

TRANSFORMATORE ELECTRICE DE MEDIE PUTERE PROIECTATE ȘI FABRICATE DE ELECTROPUTERE CRAIOVA PENTRU ALIMENTAREA CUPTOARELOR ELECTRICE UTILIZATE ÎN METALURGIE

Dan Ion Circiumarescu
Cercetător Independent Craiova, România
dan.circiumarescu@gmail.com

Rezumat: Lucrarea prezintă prin ce sunt diferite transformatoarele pentru alimentarea cuptoarelor electrice față de transformatoarele de rețea. Se face o prezentare a schemelor de reglare a tensiunii secundare și tipurilor de borne secundare utilizate în general la astfel de transformatoare. Urmează prezentarea transformatoarelor destinate alimentării cuptoarelor electrice proiectate la ICMET și realizate la ELECTROPUTERE Craiova pentru metalurgia românească în perioada 1978-1991.

Cuvinte cheie : transformatoare electrice, cuptoare electrice cu arc, cuptoare electrice reducere instalații de degazare în vid.

1. INTRODUCERE

Transformatoarele destinate alimentării cuptoarelor electrice sunt echipamente complexe furnizoare de curent electric alternativ sau continuu în combinație cu redresoare pentru alimentarea cuptoarelor cu arc, cuptoarelor cu inducție, instalațiilor de degazare în vid, cuptoarelor de reducere, cuptoarelor de rafinare sub strat de zgură.

Aceste transformatoare sunt caracterizate prin următoarele:

- Reglarea tensiunii secundare sub sarcină într-un domeniu larg,
- Curenți secundari de mare intensitate,
- Impedanță la scurtcircuit redusă,
- Capacitate de suprasarcină,
- Condiții grele de lucru.

2. REGLAREA TENSIUNII SECUNDARE

Spre deosebire de un transformator de rețea care trebuie să mențină tensiunea secundară constantă și acest lucru se face prin modificarea numărului de spire din înfășurarea primară astfel încât inducția în circuitul magnetic să rămână constantă, la transformatoarele pentru cuptoare tensiunea primară rămâne constantă și se modifică inducția în circuitul magnetic sau tensiunea de alimentare a trafo de cuptor și astfel se obține o mare plajă de reglaj a tensiunii secundare de la simplu la dublu sau chiar mai mult.

În concluzie avem deci trei moduri de reglare a tensiunii secundare:

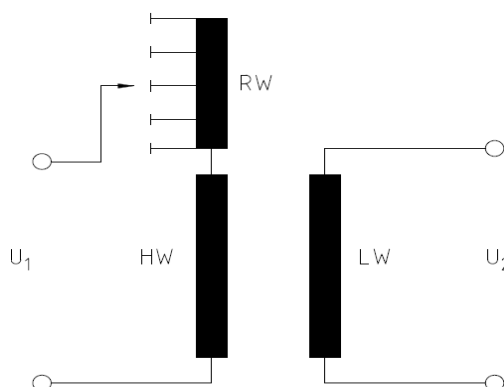
1. Reglarea inducției,
2. Reglarea tensiunii de intrare,
3. Reglajul tip Booster combinat,

2.1 Reglarea inducției

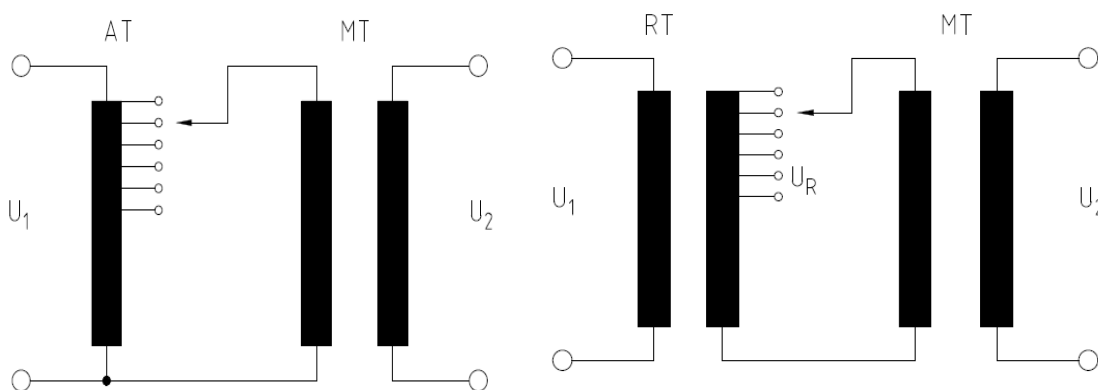
Acest reglaj este efectuat prin conectarea și deconectarea de spire de la înfășurarea de înaltă tensiune cum este arătat în Fig. 1. Tensiunea secundară maximă se obține când reglajul este scos complet, iar cea minimă când reglajul este introdus complet în circuit.

