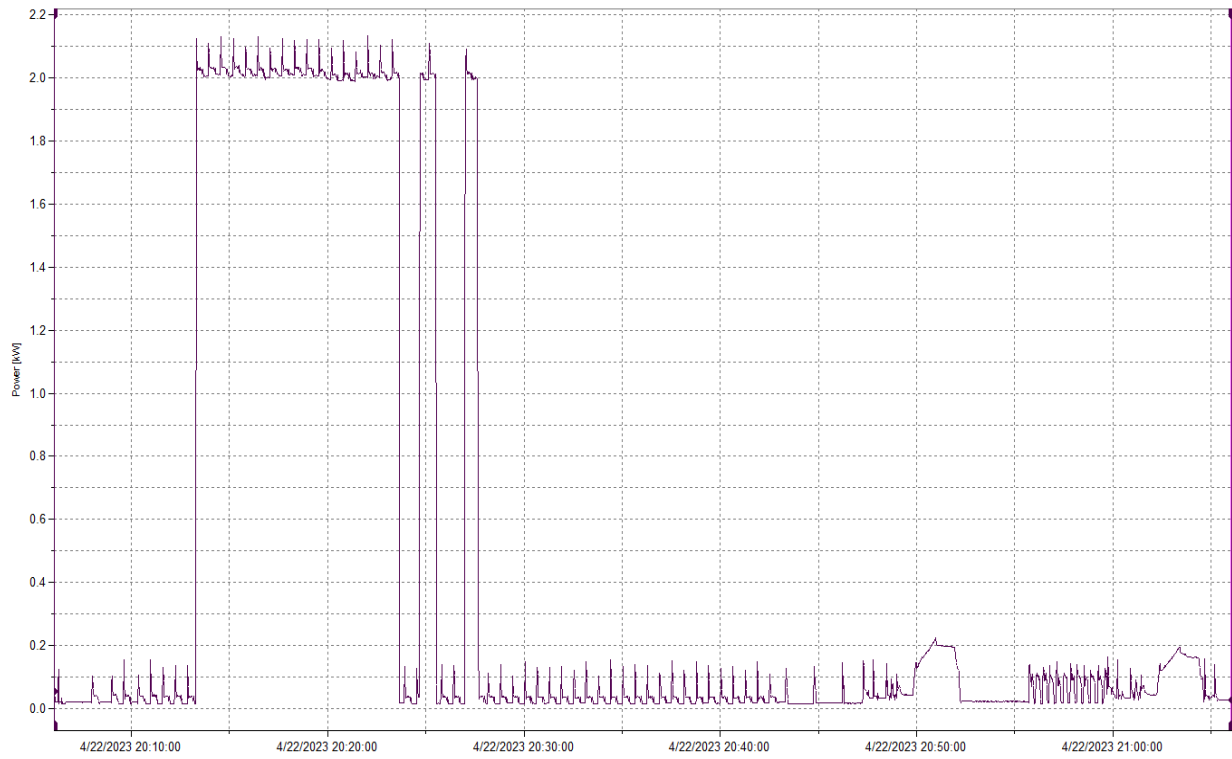


Figura 3.2 Power Consumption for the Washing Machine in Normal Operating Mode

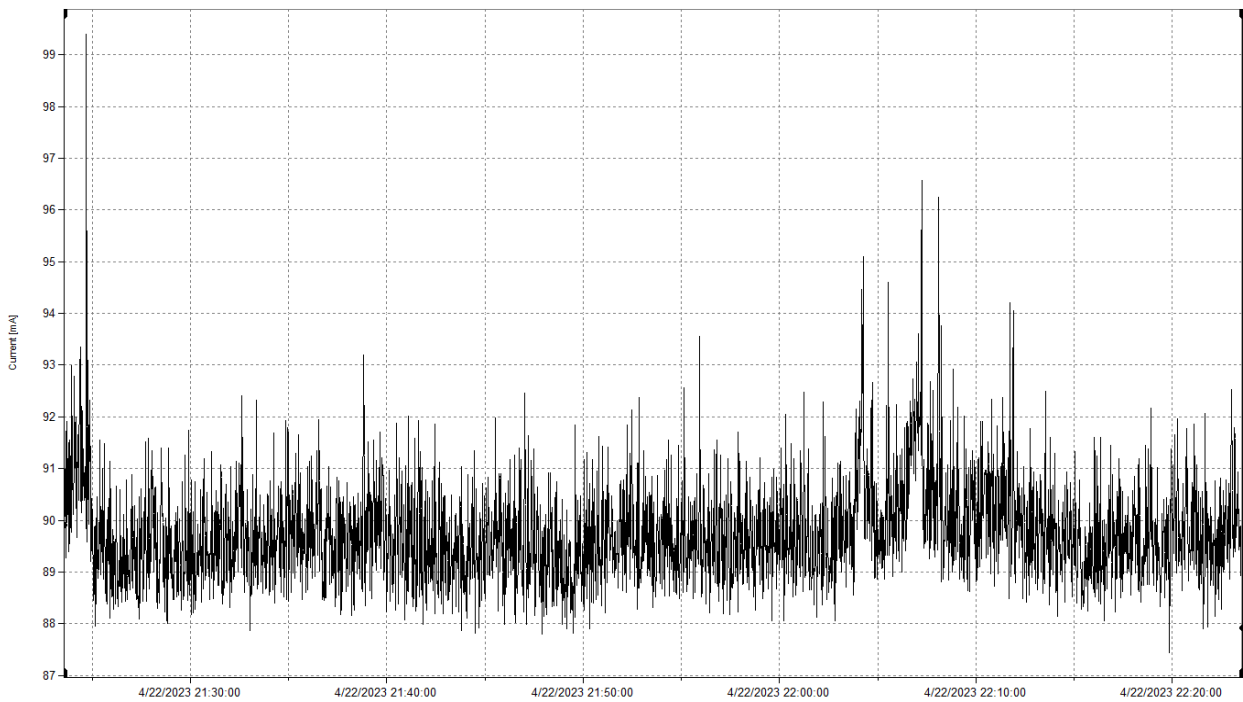


Figura 3.3 Current Consumption for the Washing Machine in Standby Mode

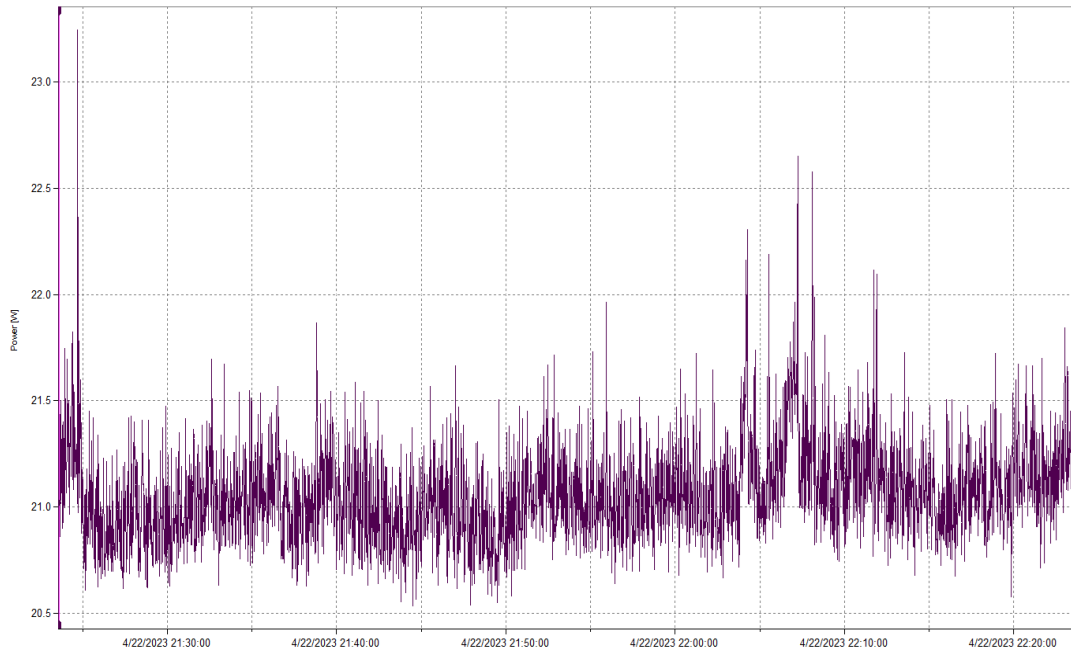


Figure 3.4 Power Consumption for the Washing Machine in Standby Mode

1.1.1.2 Laptop Lenovo 15ACH6H

In figure 3.11 and figure 3.12, the current and power measured with the Fluke 1738 equipment in the normal operating mode of the Lenovo 15ACH6H Laptop can be observed, while figure 3.13 and figure 3.14 present the current and power graphs in standby mode for the same Laptop.

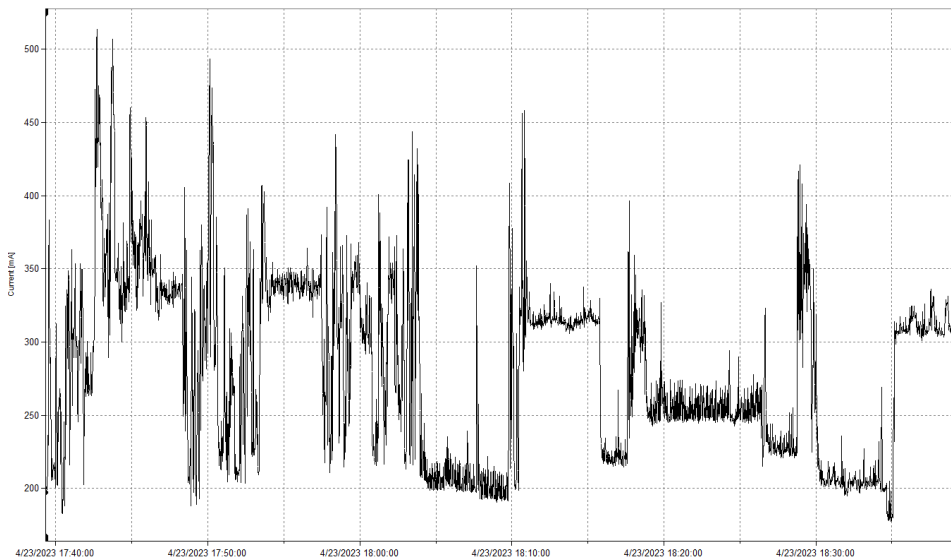


Figure 3.11 Current Consumption for the Laptop in Normal Operating Mode

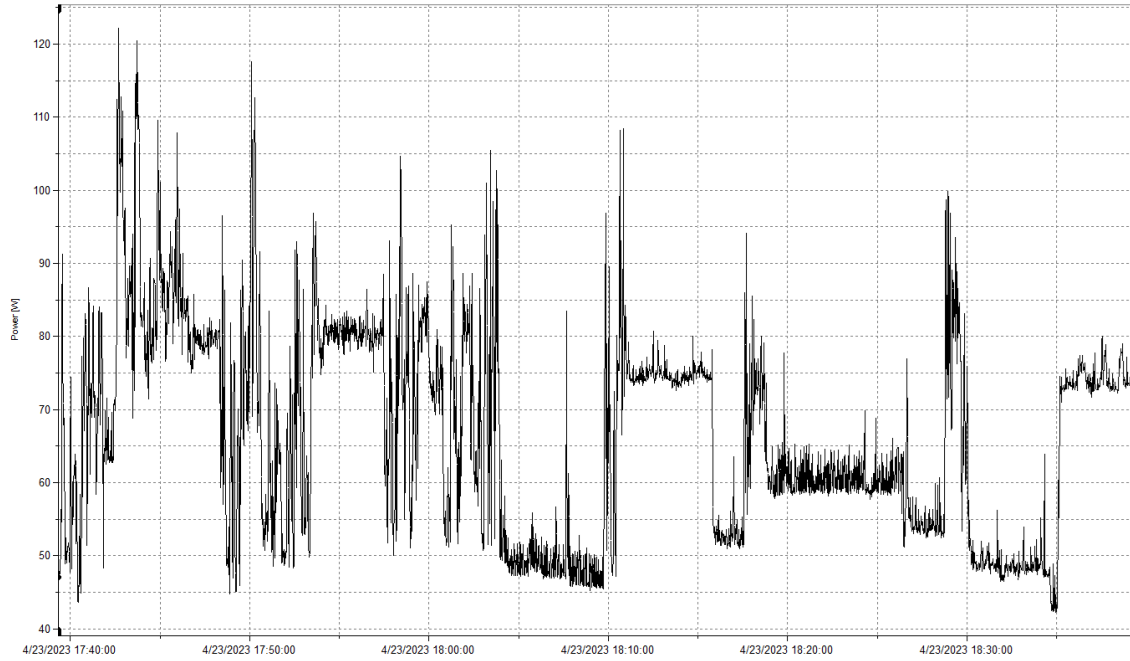


Figure 3.12 Power Consumption for the Laptop in Normal Operating Mode

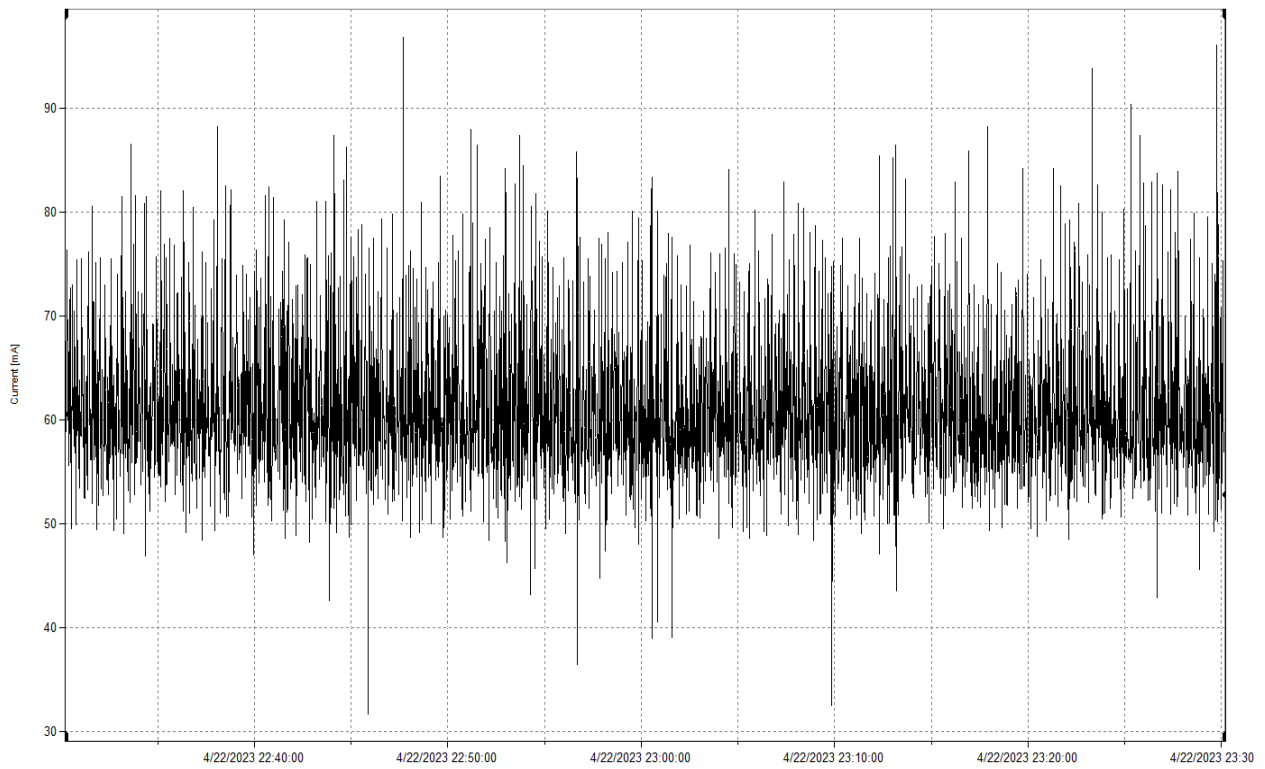


Figure 3.13 Current Consumption for the Laptop in Standby Mode

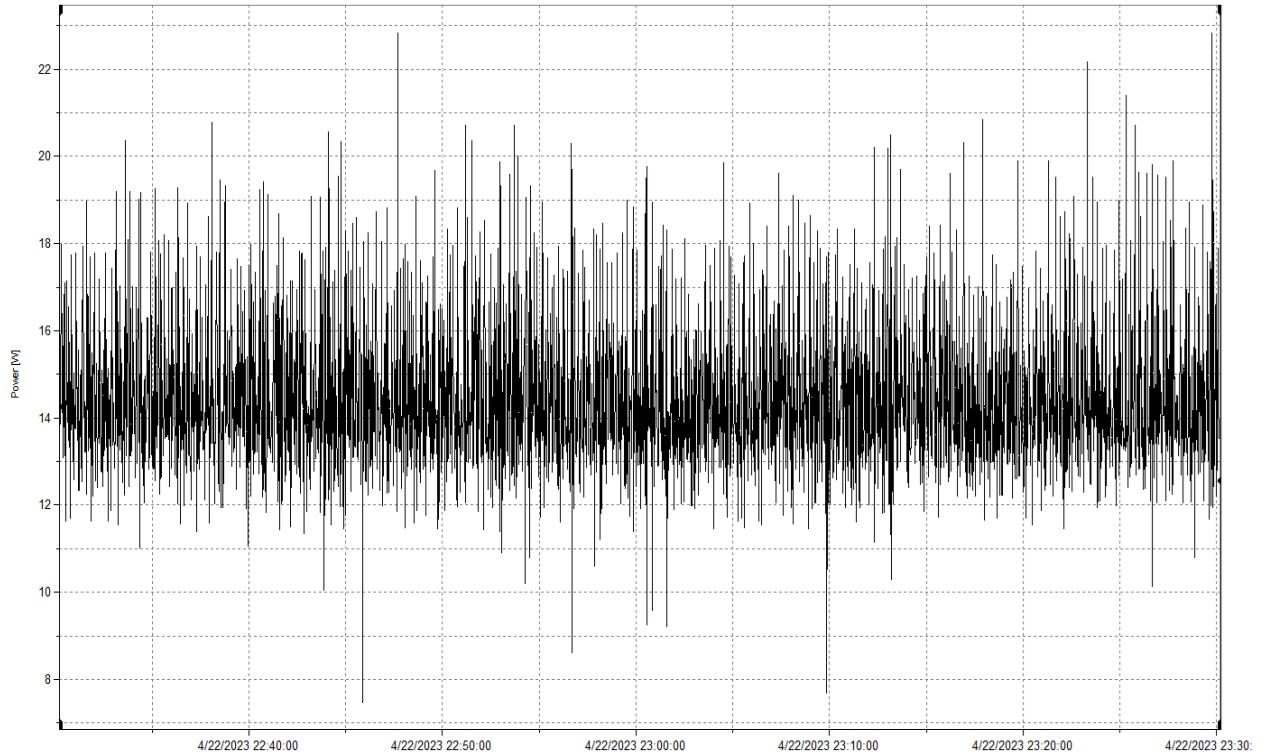


Figura 3.14 Power Consumption for the Laptop in Standby Mode

1.1.1.3 TV LG 40UH630V

In figures 3.15 and 3.16, the variations in current and power in normal operating mode are represented, while figures 3.17 and 3.18 show the standby mode of the LG 40UH630V TV, with measurements taken using the Fluke 1738 Power Logger.

