

**CONSIDERAȚII TEHNICE / CERCETARE PRIVIND UTILIZAREA
EFICIENTĂ A ENERGIEI ELECTRICE
ÎNDRUMAR DE LABORATOR**

Laurențiu Constantin
LIPAN

Sorin
DIMITRIU

Gheorghe
COMĂNESCU

George Alexandru
FLOREA

**CONSIDERAȚII TEHNICE / CERCETARE
PRIVIND UTILIZAREA EFICIENTĂ A
ENERGIEI ELECTRICE
ÎNDRUMAR DE LABORATOR**



București, 2024

@2024 Laurențiu Constantin LIPAN, Sorin DIMITRIU, Gheorghe COMĂNESCU, George Alexandru FLOREA

Toate drepturile sunt rezervate autorilor

Descrierea CIP a Bibliotecii Naționale a României

Considerații tehnice - cercetare privind utilizarea eficientă a energiei electrice : îndrumar de laborator / Laurențiu Constantin Lipan, Sorin Dimitriu, Gheorghe Comănescu, George Alexandru Florea. - București : Editura Tehnică : Editura Academiei Oamenilor de Știință din România, 2024

Conține bibliografie

ISBN 978-973-31-2418-4

ISBN 978-630-6518-38-8

I. Lipan, Laurențiu-Constantin

II. Dimitriu, Sorin

III. Comănescu, Gheorghe

IV. Florea, George A.

621.3

Îngrijire editorială: Dr.ing. Laurențiu Constantin Lipan

Bun de tipar: 10.09.2024

ISBN 978-973-31-2418-4

ISBN 978-630-6518-38-8

Imprimat în România

CUPRINS / pag.5

INTRODUCERE / pag.9

1. LUCRAREA DE LABORATOR NR. 1. ANALIZA ALIMENTARII CU ENERGIE ELECTRICA A UNUI UTILIZATOR DE TIPUL MAȘINĂ COMPRESOARE CU ȘURUB – STUDIU DE CAZ (Autor: Conf.dr.ing. Laurențiu Constantin LIPAN – UNSTPB) / pag.11

1. Scopul lucrării / pag.11
2. Aspecte teoretice / pag.11
3. Schema utilizată / pag.12
4. Modul de lucru / pag.13
5. Chestiuni de studiat / pag.14
6. Rezolvare / pag.14
- Bibliografie L1 / pag.28

2. LUCRAREA DE LABORATOR NR. 2. ANALIZA TERMOENERGETICA A FUNCȚIONĂRII UNEI MAȘINI COMPRESOARE CU ȘURUB – STUDIU DE CAZ (Autor: Prof.Asoc.dr.ing. Sorin DIMITRIU – UNSTPB) / pag.31

1. Scopul lucrării / pag.31
2. Aspecte teoretice / pag.31
3. Schema utilizată / pag.38
4. Modul de lucru / pag.42
5. Chestiuni de studiat / pag.42
6. Rezolvare / pag.43
- Bibliografie L2 / pag.48

3. MĂSURAREA CÂMPULUI ELECTROMAGNETIC ÎN TIMPUL FUNCȚIONĂRII UNUI UTILIZATOR DE TIPUL MAȘINĂ COMPRESOARE CU ȘURUB – STUDIU DE CAZ (Autor: Dr.ing. George Alexandru FLOREA – AOSR (ACADEMIA OAMENILOR DE ȘTIINȚĂ DIN ROMÂNIA)) / pag.51

1. Scopul lucrării / pag.51
2. Aspecte teoretice / pag.51
3. Schema utilizată / pag.56
4. Modul de lucru / pag.56
5. Chestiuni de studiat / pag.57
6. Rezolvare / pag.58
- Bibliografie L3 / pag.61

4. DETERMINĂRI PRIVIND CALITATEA PRIZEI DE PĂMÂNT A UTILIZATORULUI ANALIZAT (Autori: Conf.dr.ing. Laurențiu Constantin

LIPAN, Prof.dr.ing. Gheorghe COMANESCU – UNSTPB) / pag.63

1. Scopul lucrării / pag.63
 2. Aspecte teoretice / pag.63
 3. Schema utilizată / pag.68
 4. Modul de lucru / pag.68
 5. Chestiuni de studiat / pag.69
 6. Rezolvare / pag.69
- Bibliografie L3 / pag.75