Reglarea inducției este cea mai ieftină și simplă așa că va fi preferată ori de câte ori este aplicabilă. Totuși ea are limitările ei în practică și anume se aplică pentru tensiuni primare de până la 35 kV și domenii de reglaj a tensiunii secundare de până la 1:3. Tensiunile induse în înfășurarea de reglaj în funcționare, mai ales când transformatorul funcționează pe treapta de tensiune secundară maximă, înfășurarea de reglaj fiind liberă, la capătul ei se va induce o tensiune egală cu tensiunea nominală de alimentare multiplicată cu raportul tensiune secundară maximă / tensiune secundară minimă. La aceasta se adaugă și șocurile de tensiune create de funcționarea cuptorului cu arc în perioada topirii încărcăturii de fier vechi. Aceste supra-tensiuni duc la izolații excesive și nu pot fi stăpânite convenabil decât în anumite limite.

2.2 Reglarea tensiunii de intrare



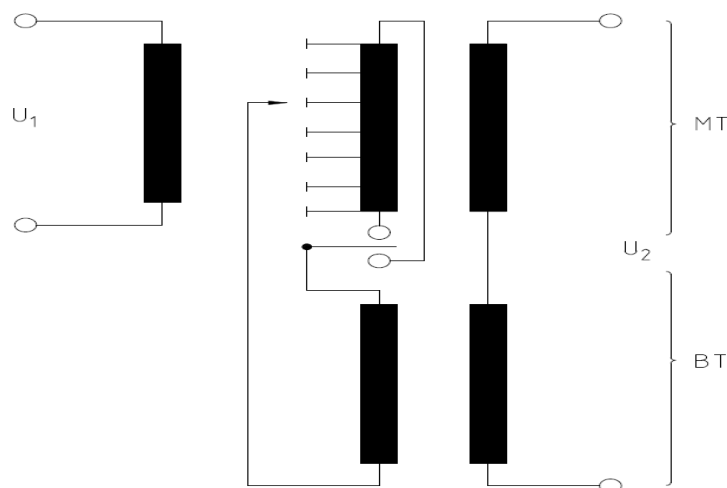
Acest tip de reglaj este utilizat frecvent în cazul grupurilor de transformatoare montate în aceeași cuvă și constă într-un autotransformator sau un transformator de reglaj care alimentează



transformatorul de cuptor cu tensiune variabilă. Avantajul acestei metode este că poți să alegi convenabil tensiunea intermediară cu care faci reglajul.

2.3 Reglajul tip Booster

Este folosit pentru alimentarea transformatorului de cuptor la tensiuni de 110 kV sau mai mari.



Sunt două transformatoare cu înfășurarea de joasă tensiune comună legată în serie. Transformatorul principal are o înfășurare primară pentru tensiunea de alimentare, o înfășurare intermediară de reglaj și o înfășurare secundară de joasă tensiune. Transformatorul serie are o înfășurare de joasă tensiune conectată în serie cu înfășurarea de joasă tensiune a transformatorului principal și o înfășurare primară de magnetizare, care este alimentată cu o tensiune de la înfășurare de reglaj printr-un comutator care dă naștere la o tensiune care se adună sau se scade în trepte la tensiunea joasă a transformatorului principal cu care este alimentat trafo serie.