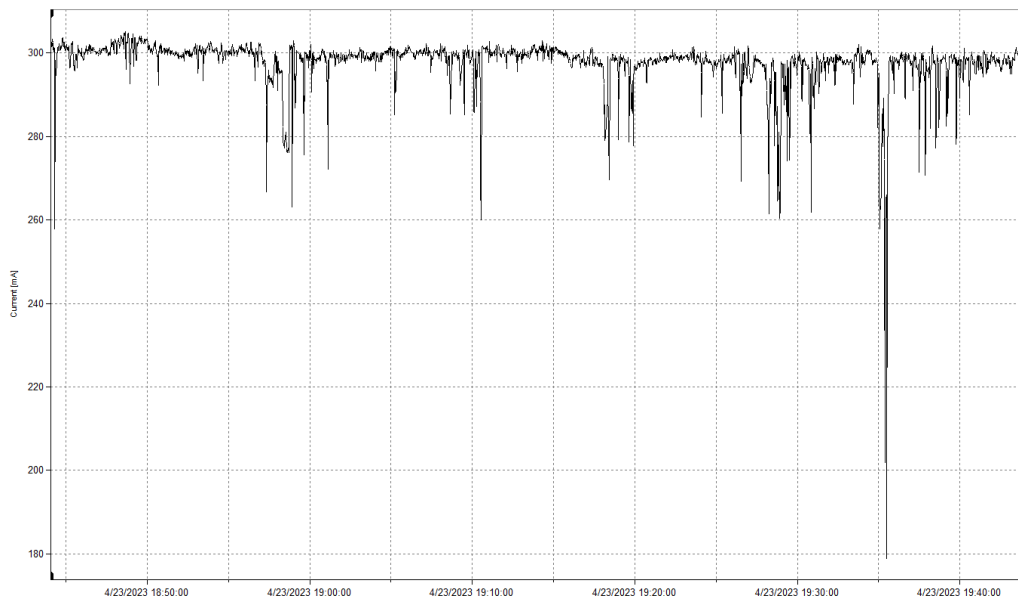


Figura 3.15 Current Consumption for TV in Normal Operating Mode

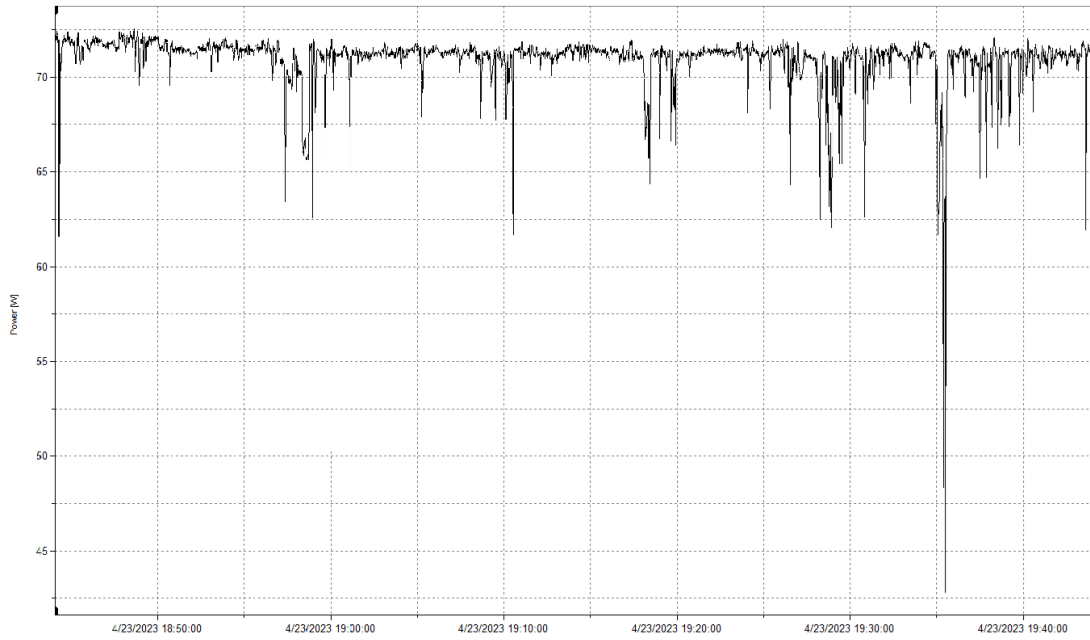


Figura 3.16 Power Consumption for TV in Normal Operating Mode

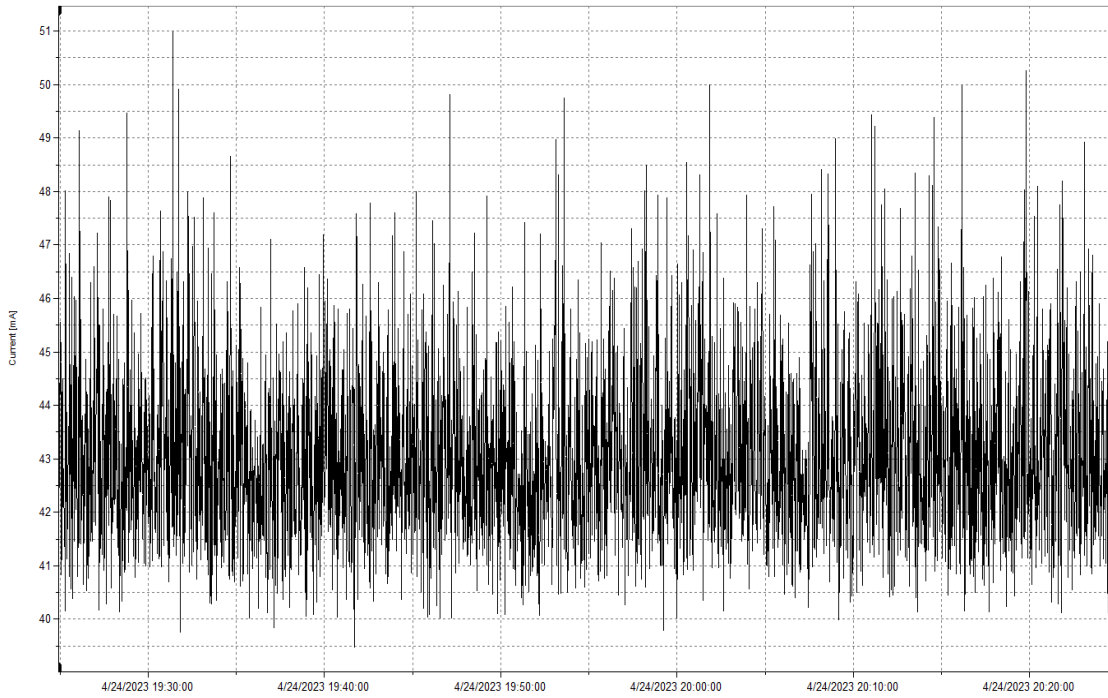


Figura 3.17 Current Consumption for TV in Standby Mode

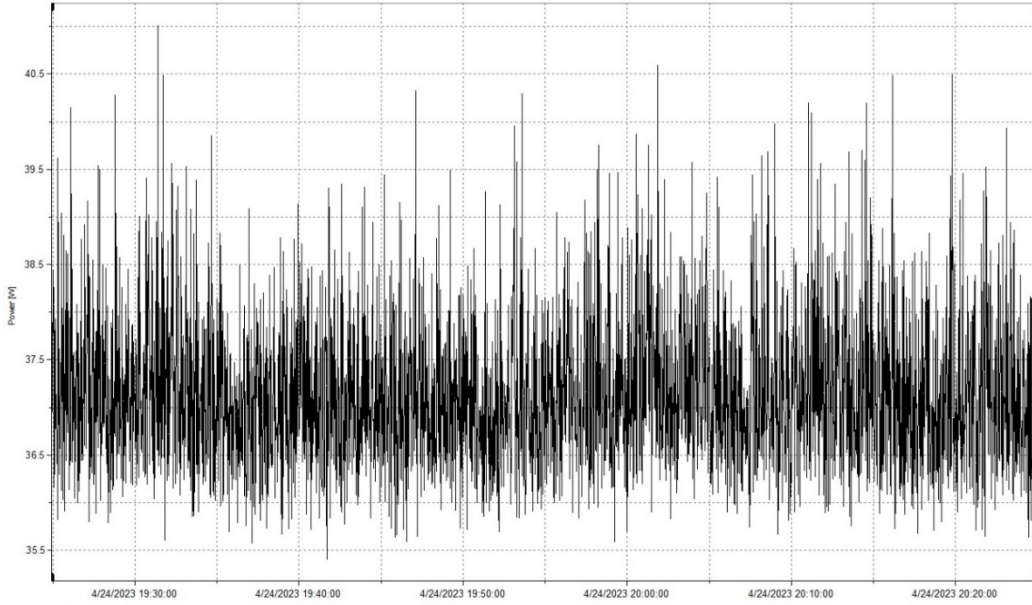


Figura 3.18 Power Consumption for TV in Standby Mode

1.1.1.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A

In figures 3.19 and 3.20, the variations in current and power in normal operating mode are represented, while figures 3.21 and 3.22 show the standby mode of the PlayStation 5 CFI-1003A, with measurements taken using the Fluke 1738 Power Logger.

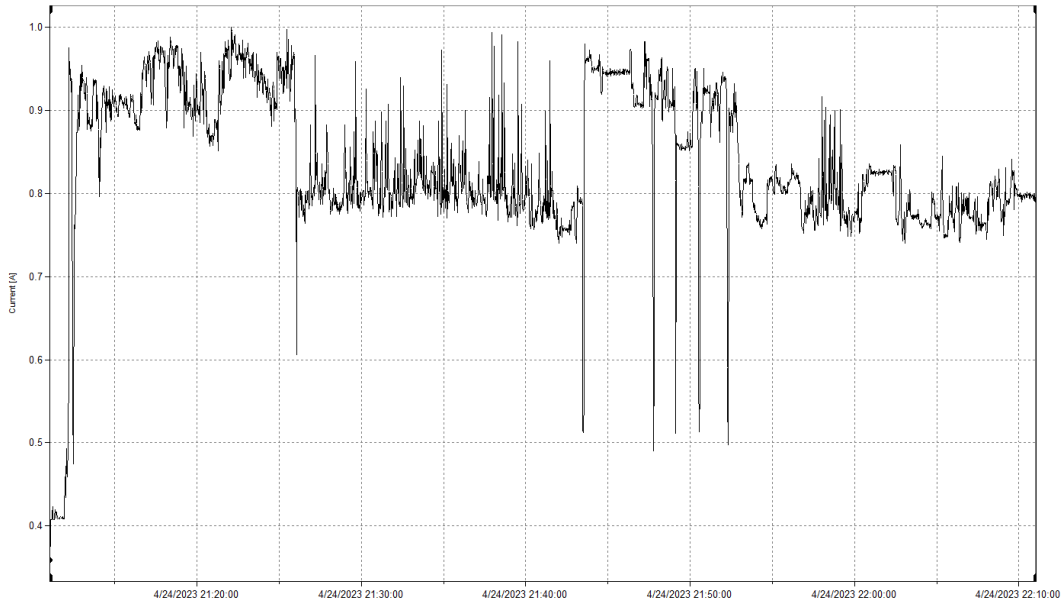


Figura 3.19 Current Consumption for PlayStation in Normal Operating Mode

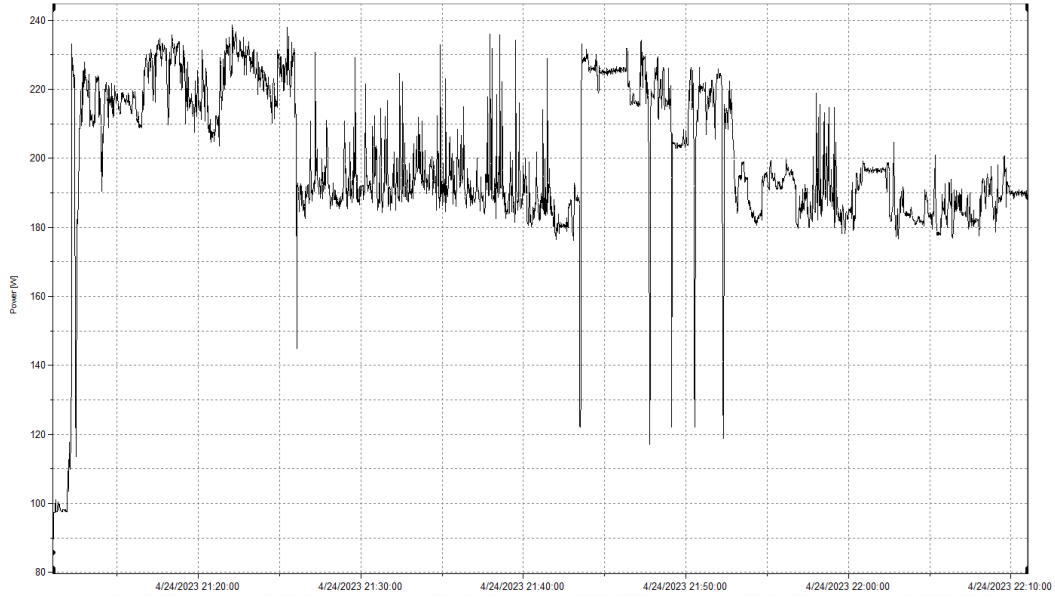


Figura 3.20 Power Consumption for PlayStation in Normal Operating Mode

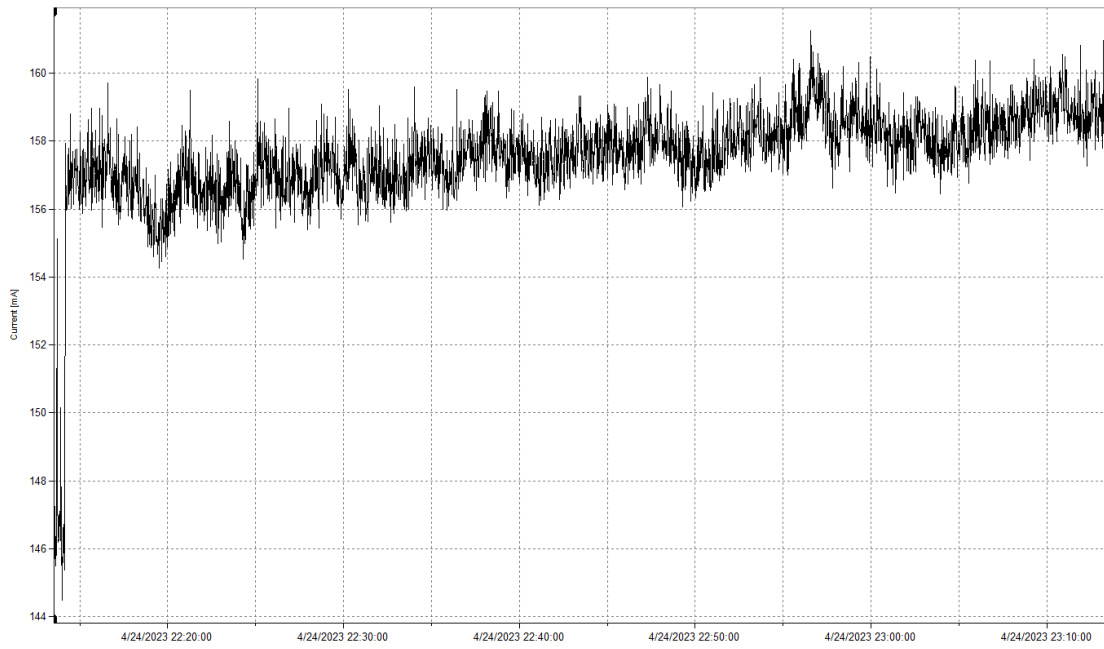


Figura 3.21 Current Consumption for PlayStation in Standby Mode

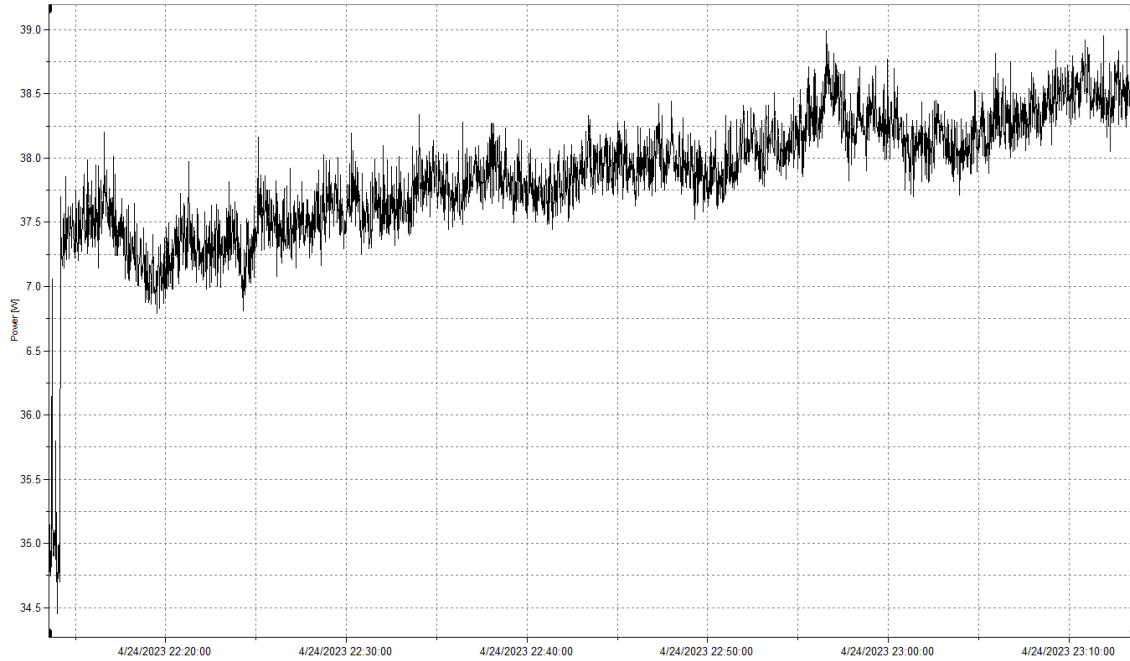


Figura 3.22 Power Consumption for PlayStation in Standby Mode

1.1.2 Design of the Data Acquisition System (DAQ)

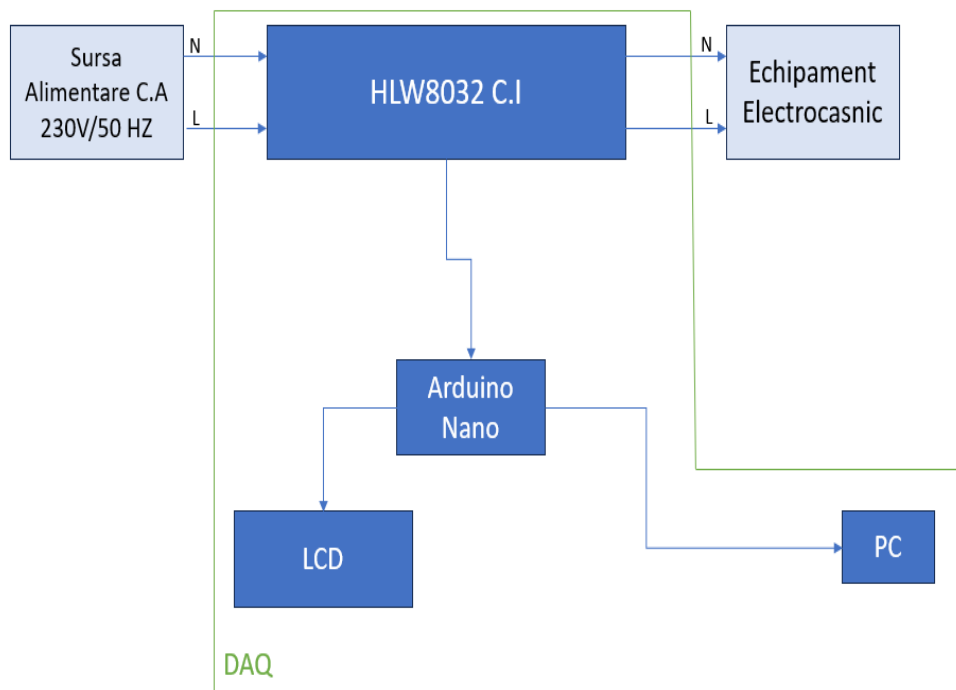


Figura 3.25 Data Acquisition System (DAQ)

The Data Acquisition System (DAQ) presented in figure 3.25 is used to obtain measurements from household appliances. This system is built around an Arduino Nano development platform. This board collects data from the HLW8032 energy measurement integrated circuit (IC) via a serial connection (UART) and transmits it to a computer via a USB connection. The data is then displayed and recorded using the serial monitor function in the Arduino IDE. The core of the energy monitoring configuration is the HLW8032 IC, which excels in single-phase electrical energy measurement and is noted for not requiring calibration. This feature makes it particularly useful in designing various products, such as smart electricity meters and smart power outlets. The supporting components of the IC include the analog voltage supply of the chip, analog inputs for voltage and current detection, and digital output. It also supports data transmission through serial communication (figure 3.26).



Figura 3.26 Fully Assembled Data Acquisition System (DAQ)

1.1.3 Measurement of Electrical Parameters of Household Appliances

1.1.3.1 Washing Machine Beko WUE81436 CST

For the measurement of household appliances, a Beko WUE81436 CST washing machine was chosen, which has a total current consumption of 10 A and a total power of 2200W. Measurements for this equipment were carried out both in normal operating mode and in standby mode using the previously proposed DAQ system, utilizing the connection diagram presented in figure 3.25. The washing machine's electrical energy consumption can be observed in table 3.1 for both operating modes.

Table 3.1. Washing Machine Consumption in Normal Operating Mode and Standby Mode

Household Appliance	Consumption	Time
Washing Machine Normal Mode	0.73960 kWh	1 hour
Washing Machine Standby Mode	0.01927 kWh	1 hour

1.1.3.2 Laptop Lenovo 15ACH6H

The fifth piece of equipment chosen for measurement was the Lenovo 15ACH6H laptop, which has a total power of 300W (the total power information is provided by the manufacturer). Measurements for this equipment were carried out in both normal operating mode and standby mode. The electrical energy consumption can be observed in table 3.5 for both operating modes.

Table 3.5. Laptop Consumption in Normal Operating Mode and Standby Mode

Household Appliance	Consumption	Time
Laptop Normal Mode	0.07224kWh	1 hour
Laptop Standby Mode	0.01373kWh	1 hour

The standby mode of the laptop mentioned in this article refers to the laptop being turned off and connected to the power grid. It is important to note that, regardless of the laptop's standby mode, whether it is in conventional standby mode, also known as sleep mode, or in hibernation mode, it is equipped with an internal battery that prevents data loss and ensures a smooth transition between operating modes.

1.1.3.3 TV LG 40UH630V

The sixth piece of equipment chosen for measurement was the LG 40UH630V television. Measurements for this equipment were carried out in both normal operating mode and standby mode. The electrical energy consumption can be observed in table 3.6 for both operating modes.

Tabel 3.6. TV Consumption in Normal Operating Mode and Standby Mode

Household Appliance	Consumption	Time
TV Normal Mode	0.07004kWh	1 hour
TV Standby Mode	0.00815kWh	1 hour

1.1.3.4 Sony Playstation 5 CFI-1003

The seventh piece of equipment chosen for measurement was the Sony PlayStation 5 CFI-1003A console. Measurements for this equipment were carried out in both normal operating mode and standby mode. The electrical energy consumption can be observed in table 3.7 for both operating modes.

Tabel 3.7. PlayStation 5 Consumption in Normal Operating Mode and Standby Mode

Household Appliance	Consumption	Time
Playstation 5 Normal Mode	0.21241kWh	1 hour
Playstation 5 Standby Mode	0.03658kWh	1 hour

1.2 Numerical Methods for Approximating Characteristics and Modeling Equipment

To obtain the most accurate approximation of the equipment characteristics, I used the 'polyfit' function from the Matlab software package library, which provides the coefficients for a degree-n polynomial approximation $P(x)$. I verified the interpolation results obtained in Matlab using the PyCharm program and the NumPy library. From the two applications, Matlab and PyCharm, the approximation polynomials with the highest mean square error R^2 values (closest to 1) were selected, and these values obtained with the two programs were extremely close, sometimes even identical, as will be presented in the tables in the following paragraphs.

MATLAB and the NumPy Library were chosen because of their ability to efficiently manage large data sets and their ease of use for parallel computation. This

makes them suitable for high-performance computing tasks, where interpolations might need to be performed on large volumes of data.

1.2.1 Washing Machine Beko WUE81436 CST

For approximating the characteristics of the washing machine in normal operating mode, I selected approximately 250 samples from the measurements presented in subchapter 3.1.2.1. The characteristics evaluated included both the absorbed current, represented in Figures 3.56 and 3.57, and the energy consumption, represented in Figures 3.58 and 3.59. In the graphical representations in these figures, the red line illustrates the set of measured values, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm.