ANEXE / pag.77

Anexa 1. Anexa cu date excell în format CD/stick [cuprinde: perioada de monitorizare, U (tensiuni), I (curenți electrici), P (puteri active), Q (puteri reactive), S (puteri aparente), PF (factor de putere), Arm-U (Armonice de tensiune impare între 3...49), Arm-I (Armonice de curent electric impare între 3...49), THD-U (Total Harmonics Distorsion/Factor total de distorsiune Amonice de tensiune), THD-I (Factor total de distorsiune Amonice de curent electric), Pst (indicator de Flicker pe termen scurt), Plt (indicator de Flicker pe termen scurt), ks (nesimetrii)] sau se pot solicita la adresa de email laurentiu.lipan@upb.ro / pag.77

Anexa 2. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, U (tensiuni), I (curenți electrici) din ziua de 06.02.2024 / pag.77

Anexa 3. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, P (puteri active), Q (puteri reactive), S (puteri aparente) din ziua de 06.02.2024 / pag.82

Anexa 4. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, PF (factor de putere), Nesimetrii de Tensiune-Curenți electrici, Frecvență din ziua de 06.02.2024 / pag.87

Anexa 5. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, THD-U (Total Harmonics Distorsion/Factor total de distorsiune Amonice de tensiune), THD-I (Factor total de distorsiune Amonice de curent electric), din ziua de 06.02.2024 / pag.92

Anexa 6. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, Pst (indicator de Flicker pe termen scurt), Plt (indicator de Flicker pe termen scurt), din ziua de 06.02.2024 / pag.97

Anexa 7. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, Arm-U faza A (Armonice de tensiune impare între 3...7), din ziua de 06.02.2024 / pag.102

Anexa 8. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, Arm-I Faza A

(Armonice de curent electric impare între 3...7), din ziua de 06.02.2024 / pag.107

Anexa 9. Eșantion Date monitorizate - perioada de monitorizare, ks (nesimetrii de tensiune), din ziua de 06.02.2024 / pag.112

INTRODUCERE

Volumul al doilea din îndrumarul de laborator ”**CONSIDERAȚII TEHNICE / CERCETARE PRIVIND UTILIZAREA EFICIENTĂ A ENERGIEI ELECTRICE**”, continuă ideea primului volum: studiul complet al unui utilizator industrial, atât din punct de vedere al calității energiei electrice, cât și al eficienței energetice și al impactului de mediu.

Ca și în cazul primului volum, lucrările prezentate în volumul al doilea se bazează pe cazul concret al unui utilaj consumator de energie electrică cu largă răspândire în practic toate domeniile: un compresor de aer cu șurub de ultimă generație.

Alături de apă, electricitate și combustibil, aerul comprimat este numit adeseori *a patra utilitate*, compresoarele de aer fiind o componentă de bază într-o gamă largă de activități industriale și servicii, inclusiv activități de construcții, producția de alimente și băuturi, agricultura și multe altele. Poate nu totdeauna se observă, dar aerul comprimat este prezent peste tot, în jurul nostru, de la foalele utilizate la cuptoare și până la mașinile de suflat mase plastice, diversele acționări pneumatice, sau instrumentarul utilizat când stăm pe scaunul stomatologului.

Utilizarea aerului comprimat în locul echipamentelor electrice în diversele acționări, prezintă mai multă siguranță. Punerea accidentală sub tensiune, șocurile electrice sau incendiile care pot apare ca urmare a supraîncărcărilor, pot determina deteriorarea echipamentelor și a bunurilor din apropiere sau pot afecta, cu consecințe dintre cele mai neplăcute, personalul care manipulează, utilizează sau deserveste echipamentele. Acționările și sculele pneumatice pot fi utilizate fără riscuri și în situații dintre cele mai defavorabile, cum ar fi condiții extreme de temperatură sau umiditate.

Utilizarea aerului comprimat este mai flexibilă și mai ușor de realizat în zone care cer re poziționarea frecventă a utilajelor cum ar fi minele sau șantierelor de construcții. Sculele pneumatice funcționează mai rece, au avantajul unei turații și al unui cuplu variabile și pot dezvolta forțe foarte mari sau pot fi miniaturizate. De multe ori este deosebit de dificil sau chiar imposibil să se dezvolte aplicații echivalente cu energie electrică.

Sculele și dispozitivele acționate pneumatic sunt, de asemenea, mai ușoare, putând fi fabricate din materiale care le fac mai economice și mai ergonomice, echilibrând astfel costul aerului comprimat cu cel al utilizării forței de muncă.