3.CURENTI SECUNDARI DE MARE INTENSITATE

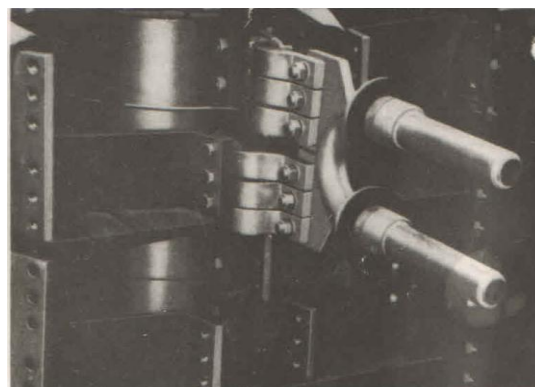
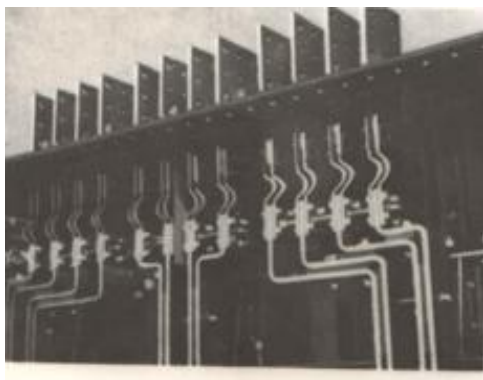
Începând din anii 1970 s-a evidențiat o continuă creștere a puterii de alimentare la cuptoarele cu arc în special datorită trecerii la regimul UHP de topire a oțelului (putere ultra ridicată). Astfel că, curenții secundari ai transformatoarelor pentru cuptoare ajung de ordinul zecilor de kiloamperi și de aceea realizarea înfășurărilor secundare este diferită de transformatoarele clasice. Deoarece numărul de spire este mic de la 1 la 7 spire, înfășurarea este executată din mai multe grupe de câte unu sau doi galeți care vor fi puse în paralel pe rigle colectoare. Punerea în paralel se poate face prin îmbinări cu șuruburi în cazul înfășurărilor din cupru și prin sudură în cazul înfășurărilor de aluminiu.



Acest curent de mare intensitate trebuie scos afară din transformator fără probleme ceea ce presupune realizarea unor borne foarte speciale .Aceste borne trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- Trebuie să suporte curentul fără a se încălzi,
- Trebuie să fie rezistente din punct de vedere mecanic,
- Trebuie să asigure etanșeitarea față de ulei.

Bornele sunt fie bare masive de cupru utilizate în special când sunt scoase pe capac fie tuburi de cupru răcite cu apă când conexiunea înfășurării de JT este închisă în interiorul trafo și ieșirea este pe peretele lateral.



Mai există în cazul curenților mai mici de ordinul kiloamperi borne biconcentrice formate din două tuburi concentrice unul reprezentând începutul înfășurării iar celălalt sfârșitul înfășurării în cazul în care conexiunea se închide în afara cuvei.

4. IMPEDANTA DE SCURTCIRCUIT REDUSA, CAPACITATE DE SUPRASARCINA, CONDITII GRELE DE LUCRU

Condițiile de funcționare eficientă a cuptoarelor electrice impun o valoare redusă a impedanței de scurtcircuit a transformatorului de 5-10 % lucru care se transpune în proiectare în înălțimi mari ale înfășurărilor transformatorului și deci la greutatea în încadrarea în gabaritele de liberă trecere pentru transport.

Procesul de topire a cuptoarelor electrice cu arc cuprinde două perioade esențiale, una în care se introduce încărcătura de fier vechi și aceasta este topită, cuptorul încărcându-se în etape, pe măsură ce fierul vechi devine lichid și o etapă de afinare în care întreaga masă de fier este topită și deci lichidă și eventual se aliază sau numai este încălzită pentru a deveni suficient de fluidă pentru a fi turnată în lingouri. În concluzie transformatorul funcționează în următorul ciclu: perioada de topire cu suprasarcina de 120% urmată de perioada de afinare cu încărcare de 80% și pauze cu încărcare 0. Încălzirea trafo se va calcula pentru un curent echivalent mediu. La cuptoarele de 100 tone/sarja diagrama de funcționare a unei sarje era 120% sarcina timp de 40 minute, 80% timp de 60 de minute, pauze totale timp de 40 minute.