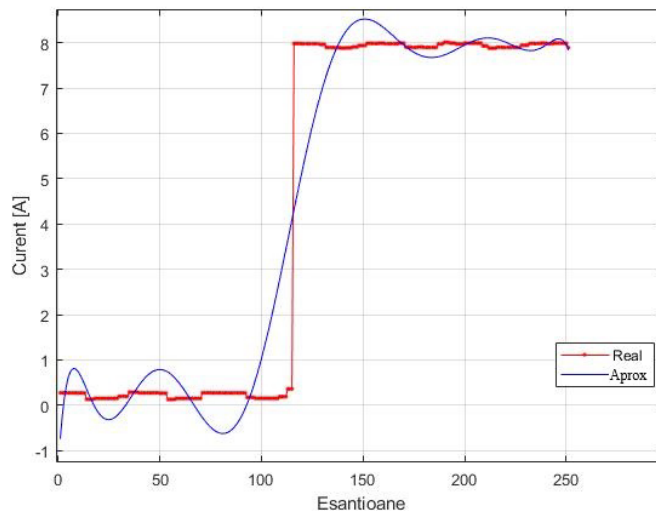


Figura 3.56 Matlab Interpolation for the Absorbed Current of the Washing Machine in Normal Operating Mode

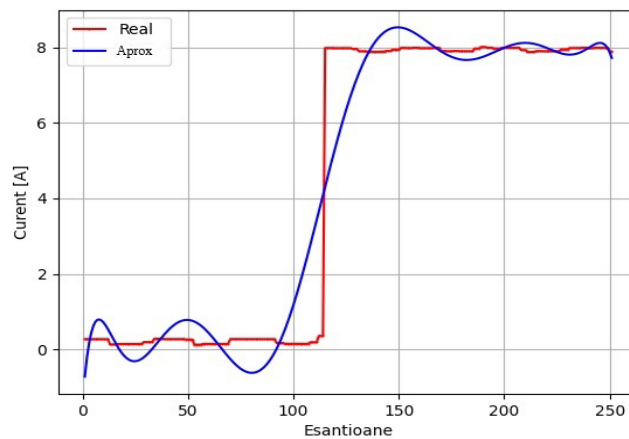


Figura 3.57 PyCharm Interpolation for the Absorbed Current of the Washing Machine in Normal Operating Mode

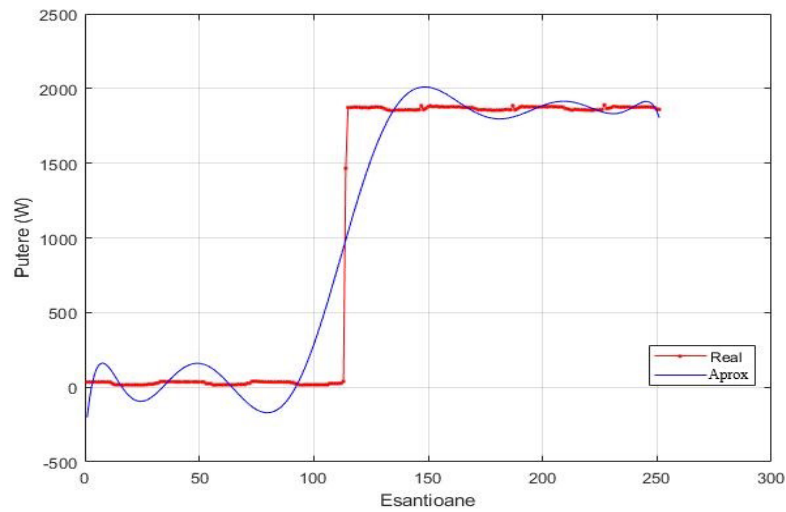


Figura 3.58 Interpolarea Matlab pentru consumul de energie al mașinii de spălat în modul normal de funcționare

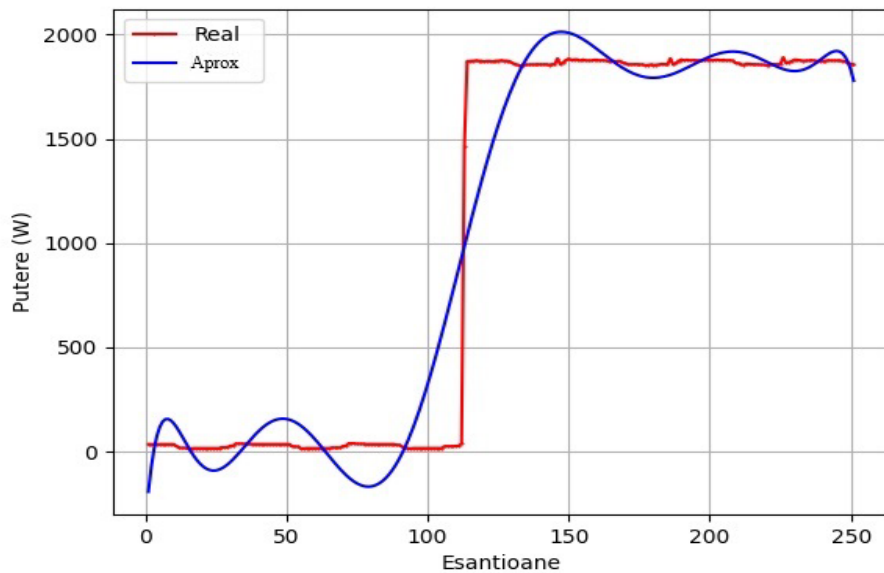


Figura 3.59 PyCharm Interpolation for the Energy Consumption of the Washing Machine in Normal Operating Mode

In normal operating mode, the R^2 mean square error calculated by Matlab closely aligns with the results obtained by the PyCharm program, both for the current characteristic and for energy consumption, as shown in the values presented in table 3.9.

For approximating the characteristics of the washing machine, I selected approximately 250 samples from the measurements presented in subchapter 3.1.2.1 in standby mode. The characteristics evaluated included both the absorbed current, represented in figures 3.60 and 3.61, and the energy consumption, represented in figures

3.62 and 3.63. In the graphical representations in these figures, the red line illustrates the set of measured values, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm.

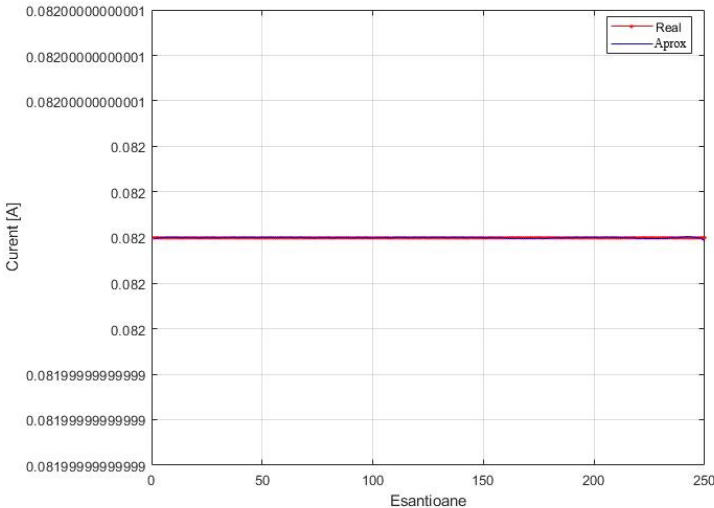


Figura 3.60 Matlab Interpolation for the Absorbed Current of the Washing Machine in Standby Mode

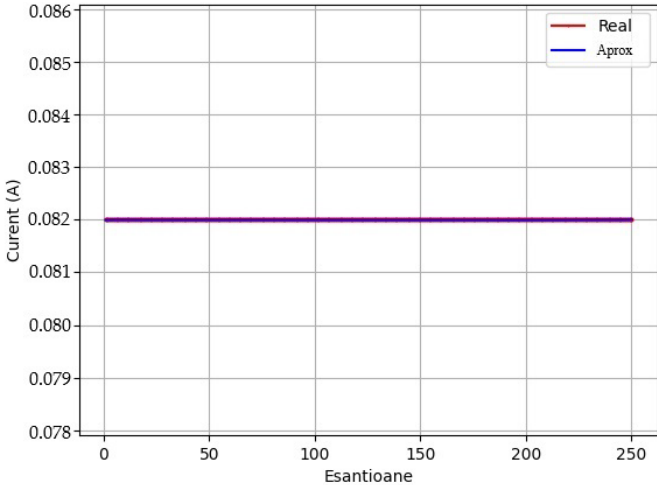


Figura 3.61 PyCharm Interpolation for the Absorbed Current of the Washing Machine in Standby Mode

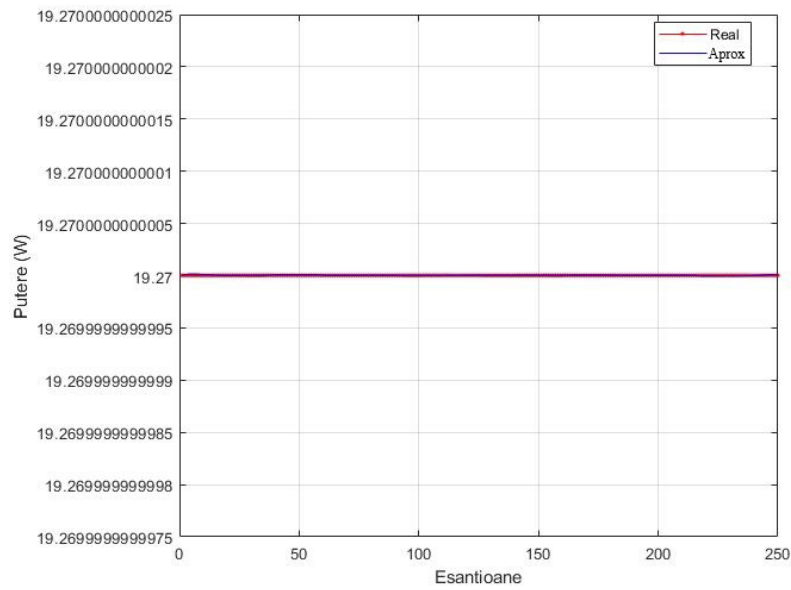


Figura 3.62 Matlab Interpolation for the Energy Consumption of the Washing Machine in Standby Mode

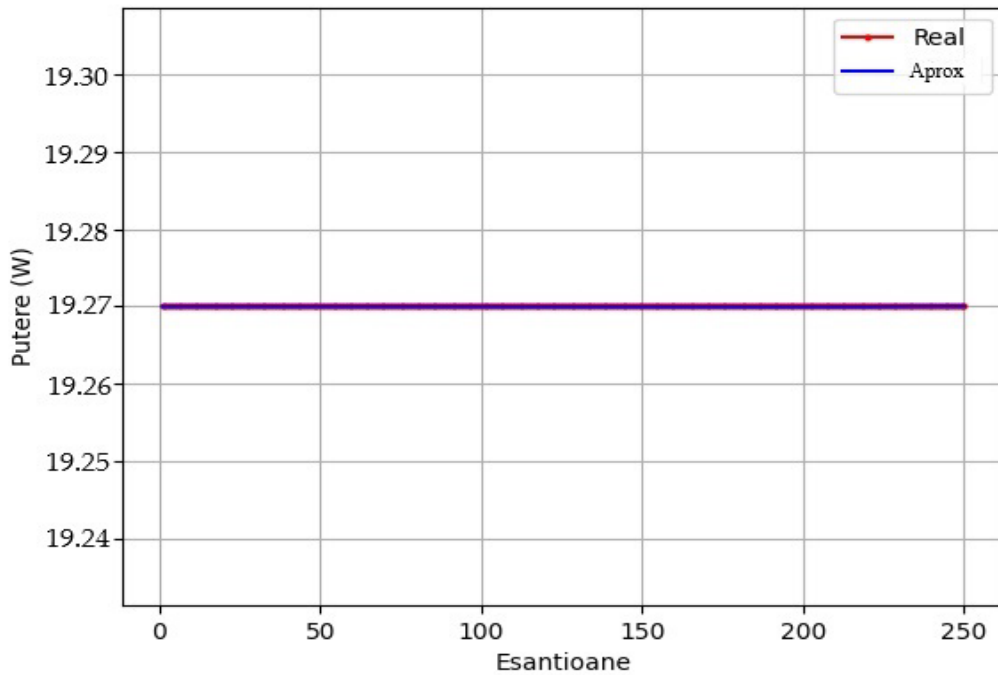


Figura 3.63 PyCharm Interpolation for the Energy Consumption of the Washing Machine in Standby Mode

In standby mode, the R^2 mean square error calculated by Matlab is identical to the results obtained by the PyCharm program, both for the current characteristic and for energy consumption, as shown in the values presented in table 3.10.

1.2.2 Laptop Lenovo 15ACH6H

To approximate the characteristics of the laptop, we selected approximately 3,000 samples for normal operation mode and 20 samples for standby mode, taken from the measurements presented in subsection 3.1.2.5. For normal operation mode, we evaluated both characteristics: the current consumption, represented in Figures 3.76 and 3.77, and the energy consumption, represented in Figures 3.78 and 3.79. In these graphical representations, the red line illustrates the measured data set, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm, respectively.

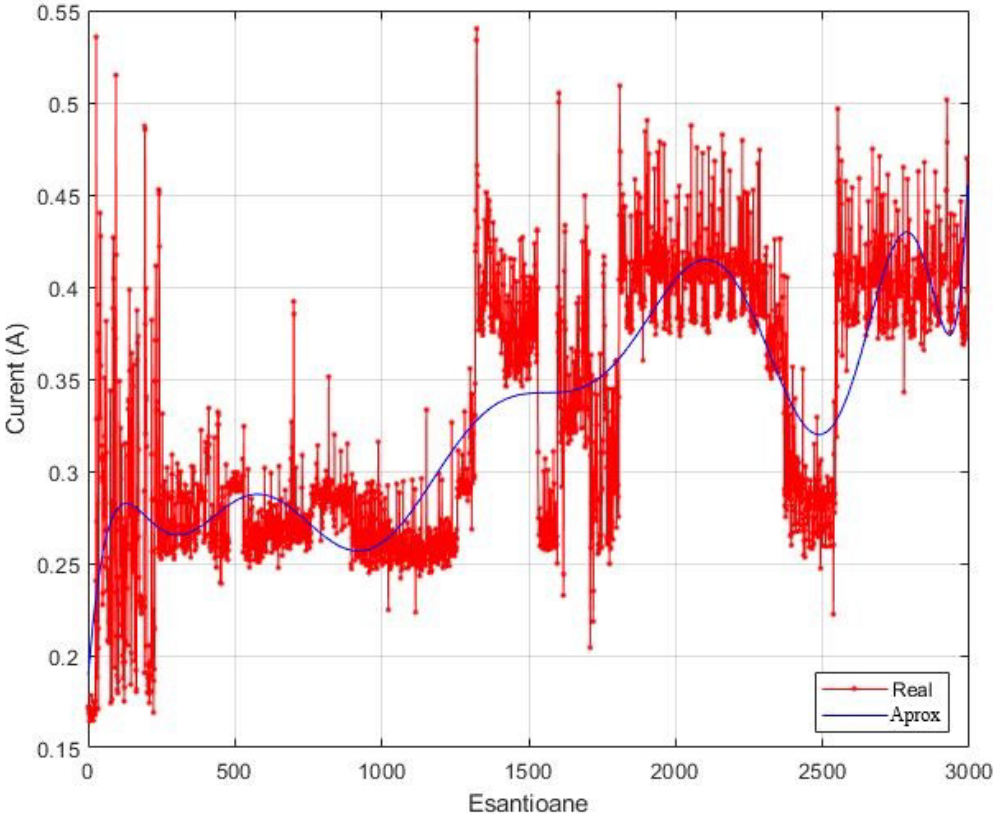


Figura 3.76 MATLAB Interpolation for the Current Absorbed by the Laptop in Normal Operating Mode

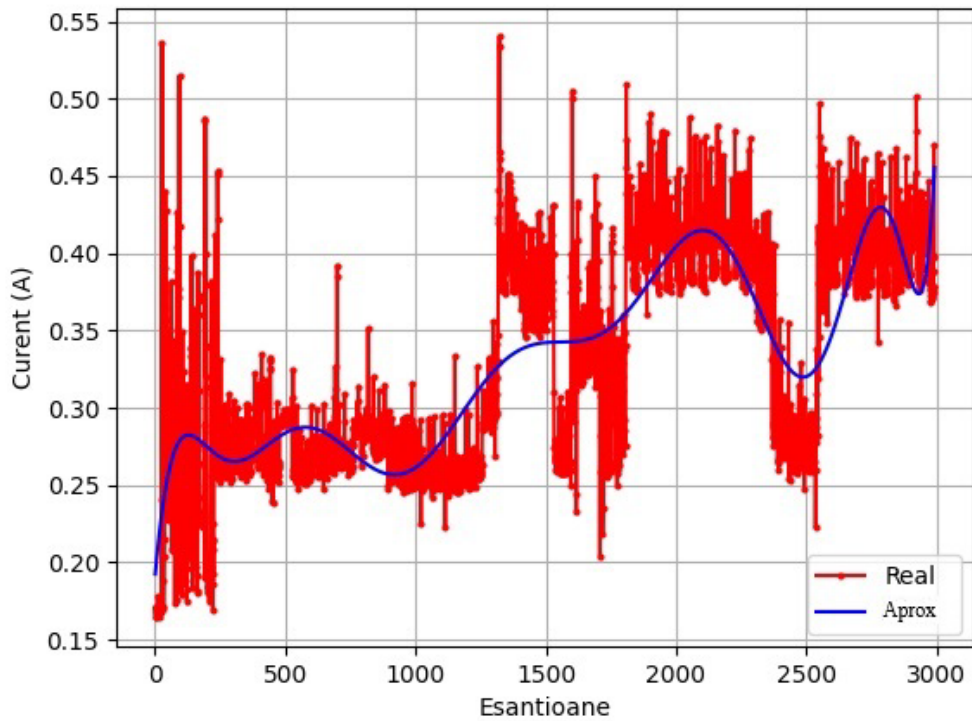


Figura 3.77 PyCharm Interpolation for the Current Absorbed by the Laptop in Normal Operating Mode

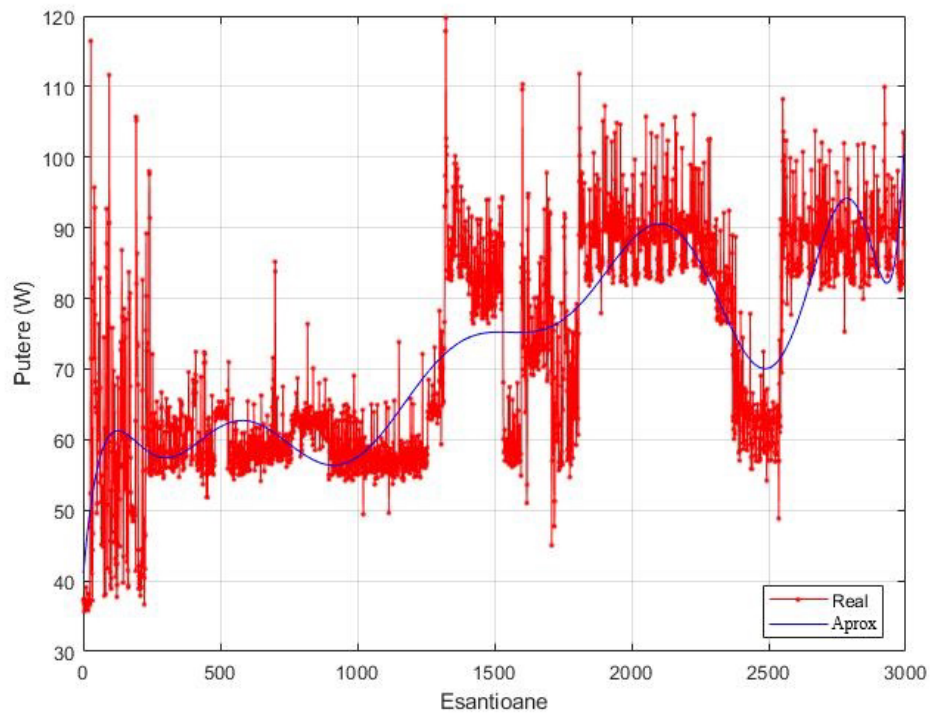


Figura 3.78 MATLAB Interpolation for the Energy Consumption of the Laptop in Normal Operating Mode

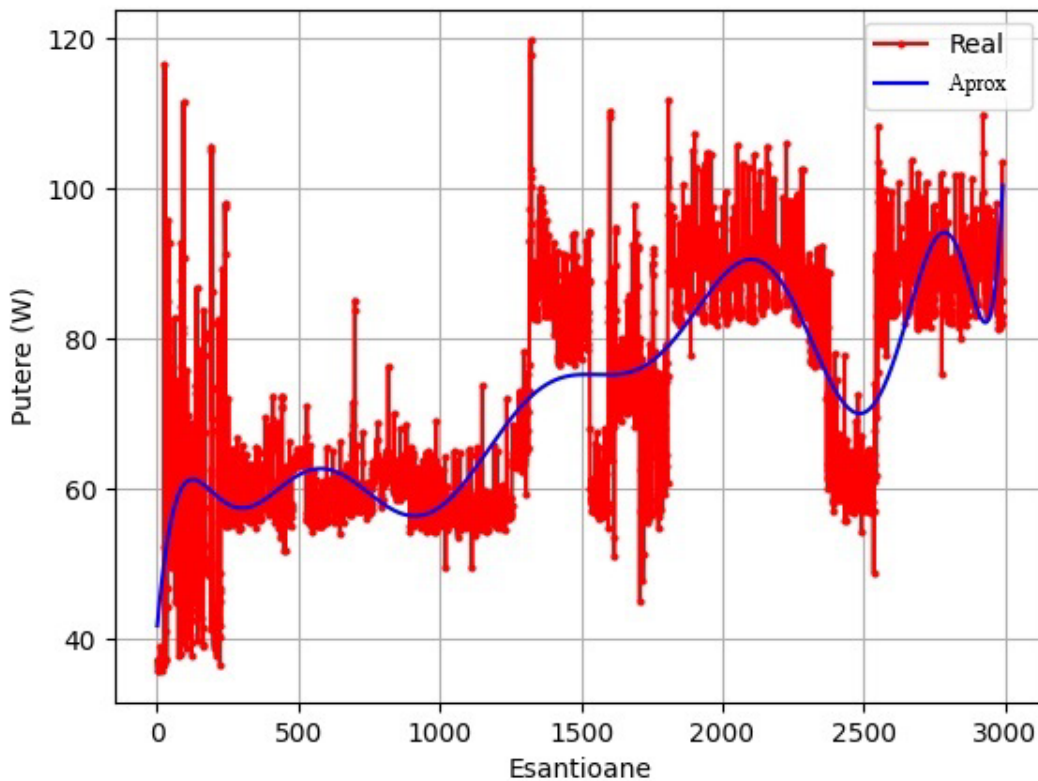


Figura 3.79 PyCharm Interpolation for Laptop Energy Consumption in Normal Operating Mode

The values of the quadratic error $-2R2$ calculated by Matlab in the normal operating mode of the laptop are extremely close to the results obtained from the PyCharm program, both for the current characteristic and for the energy consumption characteristic, as presented in Table 3.14.