Costul aerului comprimat utilizat ca agent motor de acționare poate fi foarte ridicat, cu până la 7...8 ori mai mare decât cel al energiei electrice dar, echipamentul proiectat pentru a utiliza aer comprimat este mai ieftin. Sunt utilizate mai puține piese datorită simplității designului, iar sculele și uneltele pneumatice sunt în mod obișnuit robuste și au o durabilitate foarte mare.

Desigur că pentru a se putea utiliza scule, unelte, echipamente sau acționări pneumatice trebuie să existe sursa de aer comprimat: mașina compresoare. Pe măsură

ce oamenii au început să topească minereuri și să utilizeze metalele, a fost nevoie de temperaturi mai ridicate și de o sursă mai puternică de aer. Compresorul de aer a apărut cam cu 1500 de ani î. Hr, începând cu utilizarea mijloacelor de suflare de către metalurgiștii egipteni și sumerieni, burduful acționat manual sau cu piciorul fiind considerat prima mașină compresoare. Au trebuit să treacă însă peste 3000 de ani pentru ca, în secolul al XVIII-lea, să fie inventat strămoșul compresorului de astăzi: o mașină care ridică presiunea aerului folosind un cilindru cu piston, acționat de o roată hidraulică.

În secolul al XIX-lea, a doua revoluție industrială a determinat și dezvoltarea mașinilor compresoare cu piston în una sau mai multe trepte care, acum realizate în condiții de tehnologie mai avansată și acționate de motoare electrice sau termice, au putut produce aer comprimat la presiuni ridicate și debite foarte mari, favorizând astfel introducerea acționărilor, sculelor și uneltelor pneumatice în toate domeniile. Compresorul cu șurub, cu două rotoare melcate a fost inventat și brevetat în Suedia în 1935, găsindu-și apoi drumul în întreaga lume, inclusiv dincolo de ocean.

În ziua de astăzi, compresoarele cu șurub au devenit componentele de bază în instalațiile de producere a aerului comprimat, în echipamentele de răcire sau pompele de căldură.

Utilizatorii de astăzi se așteaptă la disponibilitate și eficiență maximă de la compresoarele lor, indiferent de dimensiune. Prin urmare, nu este surprinzător faptul că compresoarele cu șurub depășesc cu mult îndeplinirea acestor așteptări cheie. Nu numai că furnizează mai mult aer comprimat pentru mai puțină energie, dar combină de asemenea, ușurința de utilizare și facilitățile de întreținere cu o versatilitate excepțională și un design responsabil cu mediul înconjurător.

Eficiența unei mașini depinde de costurile totale, cumulate pe toată durata de viață a acesteia. Prin urmare, fabricanții actuali și-au proiectat compresoarele având în vedere o eficiență energetică și economică optimă. Îmbunătățirile aduse profilului rotoarelor, generând economie de energie în interiorul blocului de compresie și utilizarea motoarelor electrice cu turație variabilă, au contribuit semnificativ la creșterea performanței acestor compresoare. De asemenea, adăugarea unui controler inteligent și a unui sistem de răcire unic și performant, a ajutat la depășirea limitelor eficienței și mai mult.

Poate nu este evident, dar până la 100% din energia electrică furnizată unui compresor rotativ cu șurub este transformată în căldură și până la 96% din această energie poate fi recuperată și reutilizată în scopuri de încălzire. Acest lucru nu numai că reduce consumul de energie primară, dar îmbunătățește și echilibrul energetic general al utilizatorului.

În volumul 2 al acestui îndrumar de laborator, autorii au căutat să prezinte modul în care poate fi studiată funcționarea unui consumator electric de tip compresor cu șurub sub toate aspectele, privind influența calității energiei electrice utilizate, eficiența energetică a procesului de comprimare, siguranța în exploatare și impactul de mediu, punând astfel la dispoziția studenților o imagine completă a metodelor de investigare ale unui astfel de echipament.

1. ANALIZA ALIMENTĂRII CU ENERGIE ELECTRICA A UNUI UTILIZATOR DE TIPUL MAȘINĂ COMPRESOARE CU ȘURUB – STUDIU DE CAZ (Autor: Laurențiu Constantin LIPAN)

1. Scopul lucrării

Această lucrare are ca obiectiv analiza unor probleme tehnice asociate utilizării unui compresor de mare putere, echipat cu motoare asincrone trifazate, fiecare fiind acționat prin dispozitive electronice de putere, precum convertoare sau soft-startere (posibil cu rotorul în scurtcircuit). Se investighează variația curbelor și a parametrilor de funcționare ai echipamentului electric pe o perioadă caracteristică, făcându-se totodată aprecieri legate de regimul deformant, defazajul indus de compresor în funcție de diferite încărcări, cerințele electrice și mecanice, precum și comportamentul general al echipamentului în diverse condiții de operare (tipice sau atipice).