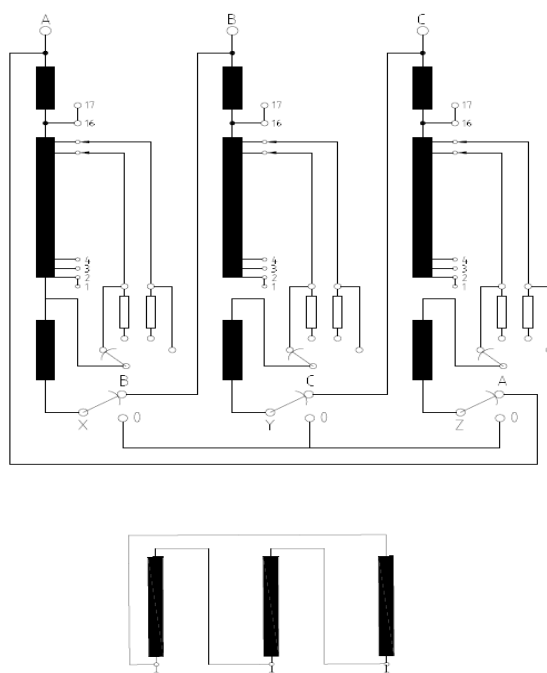
Condițiile grele de lucru sunt în procesul de topire când arcul se aprinde și se stinge creând supratensiuni și solicitări la eforturi de scurtcircuit. De asemenea trebuie avută în vedere și depunerea de praf pe bornele trafo existând pericolul conturnării către masa.

5. TRANSFORMATORE PENTRU CUPTOARE CU ARC FABRICATE LA ELECTROPUTERE CRAIOVA IN PERIOADA 1977-1990.

Primul transformator destinat alimentării cuptoarelor electrice cu arc proiectat și fabricat la ELECTROPUTERE a fost transformatorul de 50 MVA 35/0,460 -0,150 kV pentru cuptorul de 100 tone pe sarja de la COS Târgoviște. De remarcat că și cuptorul fabricat la IMGB era o premiera națională. De la stabilirea Caietului de sarcini cu IPROMET București și până la punerea în funcțiune au trecut mai puțin de 12 luni. La vremea respectivă transformatorul avea niște noutăți absolute la nivel mondial:

- era realizat cu înfășurarea de joasă tensiune din aluminiu la această putere, avea o schemă de reglaj care permitea dublarea numărului de trepte de reglaj prin schimbarea conexiunii de IT din triunghi în stea,
- ieșirea bornelor secundare se făcea printr-un perete lateral al cuvei confecționat din aliaj de AlMg3.

Schema de reglaj a tensiunii secundare prin modificarea inducției la acest transformator este prezentată în figura următoare:



Caracteristicile transformatorului erau:

- Puterea nominala 50 MVA.
- Raport de transformare 35 / 0,610-0,170 kV.
- Tensiunea de scurtcircuit 6 %
- Curent nominal 825 / 47342 A.

Realizarea prototipului a fost o cooperare perfectă între diferitele servicii de proiectare din cadrul ICMET , serviciile de tehnologi si secțiile fabricii de transformatoare EP. Acum retrospectiv pot spune că partea de calcul efectiv al transformatorului a fost cea mai ușoară mai ales că EP era dotată cu un calculator electronic FELIX C256. Problemele de realizare a conexiunilor din aluminiu sudate ,a pereților de aluminiu de mari dimensiuni pentru închiderea conexiunii triunghi în interiorul trafo si a peretelui cuvei din aliaj de aluminiu prin care au fost scoase bornele au fost rezolvate cu brio de compartimentul sudor șef cu implicarea deosebită a ing. Vlad Diaconu și a tehnicianului Theodor Albu. În poza alăturată se poate vedea cum arată conexiunea triunghi a trafo din aluminiu închisă în interiorul cuvei.