For the standby operating mode, we evaluated the characteristics for both the absorbed current, represented in Figures 3.80 and 3.81, and the energy consumption, represented in Figures 3.82 and 3.83. In the graphical representations in these figures, the red line illustrates the measured value set, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm, respectively

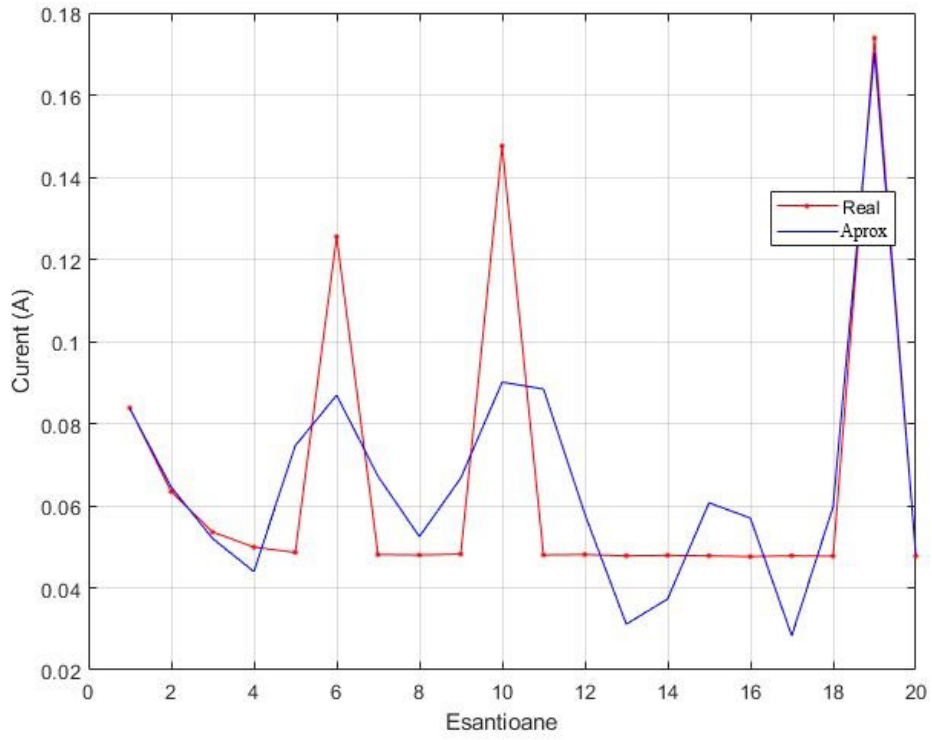


Figura 3.80 Matlab interpolation for the current absorbed by the laptop in standby mode

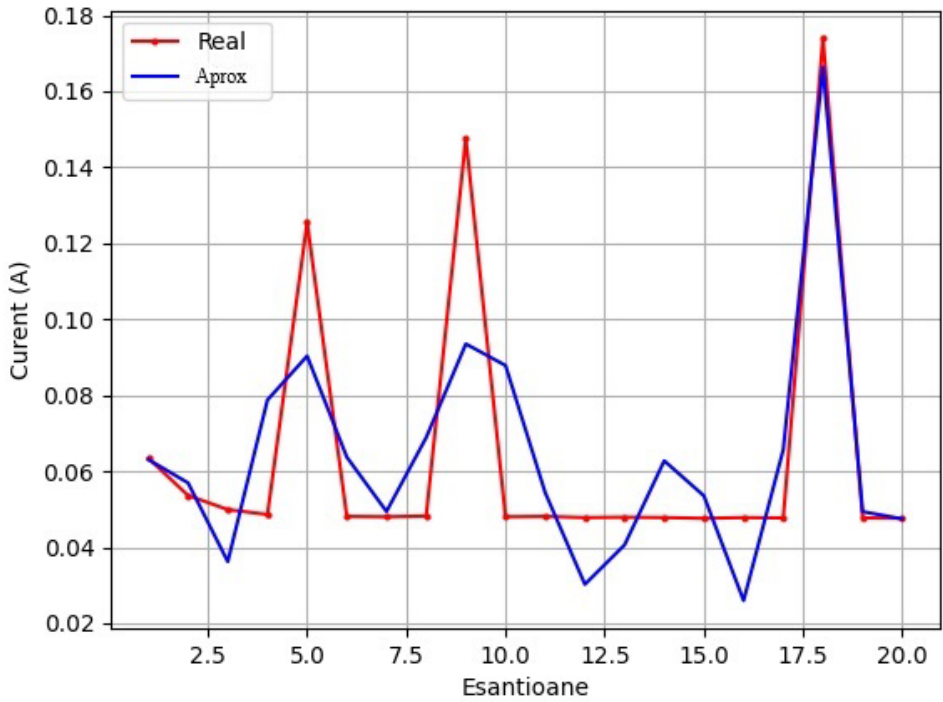


Figura 3.81 PyCharm interpolation for the current absorbed by the laptop in standby mode

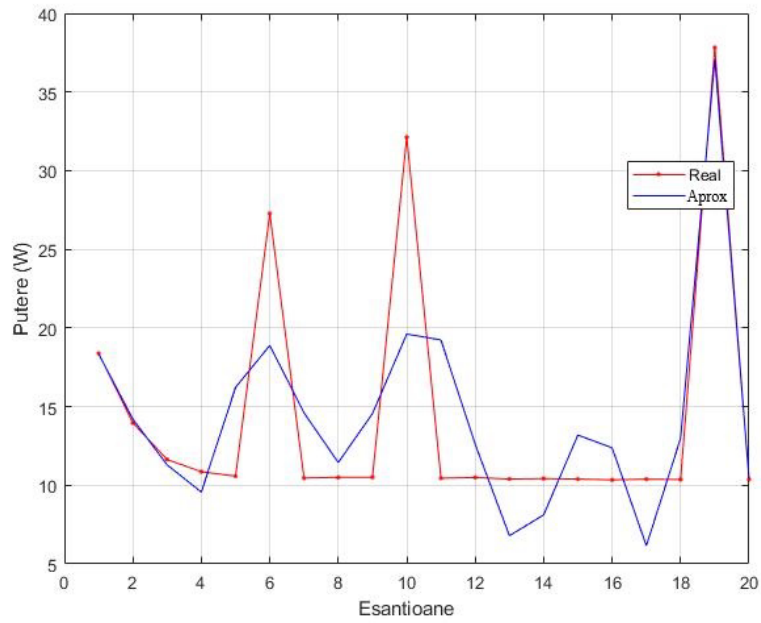


Figura 3.82 Matlab interpolation for the energy consumption of the laptop in standby mode

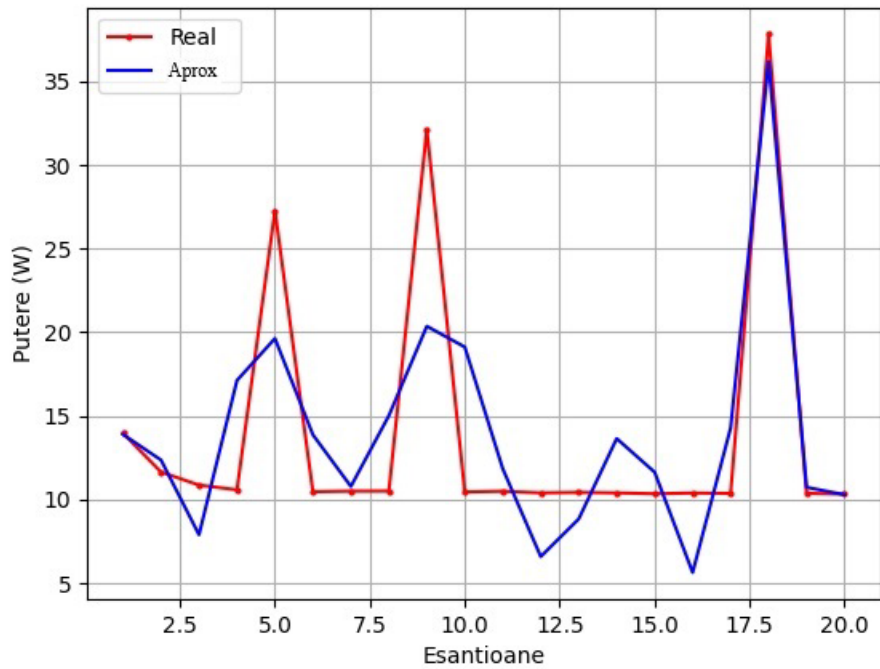


Figura 3.83 PyCharm interpolation for the energy consumption of the laptop in standby mode

The values of the quadratic error R2 calculated by Matlab in the laptop's standby operating mode are close to the results obtained from the PyCharm program, both for the

current characteristic and for the energy consumption characteristic, as presented in Table 3.15.

1.2.3 TV LG 40UH630V

For approximating the television characteristics, we selected 250 samples in normal operating mode and 200 samples in standby mode from the measurements presented in subsection 3.1.2.6. In normal operating mode, we evaluated the characteristics for both the absorbed current, represented in Figures 3.84 and 3.85, and the energy consumption, represented in Figures 3.86 and 3.87. In the graphical representations in these figures, the red line illustrates the set of measured values, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm, respectively.

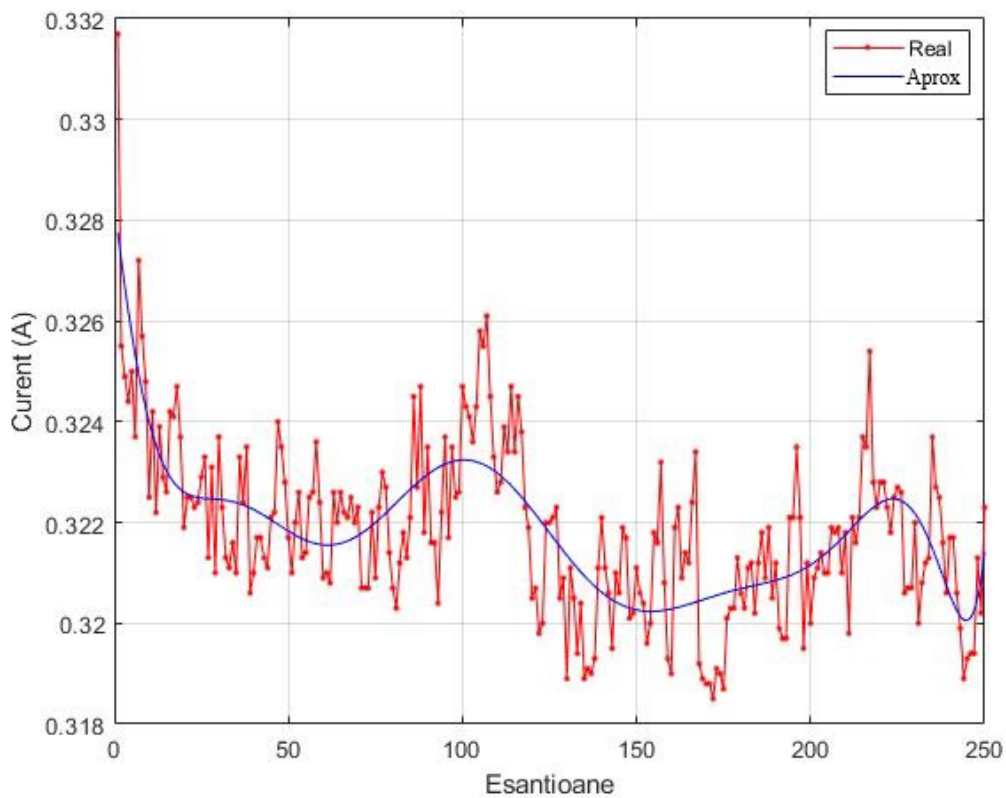


Figura 3.84 Matlab interpolation for the current absorbed by the TV in normal operating mode

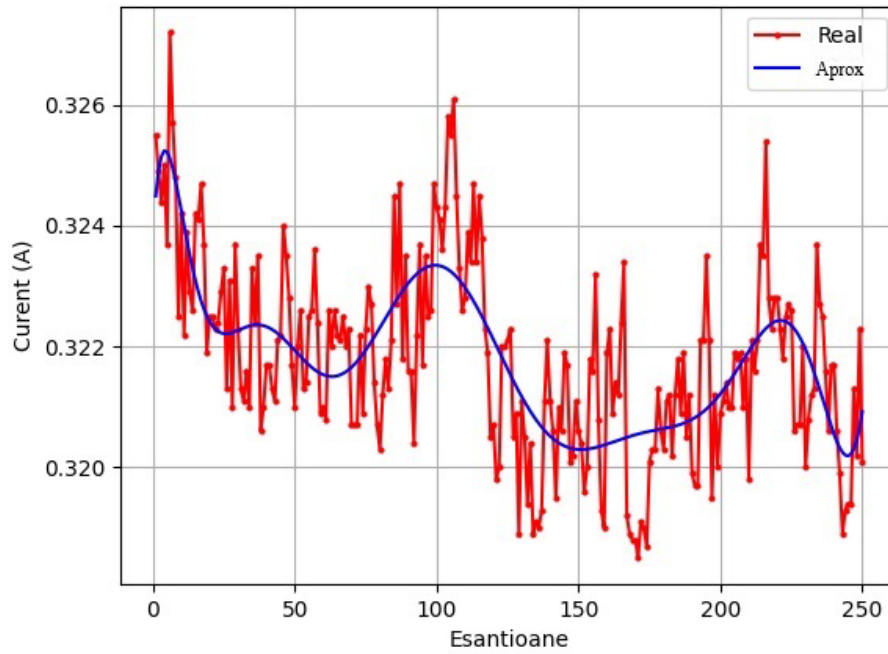


Figura 3.85 PyCharm interpolation for the current absorbed by the TV in normal operating mode

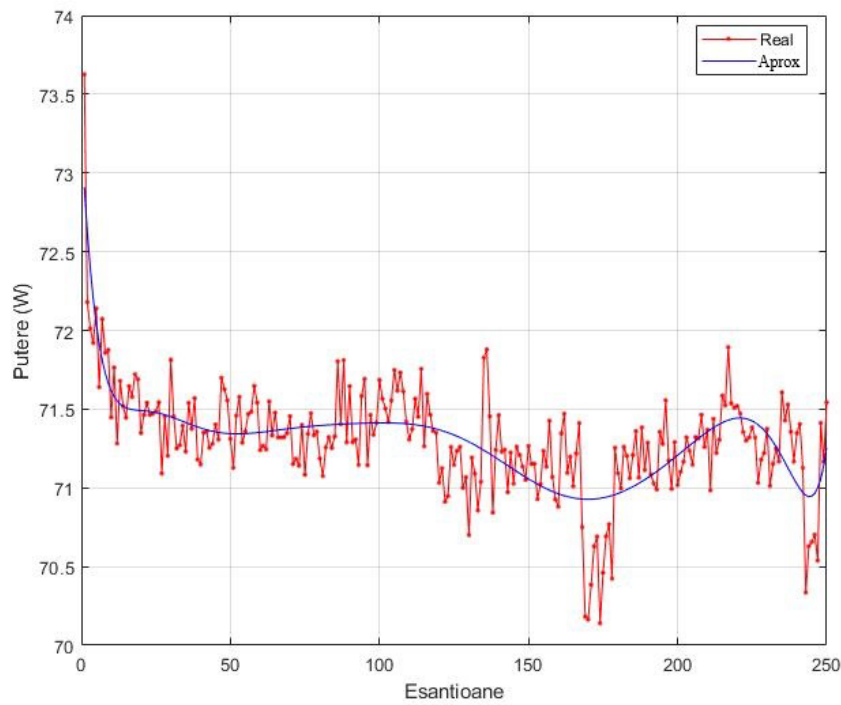


Figura 3.86 Matlab interpolation for the energy consumption of the TV in normal operating mode

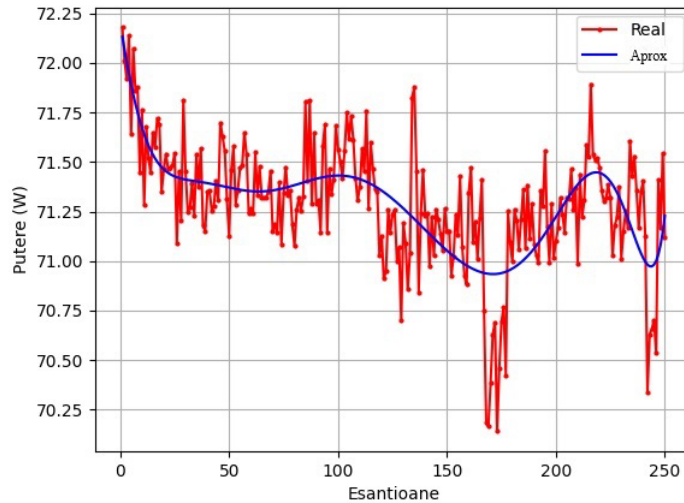


Figura 3.87 PyCharm interpolation for the energy consumption of the TV in normal operating mode

The values of the quadratic error R^2 calculated by Matlab in the normal operating mode of the TV are close to the results obtained from the PyCharm program, both for the current characteristic and for the energy consumption characteristic, as presented in Table 3.16.

For standby mode, we evaluated the characteristics for both the absorbed current, represented in Figures 3.88 and 3.89, and the energy consumption, represented in Figures 3.90 and 3.91. In the graphical representations in these figures, the red line illustrates the set of measured values, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm, respectively.

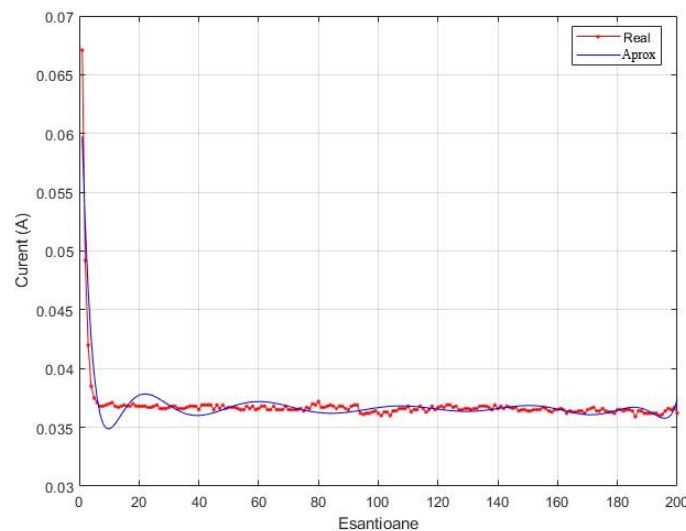


Figura 3.88 Matlab interpolation for the current absorbed by the TV in standby mode

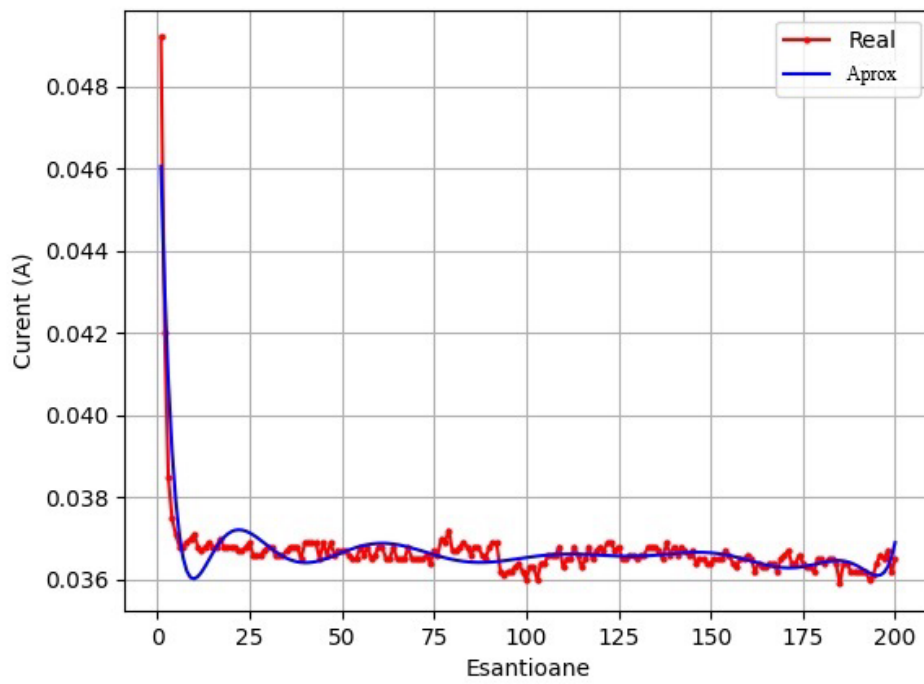


Figura 3.89 PyCharm interpolation for the current absorbed by the TV in standby mode

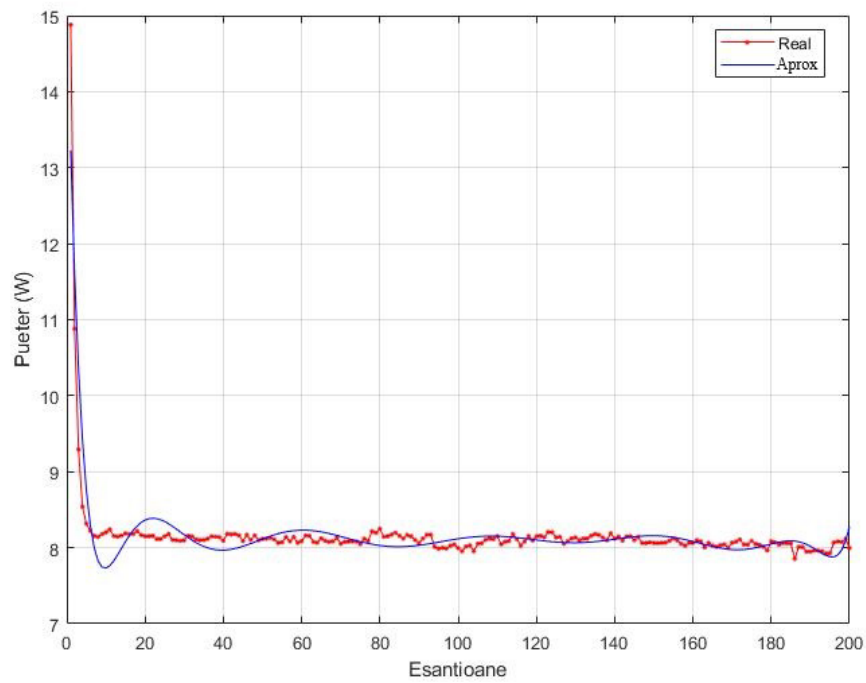


Figura 3.90 Matlab interpolation for the energy consumption of the TV in standby mode

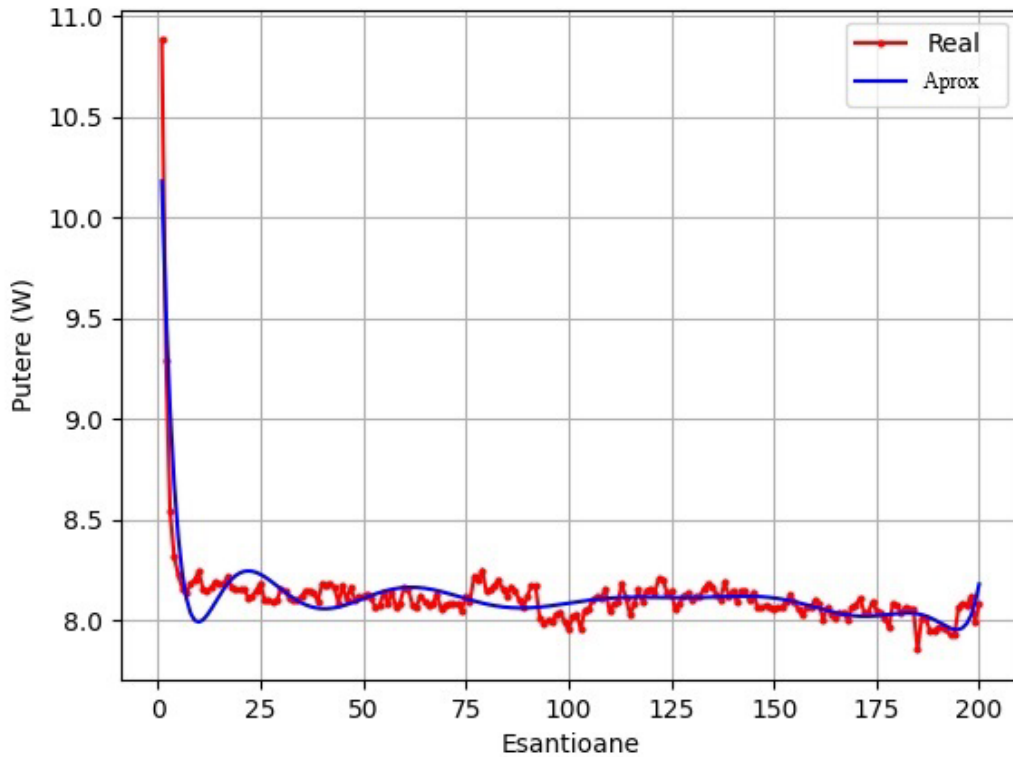


Figura 3.91 PyCharm interpolation for the energy consumption of the TV in standby mode

The values of the quadratic error R^2 calculated by Matlab in the TV's standby operating mode are extremely close to the results obtained from the PyCharm program, both for the current characteristic and for the energy consumption characteristic, as presented in Table 3.17.