2. Aspecte teoretice

2.1. Generalități

Monitorizarea parametrilor ce reflectă calitatea energiei electrice ajută la identificarea sursei perturbațiilor, fie acestea de origine externă sau internă, provenind de la utilizator sau vecinătăți. Astfel, se poate stabili dacă responsabilitatea revine consumatorului sau dacă există factori externi care afectează calitatea energiei furnizate, implicând astfel rolul distribuitorului și al rețelei de distribuție locale. De asemenea, se are în vedere și funcționarea insularizată a microrețelei studiate, eventual într-un inel/buclat. Menținerea perturbațiilor la un nivel acceptabil este esențială pentru asigurarea unei calități corespunzătoare a energiei electrice, fiind o preocupare majoră în sectorul energetic, în general, și în cadrul laboratorului, în principal.

Calitatea energiei electrice furnizate în sistem este influențată în principal de următorii factori [10,11]: puterea activă [W], puterea reactivă [VAr] și puterea aparentă [VA], tensiunea [V] și curenții [A], factorul de putere (diferența de fază dintre tensiune și curent pentru fiecare fază), frecvența [Hz], armonicile de tensiune și THD-U (Factorul Total de Distorsiune a Tensiunii), armonicile de curent și THD-I (Factorul Total de Distorsiune a Curentului), indicatorii de flicker pe termen scurt (Pst) și pe termen lung (Plt), asimetriile de tensiune și de curent electric.

Instalarea echipamentelor de monitorizare și măsurare a energiei electrice, presupune conectarea acestora la rețeaua electrică trifazată, eventual de distribuție, pentru a înregistra consumul de energie al utilizatorilor și al tuturor celorlate valori

indicate mai sus. Tipul de echipament de monitorizare/măsurare/măsură, se alege, de regulă, în funcție de configurația conexiunilor: monofazate, frecvent folosite în industriile, laboratoare, gospodării, sunt conectate prin două fire — unul pentru fază și unul pentru neutru. În schimb, cele trifazate, destinate consumatorilor industriali sau comerciali cu cerințe energetice mai mari, necesită patru fire sau cinci — câte unul pentru fiecare fază și unul pentru neutru (plus unul pentru legătura la pământ). Acestea măsoară curentul electric, tensiunea și defazajul (unghiul) pentru a calcula energia utilizată (activă, reactivă, aparentă și deformantă). În general, noile Contoarele inteligente, mai avansate, permit citirea la distanță a datelor de consum, facilitând monitorizarea în timp real și optimizarea rețelei, având și funcții complexe precum aceste echipamente de monitorizare specializate. Ele pot, de asemenea, să detecteze pierderi de energie sau fluctuații de tensiune, contribuind la gestionarea mai eficientă a rețelei electrice la care este racordat utilizatorul analizat.

3. Schema utilizată

Lucrarea va folosi atât o schemă de principiu, cât și o schemă reală de montaj pentru exemplificare, acestea fiind prezentate în figura 1.1. În figura respectivă sunt utilizate următoarele simboluri și notări [1...19]: TC1, TC2, TC3 – transformatoare de măsurare a curentului electric; TT – transformator de tensiune; a1 – întreruptor trifazat, acționat manual și semi-automat; SAD – sistem de achiziție a datelor; Compresor – echipament de producție a aerului comprimat (Compresor); PC – computer numeric; PE – legare la pământ (Protection Earth).