Au trebuit proiectate și realizate bornele de ieșire a JT să vehiculeze 13 kA fără a se încălzi . Au fost realizate din tuburi de cupru răcite cu apă cu o bună izolație rezistentă la solicitările mecanice și o etanșare perfectă.

O problemă grea care nu a fost rezolvată foarte convenabil a fost transportul transformatorului din fabrică la locul de montaj. În 1978 în România nu existau trailere auto care să transporte un colet cu masa de 65.600 kg cât avea transformatorul , de aceea transportul a fost de la început stabilit că se va face pe calea ferată cu un vagon corespunzător cu longeroane. Nu s-a putut realiza o construcție care să poată fi transportată cu bornele de joasă tensiune care erau scoase pe partea laterală a cuvei așa ca transportul s-a efectuat cu un perete de transport existând neajunsul că la beneficiar trebuia deplasată o echipă de la EP pentru echiparea corectă și autorizată a transformatorului. În poza următoare se poate vedea trafo prototip pe vagonul de transport gata să fie expedit la COS Târgoviște la începutul lunii iunie 1978.



Din acest tip de transformator s-au fabricat 5 produse, 2 în 1979, 1 în 1981 și 1 în 1985. Pentru oțelăriile care aveau tensiunea de alimentare de 30 kV s-a proiectat și o variantă cu raportul de transformare 30/0,460-0150 kV din care s-au fabricat tot 5 produse 2 în 1979, 1 în 1980 și 2 în 1984.

Pentru cuptoarele cu arc de 50 tone pe șarjă au fost proiectate și realizate transformatoarele de 30 MVA 35/0,460-0,150 kV și 30/0,460-0.150 kV fabricate în 5 exemplare primul 2 buc în 1981 și 3 buc. în 1983 și în 2 exemplare al doilea, primul în 1984 și al doilea în 1985. Pentru cuptorul cu arc de 25 de tone pe sarja a fost realizat transformatorul de 13,5 MVA 20/0,335-0,115 kV fabricat într-un singur exemplar în 1983 pentru Reșița.

Pentru cuptorul cu arc de 120 tone pe sarja s-a realizat transformatorul de 75 MVA 30/0,750-0,250 kV cu un curent maxim de funcționare de 79.730 A .S-a realizat un singur produs pentru C.S. Hunedoara.

Trebuie să remarc aici buna cooperare cu serviciul de proiectare din IPROMET cu ing. Dan Mosteanu, pentru elaborarea caietelor de sarcini și definirea extrem de corectă și concretă a condițiilor pe care urma să le îndeplinească transformatoarele destinate alimentării cuptoarelor cu arc care s-au comportat excelent în exploatare unele din ele funcționând și astăzi acolo unde mai sunt cuptoare în funcțiune.

6. TRANSFORMATOARE PENTRU INSTALATIA DE DEGAZARE SUB VID TIP VAD -VOD

Pentru elaborarea oțelurilor speciale s-a dezvoltat așa numita METALURGIE ÎN OALĂ pentru elaborarea de oțeluri slab și înalt aliate sub vid pentru reducerea conținutului de gaze (hidrogen, azot și oxigen din baia de oțel) în Oala de turnare de 100 tone cu aport de căldură. Aportul de căldură se realizează prin alimentarea instalației de la transformatoare

electrice speciale. Sunt transformatoare cu reglajul tensiunii secundare prin variația inducției numai în 6 trepte ,reglarea se face în absența tensiunii de alimentare. Conexiunea înfășurării de joasă tensiune este deschisă pe capac fiind accesibile atât începutul cât și sfârșitul înfășurării de JT. La transformatoarele fabricate la EP concepușem niște borne biconcentrice de cupru scoase pe capac. În perioada 1983-1986 au fost construite următoarele tipuri de transformatoare:

- TTU-OFWF 10 MVA 6/0,250-0,175 kV
- TTU-OFWF 10 MVA 10/0,250-0,175kV
- TTU-OFWF 10 MVA 30/0,250-0,175 kV

În total s-au construit 8 transformatoare de acest tip.