1.2.4 Sony Playstation 5 CFI-1003A

To determine the approximation polynomials for the electrical parameters of the PlayStation 5, we selected 500 samples for normal operating mode and 250 samples for standby mode from the measurements presented in subsection 3.1.2.7. Both in normal and standby modes, we evaluated the absorbed current (represented in Figures 3.92 and 3.93) and the energy consumption (represented in Figures 3.94 and 3.95). In the graphical representation, the red line illustrates the set of measured values, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm, respectively.

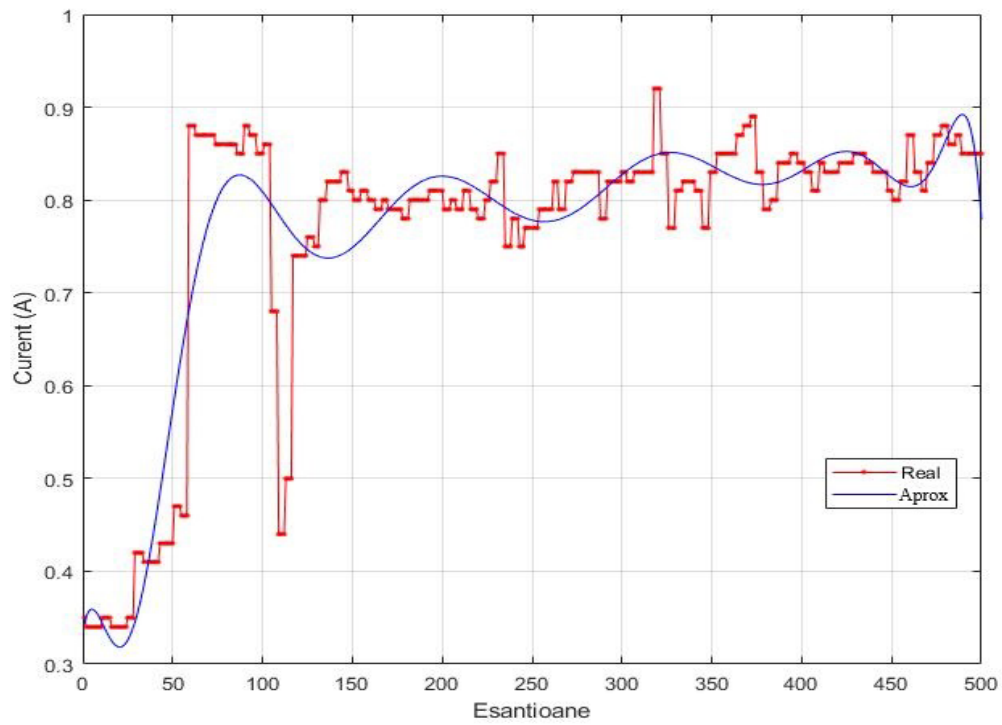


Figura 3.92 Matlab interpolation for the current absorbed by the PlayStation 5 in normal operating mode

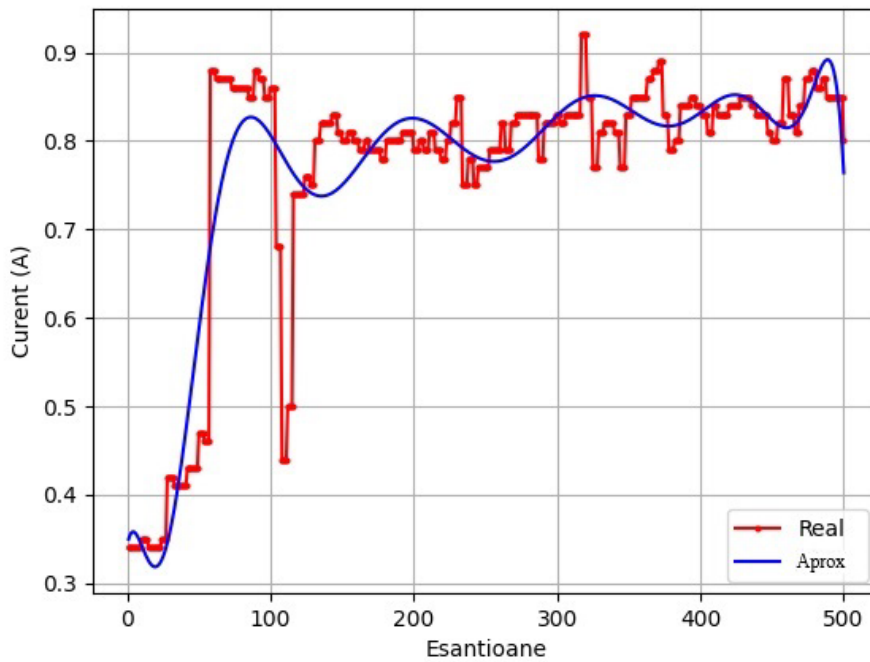


Figura 3.93 PyCharm interpolation for the current absorbed by the PlayStation 5 in normal operating mode

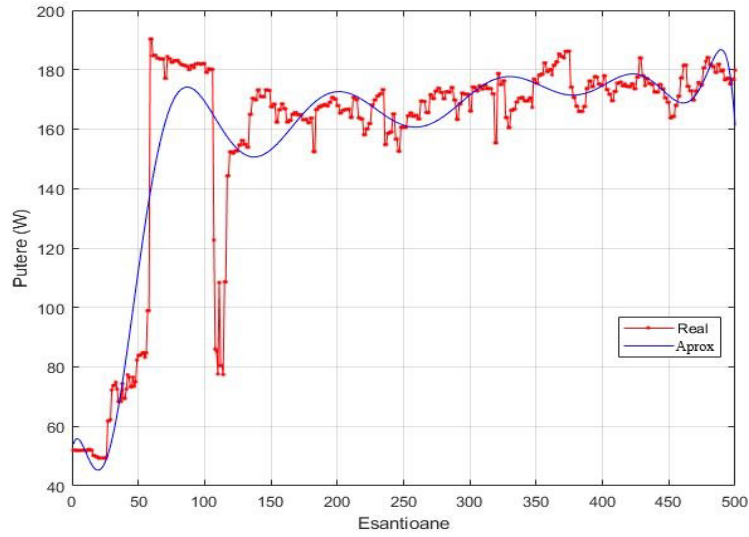


Figura 3.94 Matlab interpolation for the energy consumption of the PlayStation 5 in normal operating mode

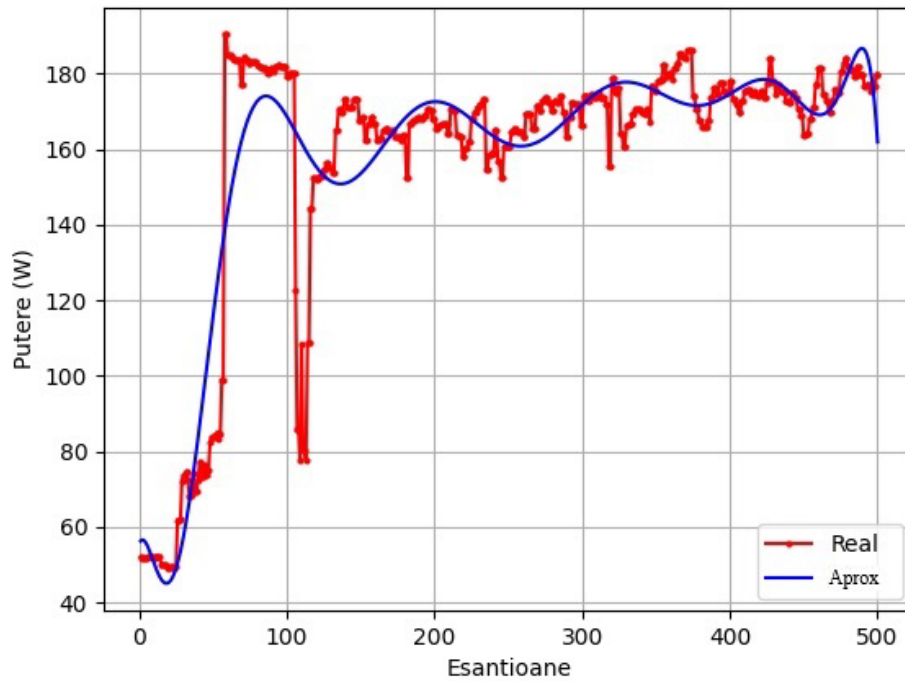


Figura 3.95 PyCharm interpolation for the energy consumption of the PlayStation 5 in normal operating mode

The values of the quadratic error R^2 calculated by Matlab in the normal operating mode of the PlayStation 5 are extremely close to the results obtained from the PyCharm program, both for the current characteristic and for the energy consumption characteristic, as presented in Table 3.18.

For standby mode, we evaluated the characteristics for both the absorbed current, represented in Figures 3.96 and 3.97, and the energy consumption, represented in Figures 3.98 and 3.99. In the graphical representations in these figures, the red line illustrates the set of measured values, while the blue line represents the approximation function generated by Matlab and PyCharm, respectively.

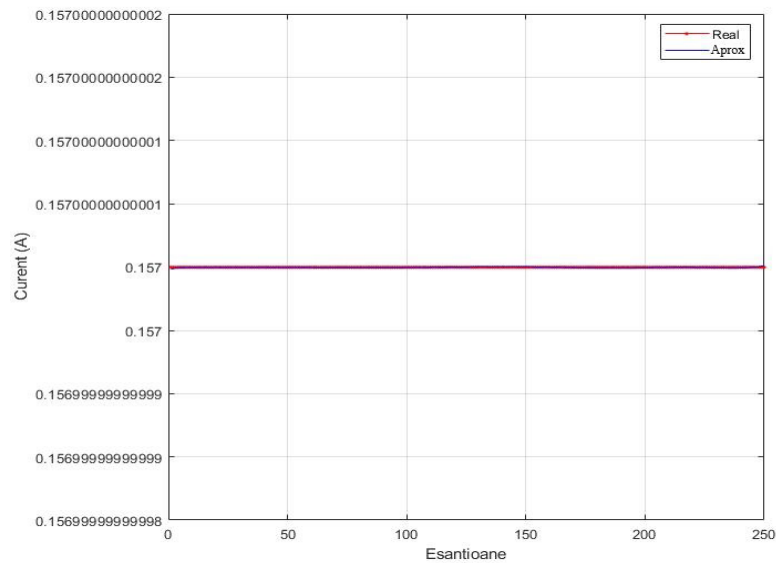


Figura 3.96 Matlab interpolation for the current absorbed by the PlayStation 5 in standby mode

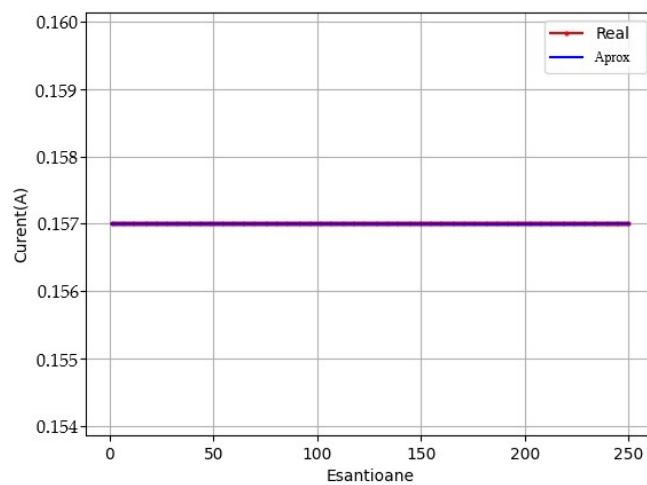


Figura 3.97 PyCharm interpolation for the current absorbed by the PlayStation 5 in standby mode

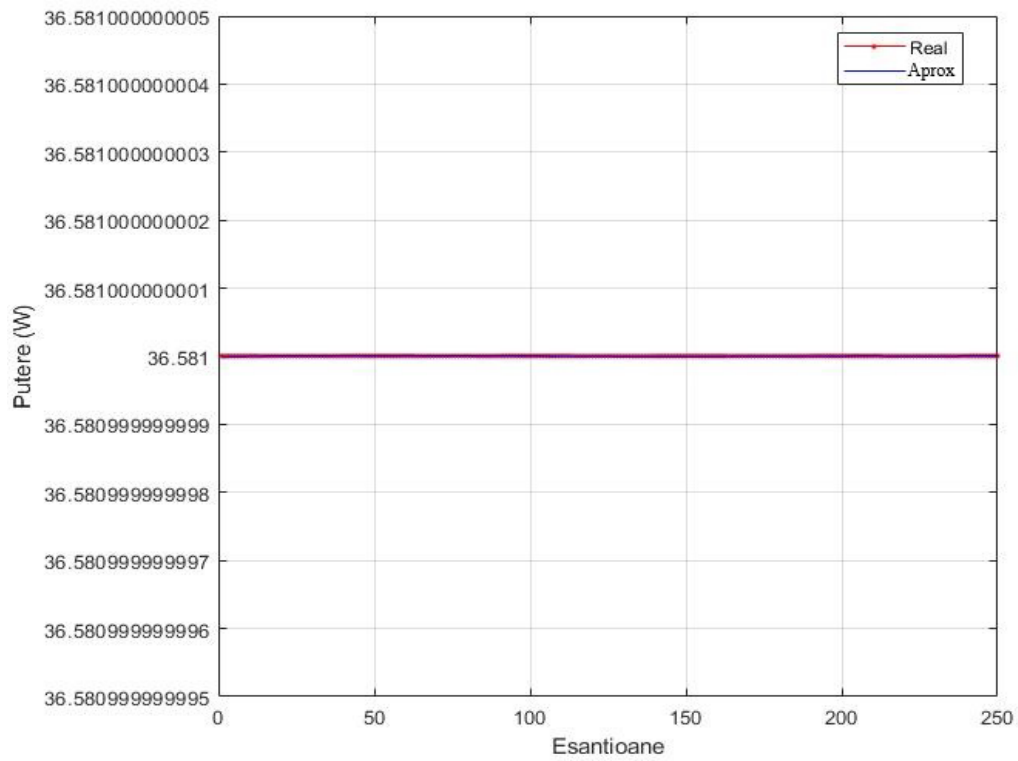


Figura 3.98 Matlab interpolation for the energy consumption of the PlayStation 5 in standby mode

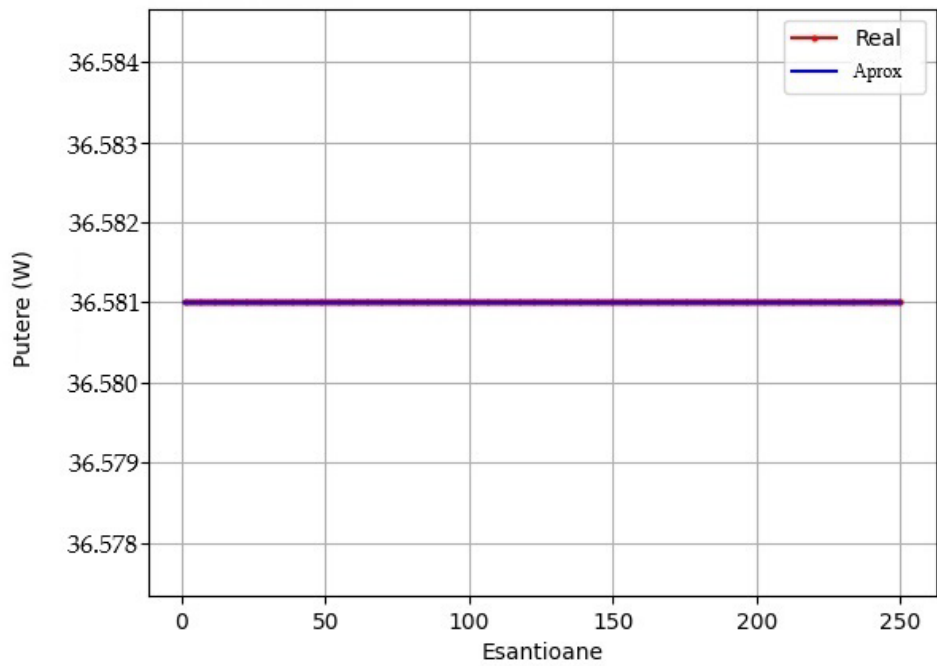


Figura 3.99 PyCharm interpolation for the energy consumption of the PlayStation 5 in standby mode

1.3 Automated Control and Optimization Systems

1.3.1 System for Reducing Consumption of Household Appliances Version 1

For the initial development stage (concept phase), various "off-the-shelf" components were chosen to simplify the implementation process and accelerate development. The primary objective was to achieve accurate measurements of energy consumption in standby mode and identify potential energy savings. The key components used included an AVR microcontroller (Arduino Nano development board), a relay module that supports voltages up to 250V and currents up to 10A, the HC-06 Bluetooth module, a button, and a current sensor designed to detect low current values.

As illustrated in Figures 3.104 and 3.105, the energy consumption reduction system diagram includes the relay module and current sensor placed between the AC power source and the household appliances. The system is managed through a mobile application connected via Bluetooth, allowing for configuration and control of the system's functions [94].

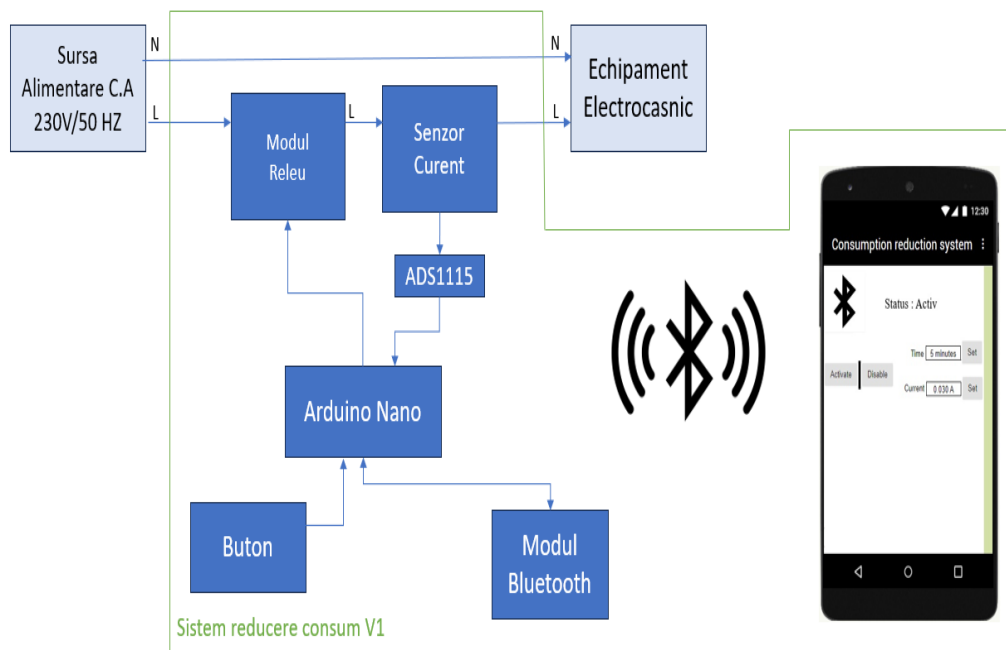


Figura 3.104 Diagram of the Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 1

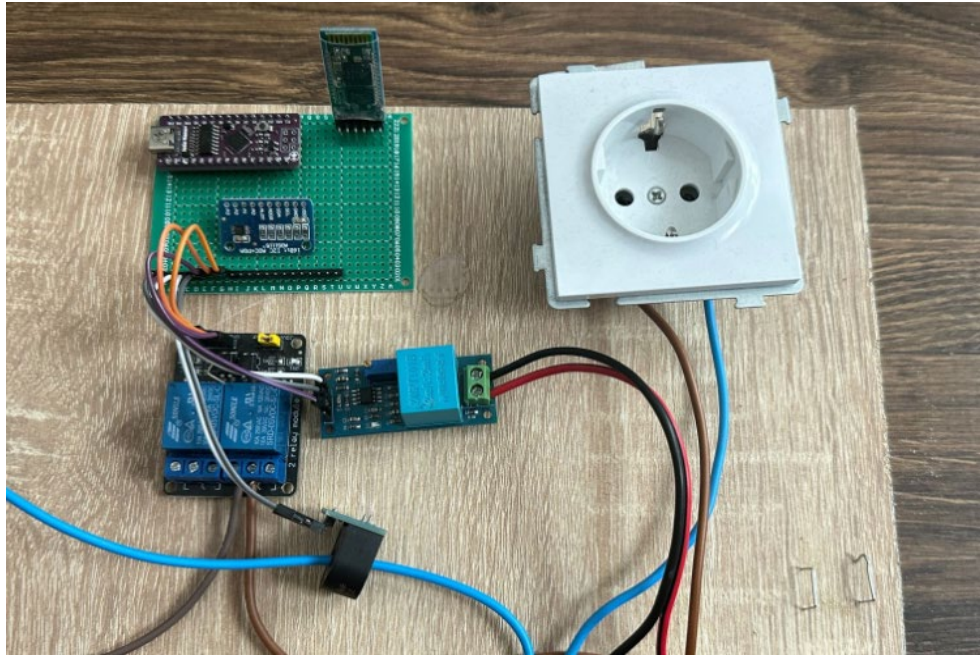


Figura 3.105 Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 1

1.3.2 Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 2

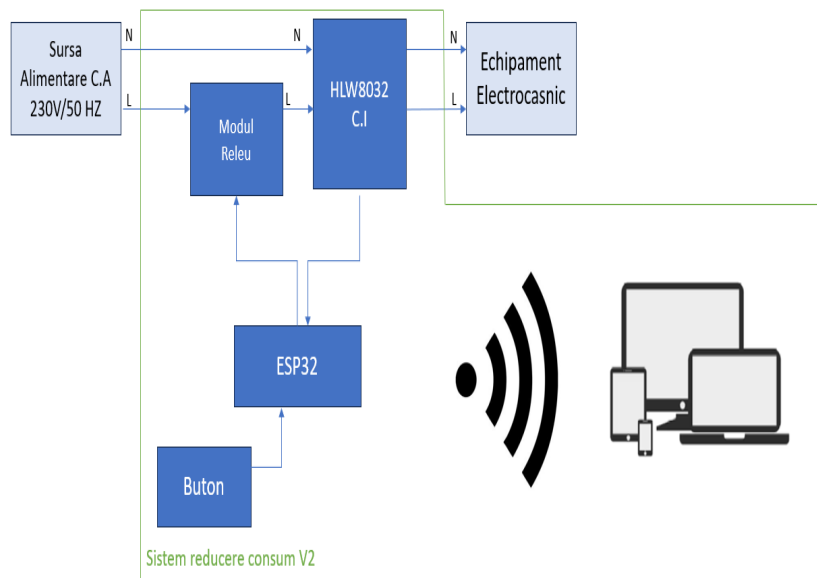


Figura 3.115 Diagram of the Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 2

The development of the system in Version 2 integrates several essential components along with the ESP32 DevKit V4 development board. This configuration includes a relay module capable of handling voltages up to 250V and currents up to 10A, a manual button for resetting the control, and the HLW8032 integrated circuit (IC).