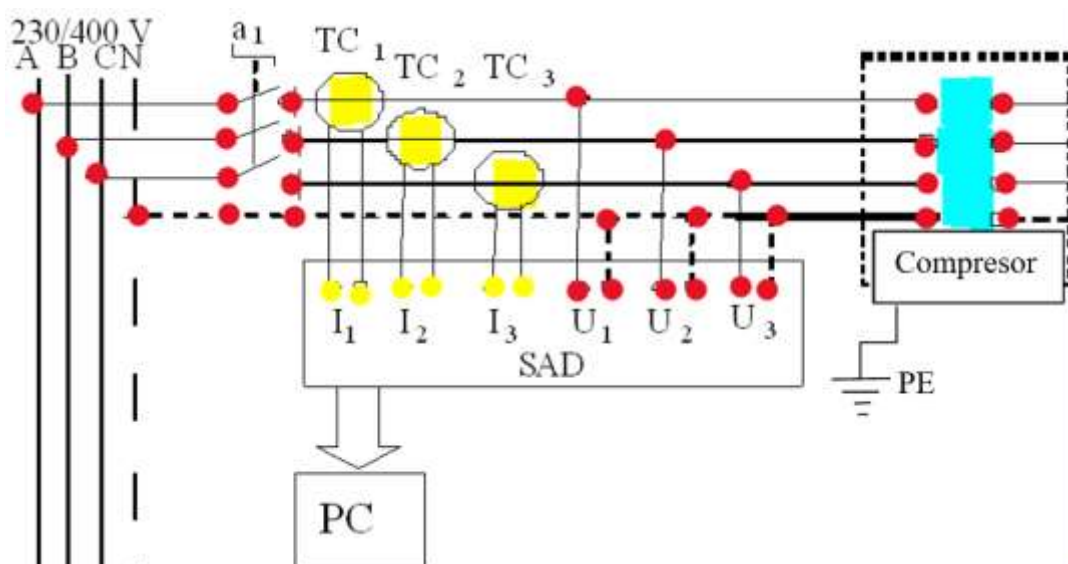


Figura 1.1. Schema de montaj utilizată. Prezentare schematică a modului de montaj (Schemă pentru analiza funcționării în rețeaua electrică a Echipamentului electric – Compresor) [1...19].

4. Modul de lucru

4.1. Se va realiza montajul conform schemei din Figura 1.1, având în vedere toate cerințele tehnice și reglementările în vigoare, adaptate tipului de echipament de măsurare/monitorizare ales. Se va conecta întreruptorul manual a1 și se va verifica dacă cillerul începe să funcționeze, luând în considerare și automatizările și controlerele programabile disponibile.

4.2. Se va verifica și măsura frecvența tensiunii de alimentare a compresorului folosind un osciloscop, comparând perioada curentului absorbit de motor cu perioada unui semnal de referință cu frecvență cunoscută obținut la bornele compresorului.

4.3. Se va modifica valoarea tensiunii de alimentare și se va verifica caracteristica mecanică artificială corespunzătoare. Datele obținute se vor înscrie în tabelul 1.1 sau vor fi furnizate în format electronic (Excel), iar simulările vor fi realizate într-un program de calcul sau într-un software specific pentru controlere programabile (de exemplu, Ion7650/Siemens 9600, Designer-Ion_Vista-Ecodial-Simulink sau alt program similar) cu realizarea grafice și prezentarea analizelor.

4.4. Se va verifica clasa echipamentului de măsurare (A, B sau S) pentru a putea interpreta corect valorile afișate de echipamentul selectat.

4.5. Pentru fiecare dintre tensiunile calculate sau impuse și frecvențele corespunzătoare caracteristicilor mecano-electrice ale compresorului, se va înregistra valoarea efectivă a tensiunii la bornele motorului folosind un voltmetru.

4.6. Pentru fiecare măsurare efectuată, se va monitoriza forma curentului electric absorbit pe ecranul calculatorului sau al controlerului programabil ales, se vor verifica defazajele pe toate cele trei faze și se va evidenția prezența armonicilor (de tensiune și curent electric), THD-U (Factorul de Distorsiune Armonică a Tensiunii), THD-I (Factorul de Distorsiune Armonică a Curentului Electric), coeficienții de nesimetrică, și indicii de Flicker pe termen scurt și lung (Pst și Plt). Pe baza datelor înregistrate de sistemul de achiziție de date (SAD), se va determina factorul de putere al receptorului și se va analiza forma specifică a curentului electric, verificând conformitatea cu standardele de calitate a energiei electrice și cu cerințele de performanță ale rețelei electrice de distribuție (RED) valabile la momentul măsurării/monitorizării.

Tabelul 1.1. Determinarea caracteristicilor electro-mecanice ale compresorului

	Ua	Ub	Uc	Uab	Ubc	Uca	Ia	Ib	Ic
Unitati	V	V	V	V	V	V	A	A	A
timestamp	Vln a	Vln b	Vln c	Vll ab	Vll bc	Vll ca	Ia	Ib	Ic

...

	Pa	P b	Pc	Ptot	Qa	Q b	Qc	Qtot
Unitati	W	W	W	W	VAr	VAr	VAr	VAr
timestamp	kW a	kW b	kW c	kW tot	kVAR a	kVAR b	kVAR c	kVAR tot

...