Figures 3.115 and 3.116 show the schematic of the energy consumption reduction system Version 2 and its practical implementation. A crucial element, the relay module, along with the HLW8032 IC, is placed between the AC power source and the household appliances. This setup monitors current consumption and disconnects the power supply when consumption reaches the configured level. The ESP32-based development board processes and stores this current consumption data and controls the relay. To enhance safety and system durability, the ESP32 is equipped with a physical button for resetting the system. Additionally, a web application hosted directly on the development board provides a wireless connection to the system via Wi-Fi technology, serving as the main interface for configuring and managing it using any device with a web browser, whether a mobile phone, tablet, or PC.

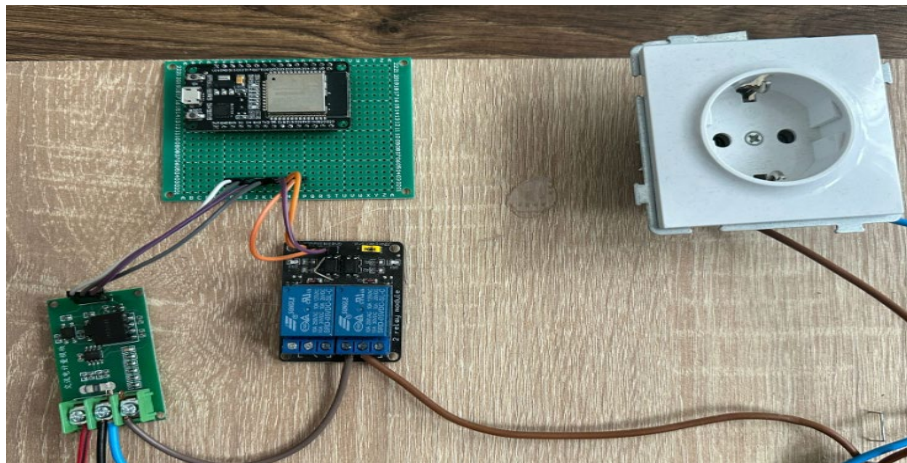


Figura 3.116 Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 2

1.3.3 Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 3

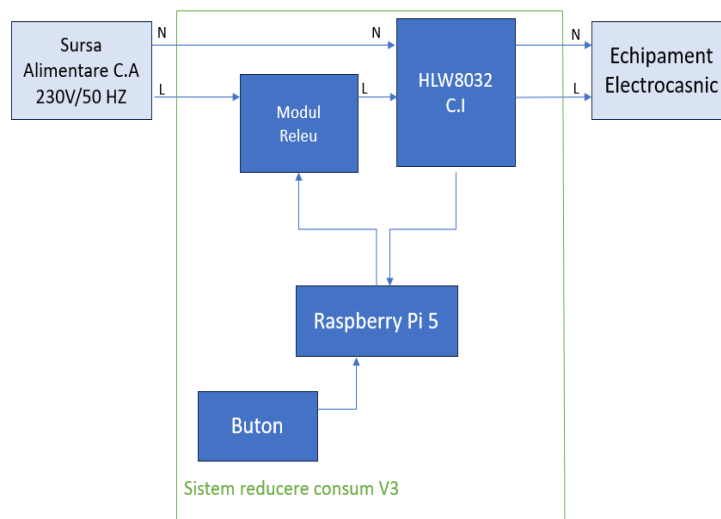


Figura 3.126 Diagrama sistem reducere consum echipamente electrocasnice versiunea 3

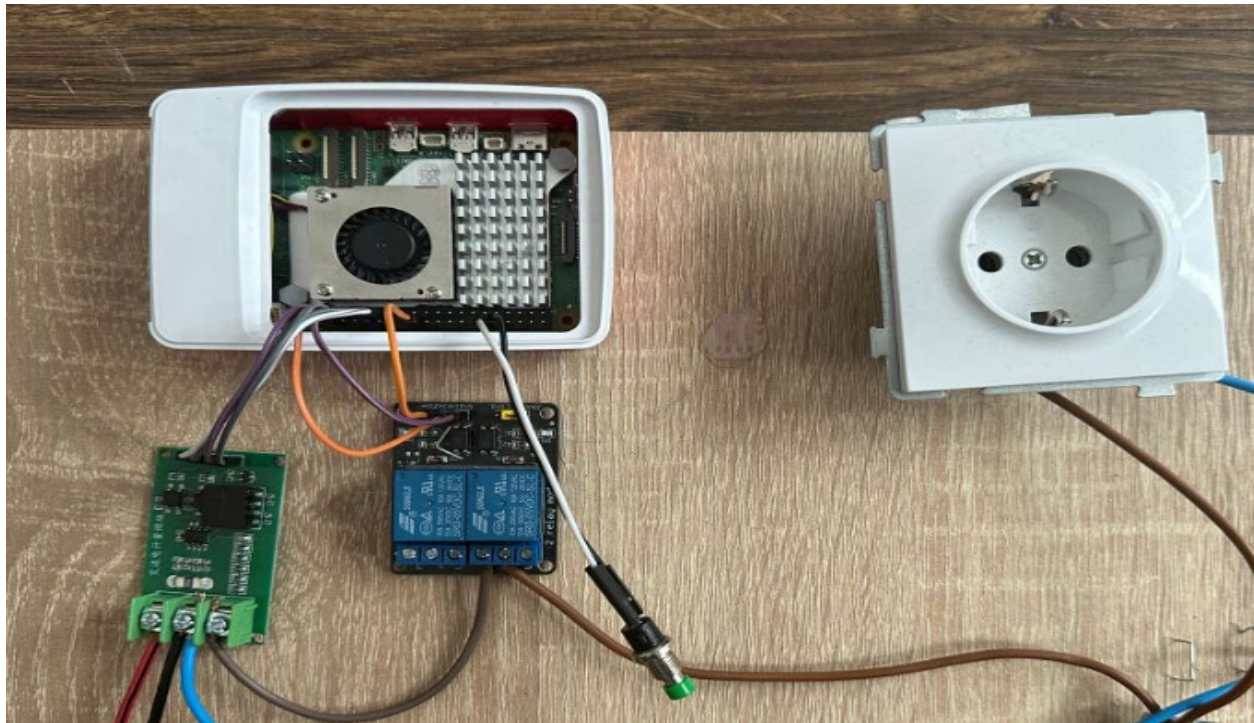


Figura 3.127 Diagram of the Household Appliance Energy Consumption Reduction System Version 3

The development of the system in Version 3 integrates the same essential components used in Version 2 along with the Raspberry Pi 5 development board. This configuration includes a relay module capable of handling voltages up to 250V and currents up to 10A, a manual button for recording equipment usage actions, and the HLW8032 integrated circuit (IC).

Figures 3.126 and 3.127 show the schematic of the energy consumption reduction system Version 3 and its practical implementation. The crucial elements, such as the relay module and the HLW8032 IC used in Version 2, are placed between the AC power source and the household appliances. This version of the system monitors current consumption and disconnects the power supply when consumption matches the measured standby level and equipment usage pattern, using methods based on neural network functions and machine learning. This approach eliminates the need for a third-party application for system control and configuration. The Raspberry Pi 5 development board processes and stores data on current consumption and user equipment usage based on action/time, and controls the relay. To learn the equipment usage pattern, a button has been added to record the action of using the system over a certain period and to predict, after a longer usage period, when the equipment will be used and automatically activate the power supply system.

1.3.4 Simultaneous Monitoring and Control of Equipment

Simultaneous monitoring and control of the four previously mentioned appliances, which consume electrical energy in standby mode, is possible due to the hardware capabilities used in the energy consumption reduction systems in Versions 2 and 3. The development boards used (ESP32 DevKit V4 and Raspberry Pi 5) are limited to a maximum of 4 UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) data connections. The UART protocol is an asynchronous serial communication protocol widely used for data transmission between devices. It is a simple and efficient method for transferring binary information between microcontrollers, computers, sensors, and other electronic equipment.

To test the capacity of the energy consumption reduction system, Version 2 of the proposed system was modified by adding 4 HLW8032 sensors and a 4-channel relay module to the ESP32 DevKit V4 development board. The button was removed, and its function was implemented in the web application. The web application was updated to reflect the new configuration, adding a selection menu for each device. To reduce implementation costs and shorten the payback time, the system should be installed in an electrical panel within a smart home. The electrical circuits in such a residence contribute to the efficient implementation of the proposed system, as each outlet and light fixture is connected through its own circuit to the electrical network.

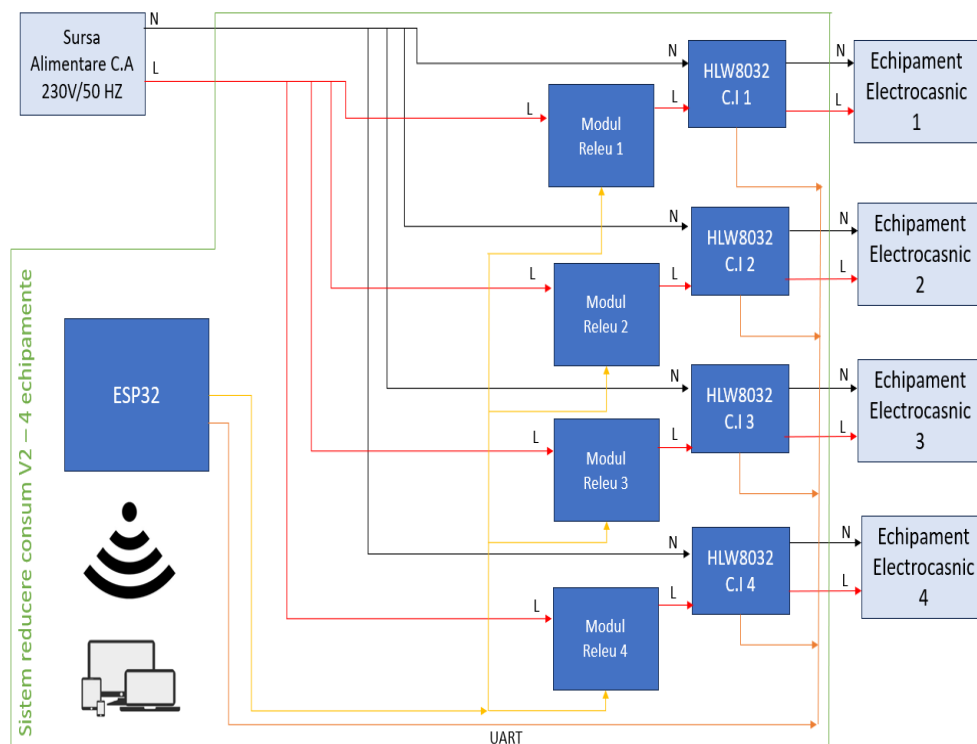


Figura 3.133 Energy Reduction System Version 2 for 4 Household Appliances

1.4 Comparison of Automated Control and Optimization Systems

In this subsection, I compared three proposed systems for reducing the energy consumption of household appliances in standby mode—System V1, System V2, and System V3. The comparative analysis considered additional operational parameters and costs. The comparison includes sensor calibration requirements, control application, control methods, current measurement methods, number of controlled devices, relay response times, measurement accuracy, energy consumption, and costs.

1) System V1

System V1 is characterized by the need for sensor calibration, which indicates additional time for maintenance and setup. It uses an Android application for control, with both manual methods and methods for obtaining current values, limiting automation capabilities. The system controls a single device, with a relay response time of 10 milliseconds. The current measurement accuracy is 98%, slightly lower than that of the other systems. The energy consumption is 4.968 kWh per month, making it relatively energy-efficient. The cost of this system is 254 RON.

2) System V2

System V2 does not require sensor calibration, reducing the need for initial configuration and maintenance. It uses a web application for control and manual methods for both control and obtaining current values. It can control up to four devices, thus enhancing its operational capacity. The relay response time remains at 10 milliseconds, and it achieves a higher current measurement accuracy of 100%. Its energy consumption is identical to that of System V1, at 4.968 kWh per month, providing efficiency along with improved accuracy and control capabilities. The cost of this system is 110 RON.

3) System V3

System V3 also does not require sensor calibration, simplifying its setup and ongoing maintenance. It does not use any specific control application, employing automatic control and automatic current value retrieval, providing higher levels of automation and ease of use. This system can control up to ten devices by implementing additional monitoring and control modules, thus enhancing its operational capacity. It also

maintains a relay response time of 10 milliseconds and offers perfect accuracy of 100% in current measurement. However, the benefits come with increased energy consumption, which is significantly higher at 10.980 kWh per month. The cost of this system is 514 RON.

Capitolul 4. Autonomous Operation of Electrical Equipment. Bidirectional Communication Networks. Optimization of Energy Consumption.

2.1 Autonomous Operation of Electrical Equipment

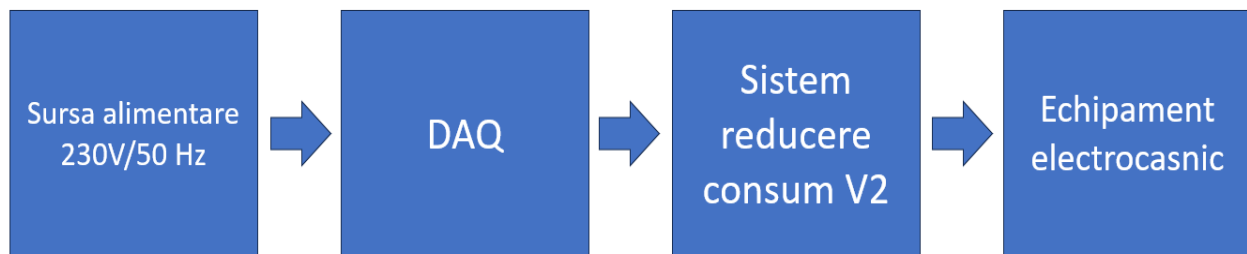


Figura 4.1 Block Diagram of Proposed System Testing

Figure 4.1 illustrates the positioning of the proposed system Version 2 (V2), placed between the AC power source and the household appliance. This setup includes a data acquisition system to verify the operational effectiveness of the device. It is noteworthy that the data acquisition system is the same as that shown in Figure 3.13, which was used to identify and measure the standby mode for the four selected common residential devices.

The system is initially programmed with a default delay of 5 minutes, meaning it checks every 4 minutes if the current passing through the current sensor is equal to or less than the threshold specified through the web application. Users can adjust the delay

period to suit their specific needs, as some household appliances may have low current absorption but for a limited time, even in their normal operating mode. If the measured current value is equal to or falls below the preset value, the system disconnects the appliance from the electrical network, thus preventing energy consumption in standby mode.

2.1.1 Washing machine Beko (WUE81436)

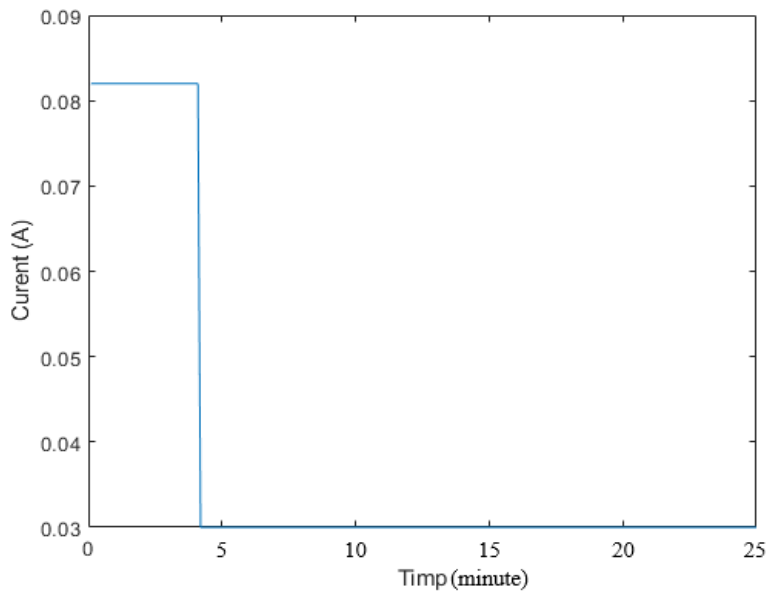


Figura 4.2 Current Absorbed by the Washing Machine in Standby Mode After Implementing System V2

Figures 4.2 and 4.3 illustrate the current and energy consumption of the washing machine equipped with the proposed energy-saving system. The system initiates a reading from the current sensor four minutes after activation. It then evaluates this reading against a predefined threshold and, if necessary, disconnects the power via a relay, thereby saving energy. During the initial five-minute period, the current and energy consumption of the washing machine are remarkably low, at 0.082 A and 19.09 W, respectively. These values drop further to 0 A and 0 W afterward until the system is either reset or turned off for regular operation. A recorded current and energy consumption of 0.030 A and 6.9 W are attributed to the data acquisition of the proposed system. The current and energy consumption measurements were performed with V2.

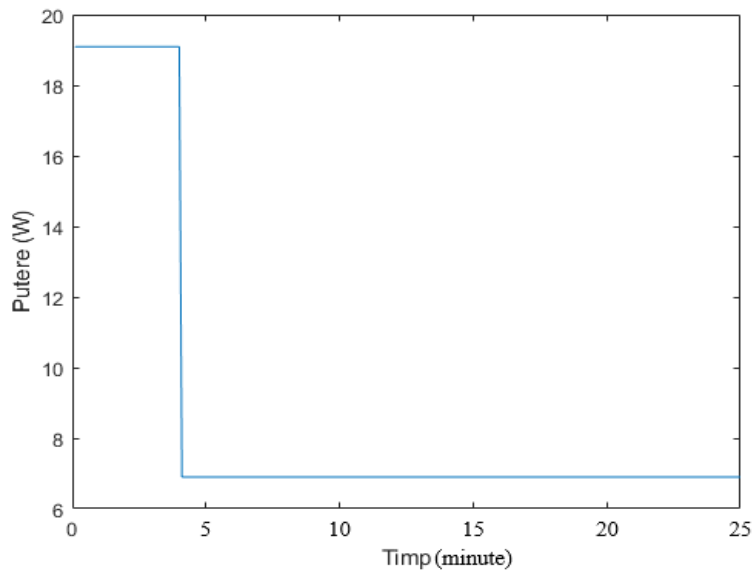


Figure 4.3 Power Consumption of the Washing Machine in Standby Mode After Implementing System V2

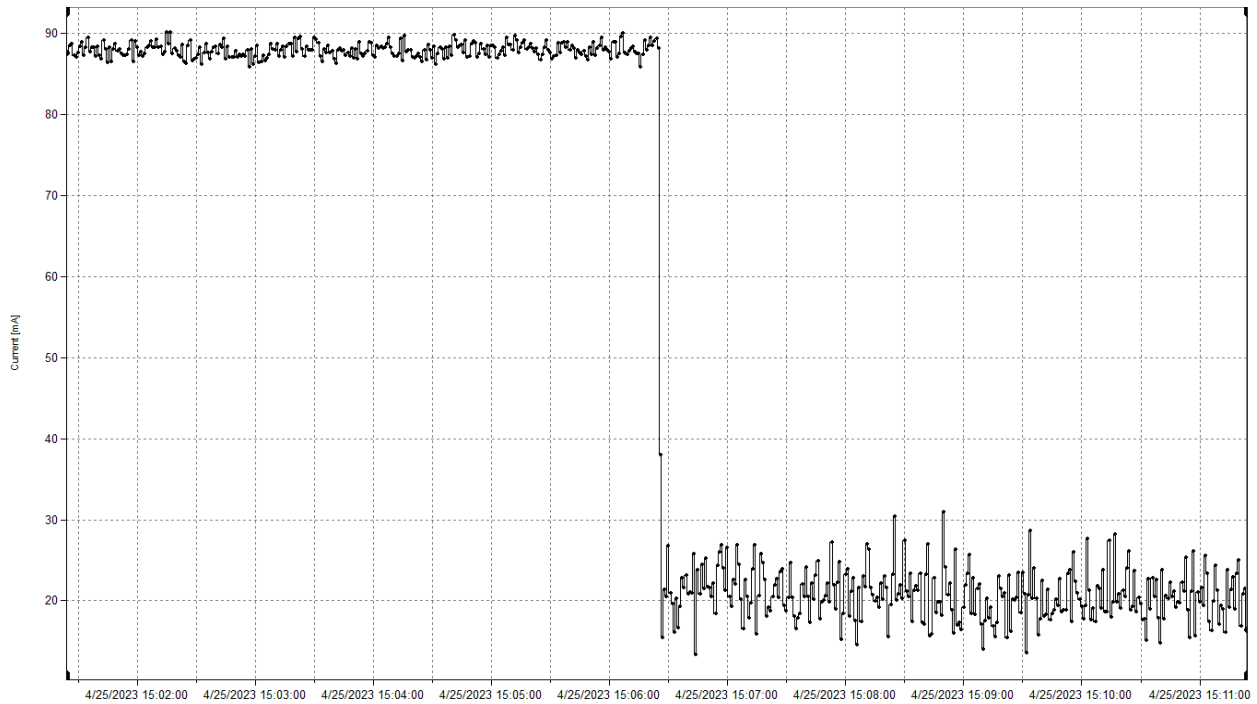


Figure 4.4 Current Absorbed by the Washing Machine in Standby Mode After Implementing System V2, Measured with Fluke 1738

To demonstrate that the proposed energy-saving system works as indicated by the measurements obtained with the developed V2, we repeated the measurements using the

Fluke 1738 equipment, which was used as a reference measuring device. Figures 4.4 and 4.5 illustrate the current and energy consumption of the washing machine equipped with the proposed energy-saving system.

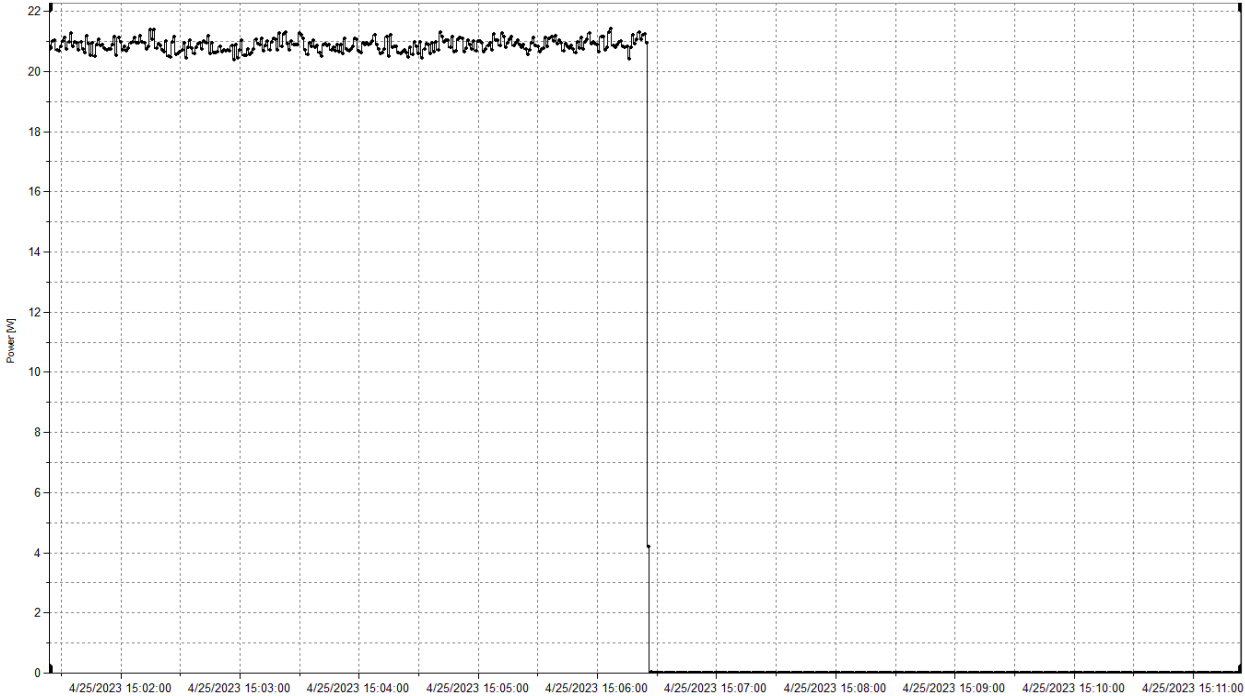


Figure 4.5 Power Consumption of the Washing Machine in Standby Mode After Implementing System V2, Measured with Fluke 1738

2.1.2 Laptop Lenovo Legion (15ACH6H)

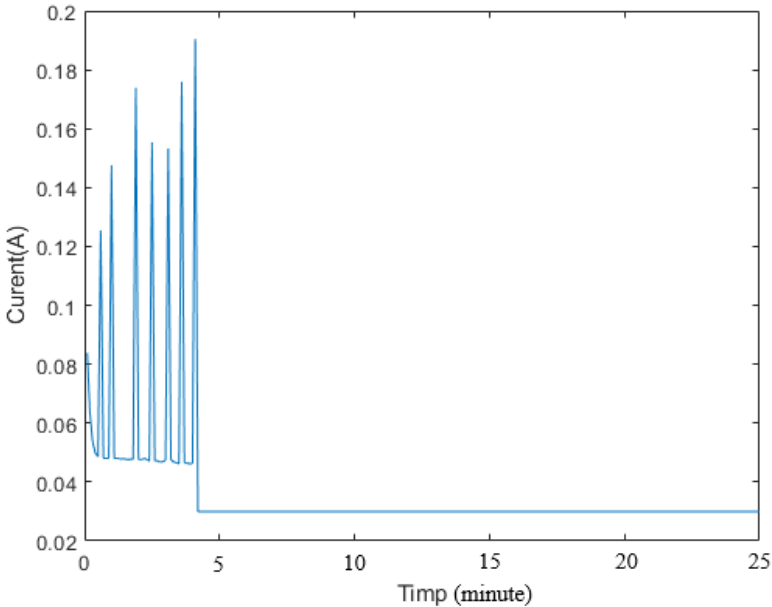


Figure 4.6 Current Absorbed by the Laptop in Standby Mode After Implementing System V2

Figures 4.6 and 4.7 illustrate the current and energy consumption of the laptop equipped with the proposed energy-saving system. The system initiates a reading from the current sensor four minutes after activation. It then evaluates this reading against a predefined threshold and, if necessary, disconnects the power via a relay, thereby saving energy. During the initial five-minute period, the laptop's current and energy consumption are remarkably low, at 0.050 A with regular peaks up to 0.190 A, and 11.5 W with regular peaks up to 43.7 W. These values subsequently drop to 0 A and 0 W until the system is reset or turned off for normal operation. A recorded current and energy consumption of 0.030 A and 6.9 W are attributed to the data acquisition of the proposed system.

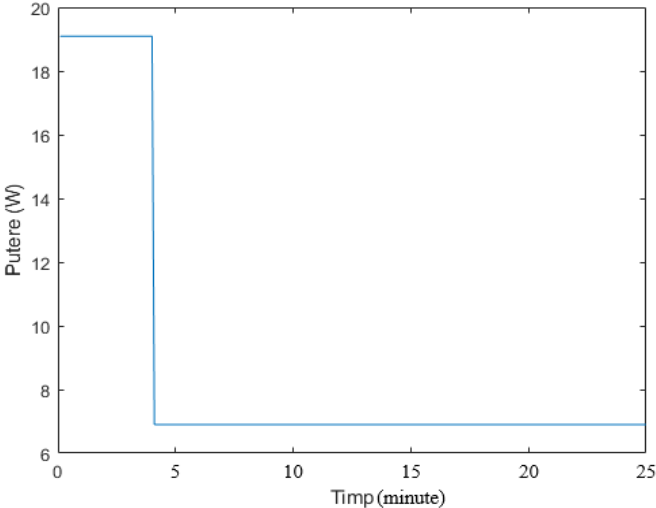


Figura 4.7 Power Consumption of the Laptop in Standby Mode After Implementing System V2

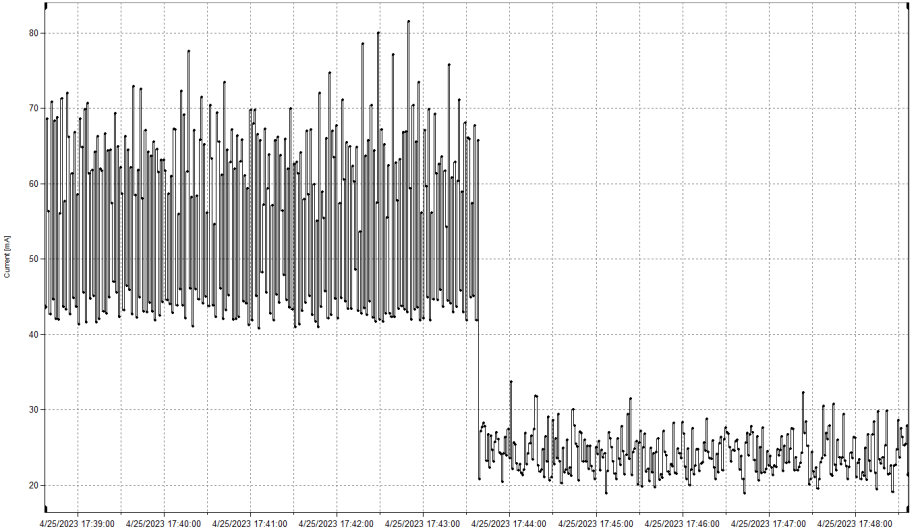


Figura 4.8 Current Absorbed by the Laptop in Standby Mode After Implementing System V2, Measured with Fluke 1738

To demonstrate that the proposed energy-saving system operates as shown by the measurements obtained with the developed V2, we remeasured using the Fluke 1738, which we used as a reference measuring instrument. Figures 4.8 and 4.9 illustrate the current and energy consumption of the laptop equipped with the proposed energy-saving system.

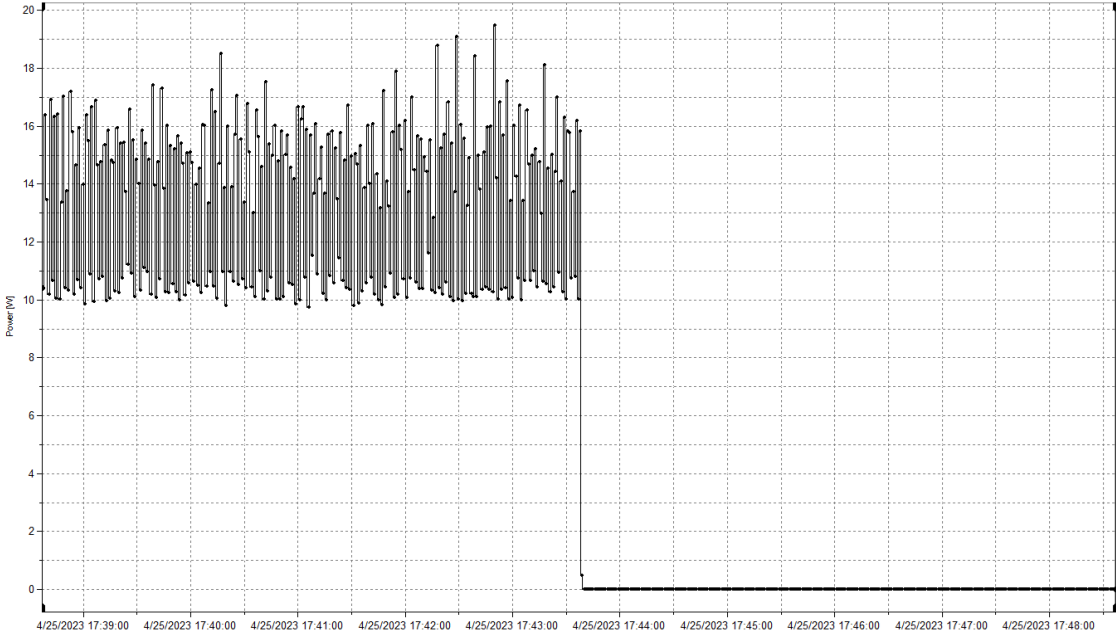


Figure 4.9 Power Consumption of the Laptop in Standby Mode After Implementing System V2, Measured with Fluke 1738

2.1.3 TV LG (40UH630V)

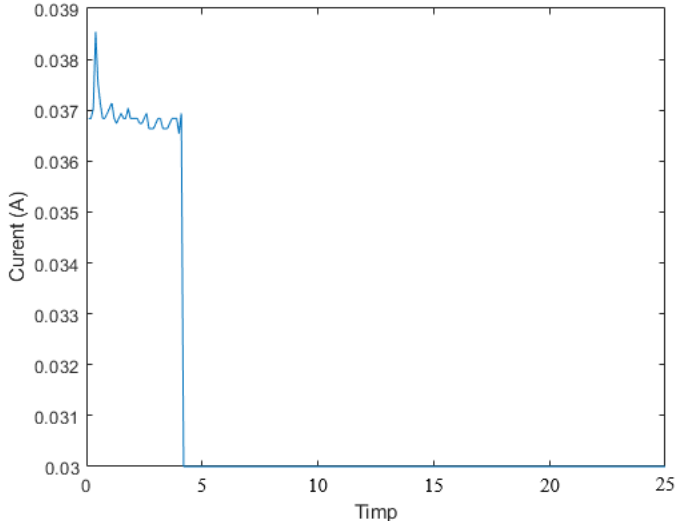


Figure 4.10 Current Absorbed by the TV in Standby Mode After Implementing System V2

Figures 4.10 and 4.11 illustrate the current and energy consumption of the television equipped with the proposed energy-saving system. After activation, the system initiates a current reading every four minutes. The reading is compared to a predefined threshold, and if the current drops below this threshold, the system disconnects the power through a relay, thus saving energy.

During the initial five-minute period, the current absorbed by the television is 0.037 A, and the energy consumption is 8.51 W. These values then decrease to 0 A and 0 W, indicating that the television has been disconnected from the power supply. The recorded values of 0.030 A and 6.9 W are attributed to the data acquisition system of the proposed solution. These measurements confirm the effectiveness of System V2 in managing energy consumption in stand-by mode.

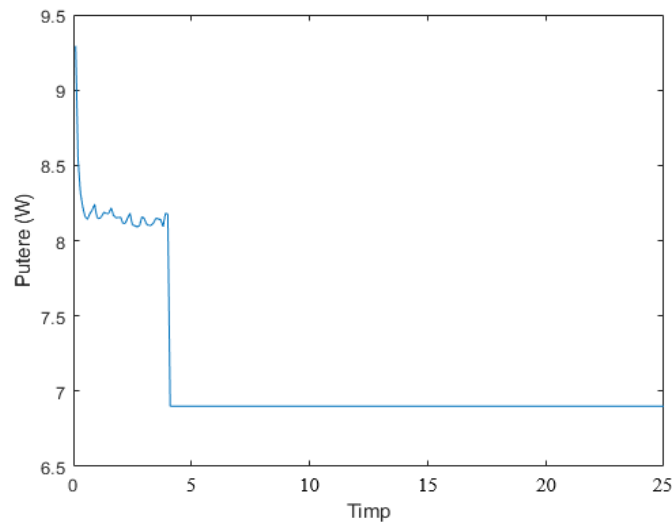


Figura 4.11 Power Consumption of the Television in Stand-by Mode After Implementing System V2

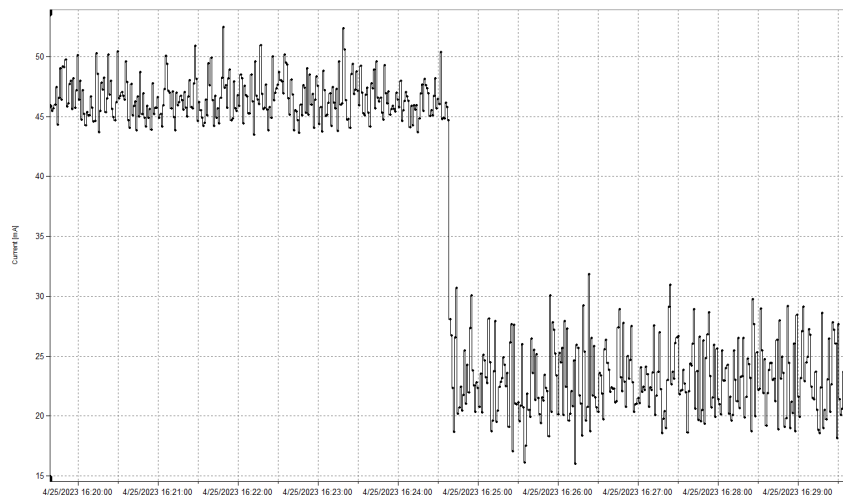


Figura 4.12 Current Absorbed by the TV in Stand-by Mode After Implementing System V2, Measured with Fluke 1738

To demonstrate that the proposed energy-saving system functions as shown by the measurements obtained with the developed V2 system, we re-conducted the measurements using the Fluke 1738, which served as a reference measurement device. Figures 4.12 and 4.13 illustrate the current and power consumption of the television equipped with the proposed energy-saving system.

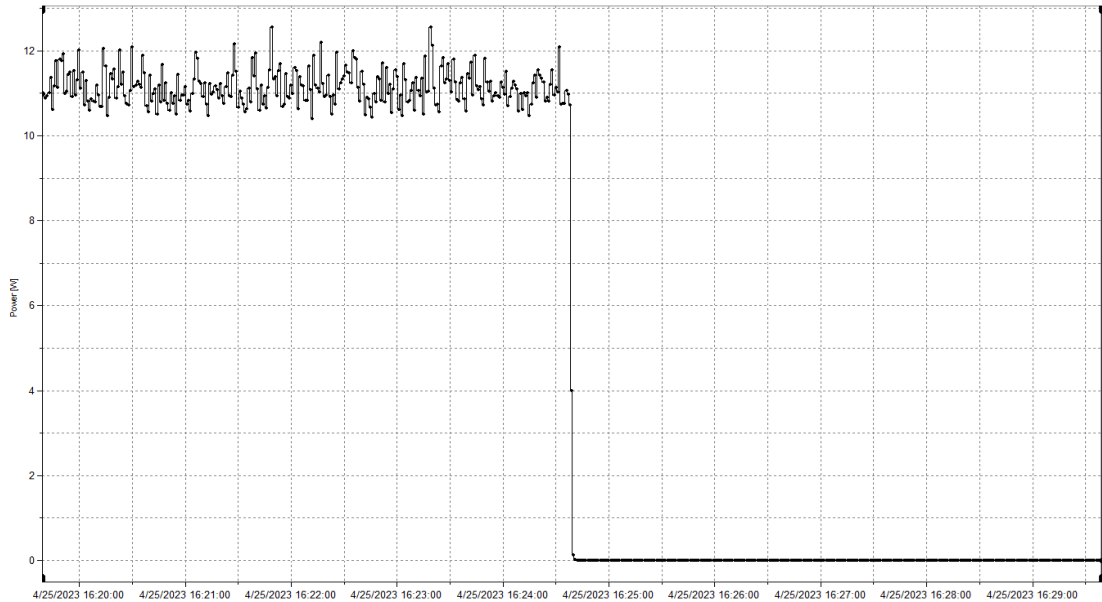


Figure 4.13 Power consumption of the TV in standby mode after the implementation of the V2 system, measured with a Fluke 1738

2.1.4 Sony Playstation 5 (CFI-1003A)

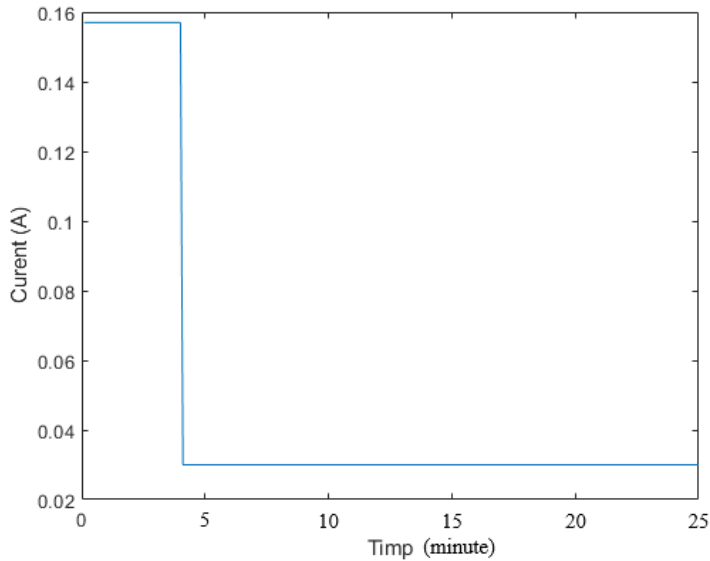


Figure 4.14 The current absorbed by the PlayStation 5 in standby mode after the implementation of the V2 system

Figures 4.14 and 4.15 illustrate the current and energy consumption of the PlayStation 5 console equipped with the proposed energy-saving system. The system initiates a reading from the current sensor four minutes after activation. It then evaluates this reading against a predefined threshold and, if necessary, disconnects the power via a relay, thereby saving energy. During the initial five-minute period, the current and energy consumption of the TV are low, at 0.157 A and 38.51 W, respectively. These values then decrease to 0 A and 0 W until the system is reset or turned off for regular operation. A recorded current and energy consumption of 0.030 A and 6.9 W are attributed to the data acquisition of the proposed system.

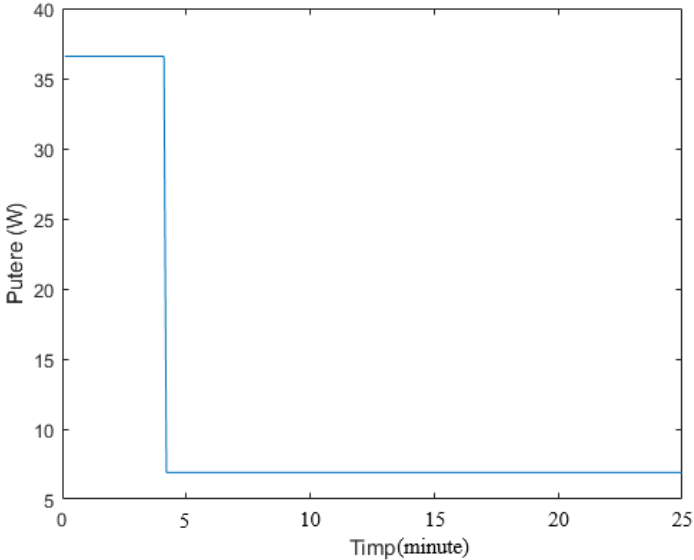


Figura 4.15 Power consumption of the PlayStation 5 in standby mode after the implementation of the V2 system

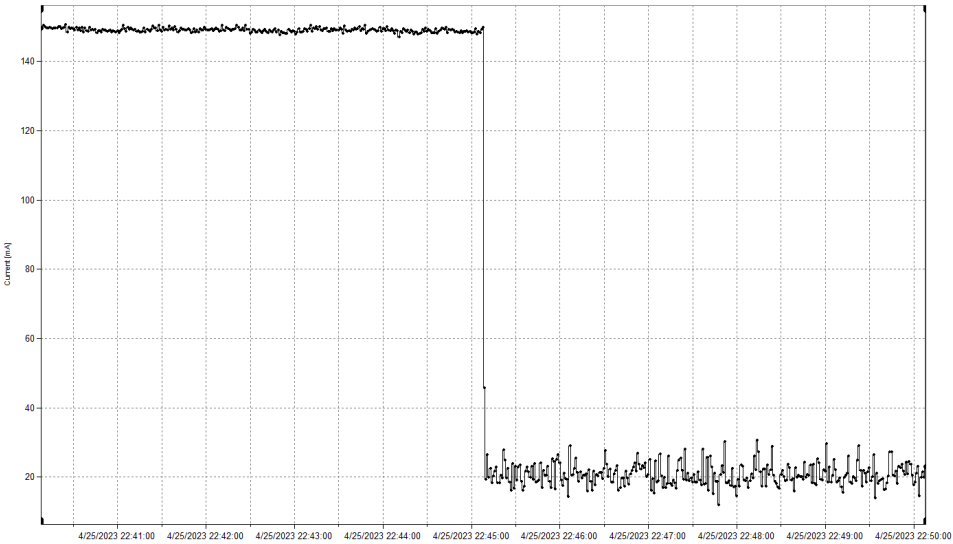


Figura 4.16 The current absorbed by the PlayStation 5 in standby mode after the implementation of the V2 system, measured with a Fluke 1738

To demonstrate that the proposed energy-saving system operates as indicated by the measurements obtained with the developed V2 system, we repeated the measurements using the Fluke 1738 equipment, which we used as a reference measuring device. Figures 4.16 and 4.17 illustrate the current and energy consumption of the console equipped with the proposed energy-saving system.