	Sa	S b	Sc	Stot	PFa	PF b	PFc	PFtot
--	----	-----	----	------	-----	------	-----	-------

Unitati	VA	VA	VA	VA	-	-	-	-
timestamp	kVA	kVA	kVA	kVA	PF sign	PF sign	PF sign	PF sign
p	a	b	c	tot	a	b	c	tot

...

	V unbal	I unbal	Freq	THD-U	THD-U	THD-U	Ps t	Ps t	Ps t	Plt	Plt	Plt
Unitati				+Arm-U	+Arm-U	+Arm-U						
timestamp	V unbal	I unbal	Freq	V1 Total HD	V2 Total HD	V3 Total HD	V1-Flick Pst	V2-Flick Pst	V3-Flick Pst	V1-Flick Plt	V2-Flick Plt	V3-Flick Plt

...

	THD-I	THD-I	THD-I	Arm-I	Arm-I	Arm-I
Unitati	%	%	%	%	%	%
timestamp	I1 Total HD	I2 Total HD	I3 Total HD	I3..49 HD 1	I3..49 HD 2	I3..49 HD 3

5. Chestiuni de studiat

5.1. Se prezintă schema de montaj efectivă.

5.2. Se analizează și se ilustrează grafic datele monitorizate pentru compresorul selectat, acoperind toate aspectele cerute ale calității energiei electrice și prezentând valorile măsurate pe perioada specificată. Acestea includ: U (tensiuni), I (curenți electrici), P (puteri active), Q (puteri reactive), S (puteri aparente), PF (factor de putere), Arm-U (armonice de tensiune impare între 3 și 49), Arm-I (armonice de curent electric impare între 3 și 49), THD-U (distorsiunea totală a armonicilor de tensiune), THD-I (distorsiunea totală a armonicilor de curent electric), Pst (indicator de flicker pe termen scurt), Plt (indicator de flicker pe termen lung) și ks (nesimetrii), cu explicațiile aferente, conform literaturii de specialitate [1...19].

Se analizează valorile factorului de putere și impactul deformant cauzat de funcționarea convertizorului de frecvență, dacă există. Se identifică prezența interarmonicilor în curba curentului absorbit din rețeaua de alimentare [1...19].

5.3. Se furnizează o interpretare generală a rezultatelor măsurătorilor în contextul conformității cu Standardul de Calitate a Energiei Electrice și cerințele de performanță ale distribuitorului zonal sau ale ELECTRICA, valabile la data efectuării măsurătorilor [1...19].

5.4. Se oferă o interpretare generală, evidențiind principalele observații.

6. Rezolvare

6.1. Schema de montaj actuală pentru cazul analizat este prezentată mai jos (Figura 1.2). Se menționează că sunt posibile alternative de conectare, inclusiv utilizarea unui alt compresor sau diferite tipuri de cleme/Transformatoare de Curent (TC-

reductoare). Datele relevante, fie monitorizate pe o perioadă extinsă (7 zile consecutive în sezonul cald, dar și pe intervale mai scurte), sunt disponibile în Anexe sub formă de fișiere Excel [inclusiv perioada de monitorizare, U (tensiuni), I (curenți electrici), P (puteri active), Q (puteri reactive), S (puteri aparente), PF (factor de putere), Arm-U (armonice de tensiune impare între 3 și 49), Arm-I (armonice de curent electric impare între 3 și 49), THD-U (distorsiunea totală a armonicilor de tensiune), THD-I (distorsiunea totală a armonicilor de curent electric), Pst (indicator de flicker pe termen scurt), Plt (indicator de flicker pe termen lung) și ks (nesimetrii)]. Aceste date pot fi, de asemenea, solicitate prin e-mail la adresa laurentiu.lipan@upb.ro.



Compresor ASK 32 T SPC



TGD – Conectare Echipamente de Monitorizare

Schema reală de montaj (exemplificare – caz real)

Figura 1.2. Schema de montaj utilizată [1...19].

6.2. Analiză date monitorizate pentru compresorului ASK 32 T SPC

Analiza informațiilor colectate între 05/02/2024, ora 16:30, și 12/02/2024, ora 12:10, referitoare la alimentarea echipamentelor din cadrul companiei, oferă o imagine detaliată a caracteristicilor electrice ale sistemului de alimentare cu energie electrică.

Pentru realizarea evaluării electroenergetice în cadrul companiei, s-au utilizat