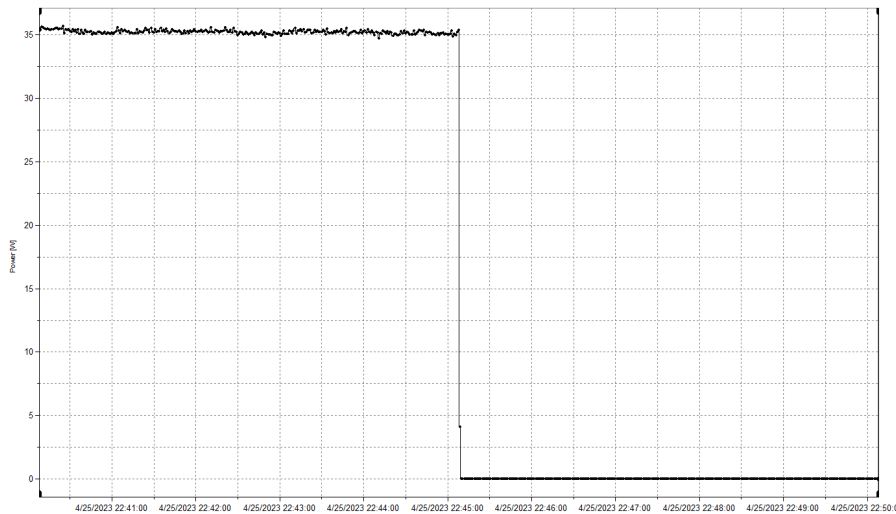


Figura 4.17 Power consumption of the PlayStation 5 in standby mode after the implementation of the V2 system, measured with a Fluke 1738

2.2 Optimization of Energy Consumption

Figures 4.18, 4.19, and 4.20 present a graphical comparative analysis of the electrical energy consumption of the four household appliances introduced at the beginning of this chapter, with and without the implementation of the proposed V2 system, over a period of one hour, one day, and one month, respectively.

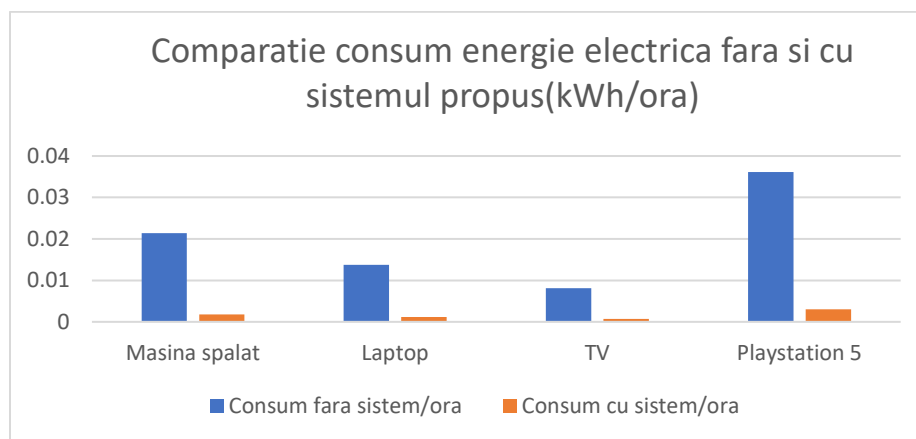


Figura 4.18 Comparative graphs of the hourly electrical energy consumption of the equipment with and without the proposed system (kWh/hour)

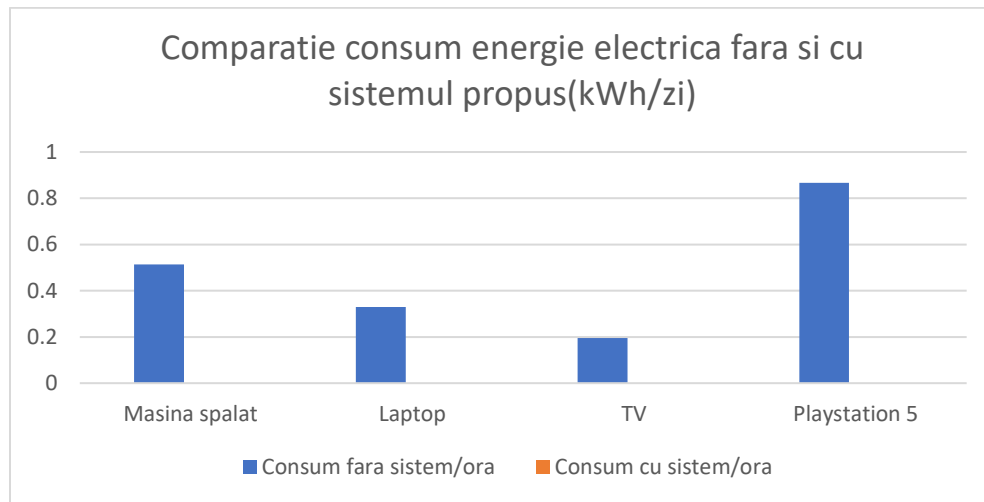


Figura 4.19 Comparative graphs of the daily electrical energy consumption of the equipment with and without the proposed system (kWh/day)

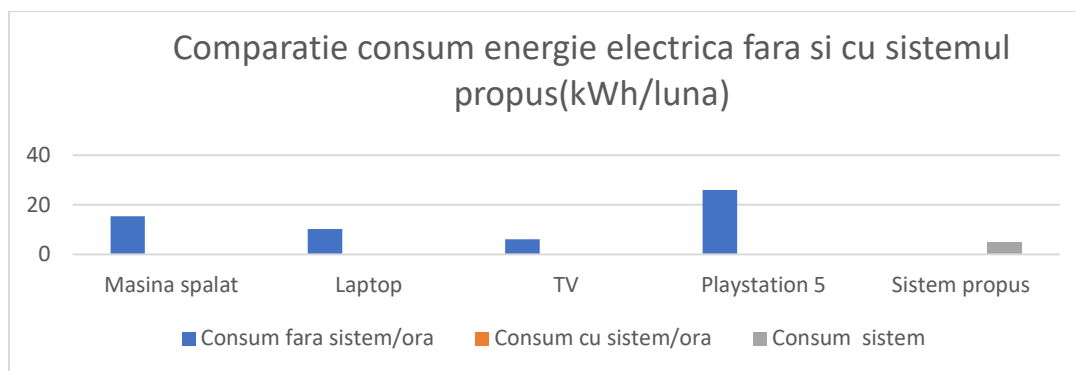


Figura 4.20 Comparative graphs of the monthly electrical energy consumption of the equipment with and without the proposed system (kWh/month)

Table 4.1 presents the energy consumption values in standby mode for the analyzed household appliances, with and without the proposed system. It should be noted that, when the proposed system is implemented, the energy consumption in standby mode occurs only for 5 minutes, until the system is either restarted or remotely deactivated for normal use of the equipment.

The initial total hourly energy consumption in standby mode of the equipment is measured at 0.07938 kWh. After implementing the V2 system, the total standby consumption of the considered equipment is reduced to 0.00659 kWh, representing an 83.1% reduction. Standby consumption is not reduced to zero because the energy consumption of the V2 system itself, which monitors and controls the equipment, must be considered. The typical operational consumption of the proposed system is 4.968 kWh per month, so the total energy consumption is reduced by 52.71 kWh per month, which

is a 91.3% reduction, highlighting the significant reduction in energy consumption achieved through the use of the proposed V2 system.

Table 4.1Energy consumption in standby mode of the household appliances with and without the proposed system

Echipamente	Consum orar stand-by fără sistem kWh	Consum orar stand-by cu sistem kWh	Consum stand-by fără sistem kWh/zi	Consum stand-by cu sistem kWh/zi	Consum stand-by fără sistem kWh/lună	Consum stand-by cu sistem kWh/lună
Mașina de spălat	0.02139	0.00178	0.51336	-	15.40080	-
Laptop	0.01373	0.00114	0.32952	-	10.21512	-
TV	0.00815	0.00067	0.19560	-	6.0636	-
Playsation 5	0.03611	0.00300	0.86664	-	25.9992	
Sistem propus	-	-	-	-	-	4.968
Total	0.07938	0.00659	1.90512	-	57.67872	4.968

The Principle of Energy Efficiency First is a central concept in the guidelines provided by the Official Journal of the European Union 2021/C 373/01. This principle is crucial for ensuring that infrastructure projects are designed and operated with minimal energy consumption.

The principle of "energy efficiency first" is defined in Article 2(18) of Regulation (EU) 2018/1999 of the European Parliament. It means that energy efficiency must be a priority in all decisions related to infrastructure projects. During the detailed analysis phase of projects, it is essential to firmly integrate the "energy efficiency first" principle into the project design, option analysis, and cost-benefit analysis. This involves adopting the most energy-efficient solutions possible to minimize energy consumption and greenhouse gas emissions throughout the infrastructure's lifetime.

Recently, new EU regulations have been adopted regarding the reduction of standby power consumption, aligning with the theme and proposals presented in this article. Commission Regulation (EU) 2023/826 sets strict requirements for the energy consumption of household and office electrical and electronic equipment in standby and off modes. This regulation is part of Directive 2009/125/EC, which aims to improve the energy efficiency of products sold in the EU. Starting from 2025, devices must not consume more than 0.5 Wh in standby or off mode, and 0.8 Wh if they are in standby mode and display status or information. From 2027, these limits will be reduced to 0.5 Wh in standby mode and 0.3 Wh in off mode, while the maximum consumption for devices that display status or information in standby mode will remain at 0.8 Wh. For devices connected to the internet in network standby mode, the consumption limits range

from 2 to 7 Wh, depending on the product type, and will be progressively reduced to encourage increased energy efficiency.

Tabel 4.2. Energy consumption in standby mode achieved through the implementation of the proposed system compared to future EU regulations

Echipamente electrocasnice cu sistemul implementat	Consum orar stand-by cu sistemul V2 propus (kWh)	Consum stand-by regulament EU 2025 (kWh)	Consum stand-by regulament EU 2027 (kWh)
Masina de spalat	0.00178	0.0005 - 0.0008 sau 0.0002 - 0.0007	0.0003-00005 sau 0.0002 - 0.0007
TV	0.00067		
Laptop	0.00114		
Playstation 5	0.0030		

Comparing Tables 4.1 and 4.2, without considering the consumption of the proposed V2 system, it is evident that the standby consumption of the equipment is zero, which indicates compliance with the limits proposed by EU regulations. However, in practice, if the consumption of the implemented V2 system is taken into account, optimizations are needed to ensure that the system's consumption falls within regulated limits. For example, the proposed V2 system could be powered by an external 5V battery equipped with a battery management system. Overall, the comparative analysis of the values in the two tables clearly shows that the actual standby consumption limits of the household appliances after the implementation of the proposed system are quite close to the European limits. On the other hand, the introduction of these new European regulations regarding the reduction of standby consumption of household appliances highlights the relevance and importance of the topic addressed in this doctoral thesis.

Chapter 5. Conclusions. Original Contributions. Future Developments of the Thesis

As energy prices continue to rise, optimizing energy consumption to reduce both energy usage and associated costs has become an increasingly important concern. A

prevalent feature of typical household appliances is their tendency to consume electricity even when in standby mode.

The slow progress in domestic energy conservation can be attributed to a lack of fundamental knowledge about energy consumption. Various households incorporate different energy sources into their daily lives, but there is often confusion about the specific purposes for which each type of energy is used. Moreover, the correlation between household characteristics and energy consumption is not widely understood. Households play a crucial role in global energy demand, especially in the field of electricity. While reducing electricity consumption is vital for environmental concerns and energy security, electricity remains indispensable in our daily lives.

This thesis proposes optimizing the energy consumption of common household appliances and thereby reducing their operating costs by developing a system to reduce the electricity consumption of devices in standby mode. This system aims to minimize the amount of electricity consumed by disconnecting appliances from the power supply. The overall design of the system includes both hardware and software development for the proposed energy reduction system in three versions, as well as the development of a data acquisition system in two versions used for characterizing the electrical parameters of household appliances.

This thesis provides an overview of both the conceptual technologies of a smart home and its current state, including the presentation of commonly found appliances, the functioning of automated systems, and communication networks.

The proposed systems, designed to characterize the electrical behavior of household appliances and reduce energy consumption by disconnecting them from the power supply in standby mode, have demonstrated promising results. Measurements conducted using a data acquisition (DAQ) system on eight significant household consumers, with data processed through a developed application in Matlab and verified by an application developed in Python, showed accurate polynomial interpolation models. This indicates that the developed DAQ system functions well and can be used to measure the energy consumption of all household appliances. Additionally, the components used for measuring electrical characteristics in the DAQ system were employed in the proposed energy reduction system.

The proposed system for reducing electricity consumption achieved a reduction of up to 52.71 kWh per month. However, its effectiveness depends on the home being wired for smart technology, with each socket having its own circuit. This configuration allows for efficient monitoring and control of multiple appliances through integration

with the home's fuse panel, thus keeping both implementation costs and system payback time low.

3.1 Original Contributions

1. Implementation of an Integrated Energy Reduction System: The first original contribution is the development of a system designed to monitor, control, and reduce the electrical energy consumption of household appliances in standby mode. This system integrates both hardware and software components and includes a data acquisition system. By utilizing off-the-shelf hardware components, the system identifies appliances with energy consumption in standby mode.

2. Use of Fluke 1738 Power Logger for Electrical Parameter Measurement: Electrical parameters of household appliances were measured using the Fluke 1738 Power Logger, a certified measuring instrument that was used as a benchmark for developing the data acquisition system.

3. Development of the Data Acquisition System (DAQ): The creation of a data acquisition system based on an integrated circuit (IC) and the associated software for reading data from the DAQ system. This involved both hardware design and software programming.

4. Energy Consumption Measurement in Normal and Standby Modes: Energy consumption measurements of household appliances were taken in both normal and standby modes using the DAQ system. The results obtained were consistent with those measured using the benchmark Fluke 1738.

5. Mathematical Modeling of Electrical Parameters: Mathematical models of the electrical parameters of appliances in both operating modes were developed to demonstrate the efficiency of the DAQ system. These models were created using applications designed in Matlab and PyCharm.

6. Development of Version 1 of the Energy Reduction System: The creation of a hardware prototype for reducing energy consumption, assigned to appliances with standby power consumption. This version included both hardware and software components for effective energy management.

7. Software Development for Version 1: Development of software for Version 1 of the system, including a mobile application for the Android operating system. This application uses bidirectional Bluetooth technology to provide users with a solution for controlling and monitoring appliances, including setting measurement cycle times and current threshold values to disconnect appliances in standby mode.

8. Development of Version 2 of the Energy Reduction System: Creation of an improved hardware prototype for Version 2, incorporating an advanced integrated circuit and a more powerful development platform (ESP32). This modern platform reads and operates both the control relay and the web server hosting the software application. It allows users to connect to the system via bidirectional Wi-Fi using any device with a web browser (mobile, tablet, or PC), providing a bidirectional control and monitoring solution.

9. Software Development for Version 2: Development of the software application for Version 2 and a web application used for monitoring and control.

10. Development of Version 3 of the Energy Reduction System: Creation of an enhanced hardware prototype for Version 3, which is still in the early stages of development. This system uses the integrated circuit and data acquisition system from previous versions, along with a high-performance development board (Raspberry Pi 5).

11. Software Development for Version 3: Development of the software application for Version 3, incorporating machine learning and neural network technologies. This version aims to fully automate the system with learning functions that automatically determine standby consumption and user usage time without requiring a third-party monitoring and control application.

12. Achieving Reduced Energy Consumption: Demonstrating a reduction of 52.71 kWh per month by implementing the system on four appliances with standby power consumption.

13. Comparative Analysis of System Versions: Comparative analysis of results obtained with the three versions of the energy reduction system for household appliances.

14. Comparison with EU Regulations and Financial Impact Assessment: A comparative study of the results obtained with the proposed system versus the EU regulations, and an evaluation of the financial impact of implementing the proposed system.

3.2 Future Developments of the Thesis

For the further development of the thesis, it is proposed to enhance the software application of the electricity consumption reduction system for household appliances in version 3 by optimizing the application to provide a communication function with other devices and, at the same time, to create a network of systems capable of learning and automatically recording the electricity consumption of other equipment. Additionally, it could offer the identification of an "energy footprint" of the use of household appliances in smart homes using bidirectional Wi-Fi communication technology. This new function of the system will provide a new learning method by adopting neural network or AI technologies to automatically improve their utility, thus contributing to even greater reductions in electricity consumption both in the residential and industrial sectors.

Selective Bibliography

- [1] Hu, Y., Chen, J., & Ding, Y. (2014). A smart home system based on ZigBee and Android technology. *Journal of Computers*, 9(10), 2489-2496.
- [2] Huang, Q., & Li, W. (2013). Design and implementation of a smart home solution based on the internet of things. *Proceedings of the 5th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics*, 178-181.
- [3] Ihara, M. (2019). Cybersecurity in smart homes. *Journal of Cyber Security Technology*, 3(1), 21-29.
- [4] Mann, S. (2016). Evolution of the smart home and its impact on technology. *IEEE Consumer Electronics Magazine*, 5(2), 21-25.
- [5] Desiderio, R.J.; Del Rio, P. Analysing the drivers of the efficiency of households in electricity consumption, *Energy Policy 2022*, Vol 164, pp.43-61.
- [6] Eurostat, *Energy Consumption in Households*, (2023).
- [7] Villanueva, D.; San-Facundo, D.; Miguez-Garcia, E.; Fernandez-Otero, A. Modeling and Simulation of Household Appliances Power Consumption. *Appl. Sci.*2022, 12(7), 3689, pp. 202-222.
- [8] Hubert, P.; Gerber, M.; Rumsch, A., Paice, A. Prediction of domestic appliances usage based on electrical consumption, *Energy Informatics* volume 12018, Article number: 16, pp. 266-271.
- [9] Moldovan, D.; Slowik, A. Energy consumption prediction of appliances using machine learning and multi-objective binary grey wolf optimization for feature selection. *Applied Soft Computing*2021, vol 111, pp.103-121.

- [10] Chauhan, R. K.; Chaucan, K.; Badar, A. Optimization of electrical energy waste in house using smart appliances management System-A case study, *Journal of Building Engineering*2021, no. 46, vol 2, pp.37-45.
- [11] Molla, T.; Khan, B.; Moges, B. Alhelou, H.; Zamani, R.; Siano, P. Integrated energy optimization of smart home appliances with cost-effective energy management system, *CSEE Journal of Power and Energy Systems*2019, no.5, vol.2, pp.249-258.
- [12] Issi, F.; Kaplan, O. The Determination of Load Profiles and Power Consumptions of Home Appliances, *Energies*2018, Vol 11.
- [13] Perumal, T., & Sulaiman, M. N. (2014). Proactive architecture for Internet of Things (IoTs) management in smart homes. *Journal of Network and Computer Applications*, 44, 269-279.
- [14] Rhee, W., & Park, J. (2015). Smart home automation with wireless sensor networks. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 11(10), 691672.
- [15] Ries, M., & Schuster, F. (2019). The Internet of Things (IoT) in smart homes: An exploratory study. *Telematics and Informatics*, 36, 121-135.
- [16] Tsai, C. W., Lai, C. F., & Vasilakos, A. V. (2014). Future trends and recent advances in wireless power transfer for smart homes. *IEEE Wireless Communications*, 21(4), 54-60.
- [17] Zhu, J., & Wang, L. (2014). Smart homes: Overview and key technologies. *IEEE Communications Magazine*, 52(8), 92-101.
- [18] Ziegler, C. (2016). Smart home communication networks: A review. *Journal of Communications and Networks*, 18(4), 567-581.
- [19] Zou, Y., & Liang, X. (2016). Wireless sensor network design for smart homes. *Journal of Communications*, 11(4), 340-345.
- [20] Zuquete, A., & Pinto, A. (2019). An integrated framework for smart home management. *IEEE Access*, 7, 129082-129092.
- [21] **AC Gheorghe**, H.Andrei, E. Diaconu, Data measurement and modeling method of electrical parameters of basic household equipment, 14th International Conference on Electronics, Computers and Artificial Intelligence (ECAI) (2022).
- [22] **AC Gheorghe**, I. Udroi, E. Stan, Electricity Consumption Measurement System Using ESP32, *Tea Scientific Newsletter of Electrical Engineering Faculty*, 21, 2, pp. 23-26 (2021).
- [23] **Gheorghe, A. C.**; Andrei, H.; Diaconu, E. Système Intelligent Pour la Réduction de la Consommation Electrique en Veille Des Équipements Ménagers. *Revue Roumaine des Sciences Techniques, Série Électrotechnique et Énergétique*2023, Vol.68(4), pp.413-418.
- [24] **AC Gheorghe**, H. Andrei, E. Diaconu, PC Andrei, Smart system for energy saving in stand-by residential consumption, *Energies* 2024. *Energies* 2024, 17(12), 2989. DOI: 10.3390/en17122989. WOS:001256690200001.

- [25] Jurnalul Oficial al Uniunii Europene 2021/C 373/01: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:C:2021:373:TOC>
- [26] Regulament European EU 2023/826: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/RO/TXT/?uri=CELEX:32023R0826>