7. TRANSFORMATORE PENTRU CUPTOARE DE FEROALIAJE

Între anii 1984 și 1989 pentru Combinatul Metalurgic de la Tulcea pentru alimentarea cuptoarelor electrice folosite la producerea de feroaliaje s-au produs următoarele tipuri de transformatoare:

- TTUS - OFWF 7,5 MVA 6/0,150-0,100 kV curent 31864 A cuptor feromangan 1984,
- TTUS - OFWF 7,5 MVA 10/0,150-0,100 kV curent 31864 A cuptor ferosiliciu 1985,
- TTUS - OFWF 21 MVA 10/0,235-0,075 kV curent 60621 A cuptor de feroaliaje 1987.

Toate trei sunt transformatoare cu reglaj sub sarcină și modificarea inducției , au 16 trepte de tensiune și conexiunea înfășurării de joasă tensiune este deschisă. Deoarece transformatoarele de 43 MVA și 55 MVA producție FUJI-ELECTRIC alimentate la 110 kV se strică anual și fuseseră aduse la reparat la EP în 1985 am proiectat inspirat de proiectul FUJI-ELECTRIC cu îmbunătățiri în realizarea bobinajului de IT și de reglaj un trafo de 55 MVA 110/0,092-0,330 kV curent 118700 A care a fost fabricat la EP. Reglajul tensiunii de alimentare era tip Booster. Erau 2 x31 trepte de tensiune, conexiunea înfășurării de JT era deschisă iar bornele de joasă tensiune erau tuburi răcite cu apa.

Datorită bunei funcționări în 1988 s-a comandat un nou transformator de 60 MVA 110/0,092-0,330 kV curent 125490 A care a fost și a rămas recordul absolut de curent pentru transformatoarele fabricate la ELECTROPUTERE.

8. GRUP TRANSFORMATORIC PENTRU ALIMENTARE CUPTOAREELECTRICE DE GRAFITARE

Cuptoarele electrice de grafitare sunt alimentate în curent continuu. La Întreprinderea Cărbunoase Slatina erau în funcțiune cuptoare de grafitare alimentate de o instalație italiană de 5650 kVA care se putea deplasa pe calea ferată și alimenta pe rând cuptoarele de grafitare.

În 1984 o dată cu dezvoltarea de noi combine metalurgice la Târgoviște și Călărași și introducerea cuptoarelor electrice cu arc în combinele tradiționale de la Hunedoara, Reșița, Galați nevoia de electrozi siderurgici a necesitat mărirea capacității de producție de la Slatina și o nouă capacitate Întreprinderea de Electrozi Siderurgici Titu. Dezvoltarea capacităților s-a hotărât să se facă cu produse proiectate și fabricate în țară. Sarcina proiectării sursei de alimentare cu curent continuu și a realizării camerei de comandă cu toate comenzile, semnalizările și protecțiile necesare a revenit ICPE București, ICMET Craiova și Electroputere Craiova. Lucrarea s-a desfășurat într-un ritm extrem de rapid astfel încât de la semnarea caietului de sarcini și până la punerea sub tensiune a prototipului format din două grupuri la Întreprinderea Carbu-noase Slatina s-au scurs numai 9 luni.

Tipul instalației:

Instalația de redresare cu 12 pulsuri cu schema stea dublă și bobina de absorbție, cu reglare continuă a curentului continuu care să funcționeze în interior în hale închise și ventilate.

- Puterea absorbită 7850 kVA , puterea utilă 7500 kW,
- Tensiunea de alimentare 20 kV.
- Tensiunea redresată 75-150-300 V.
- Curentul redresat 50-50-25 kA.
- Numărul de trepte de reglaj 31.
- Mărimea treptei de reglaj 7,5 V.
- Răcirea cu baterii ulei apă.

Componenta fizică a unui modul al instalației este următoarea:

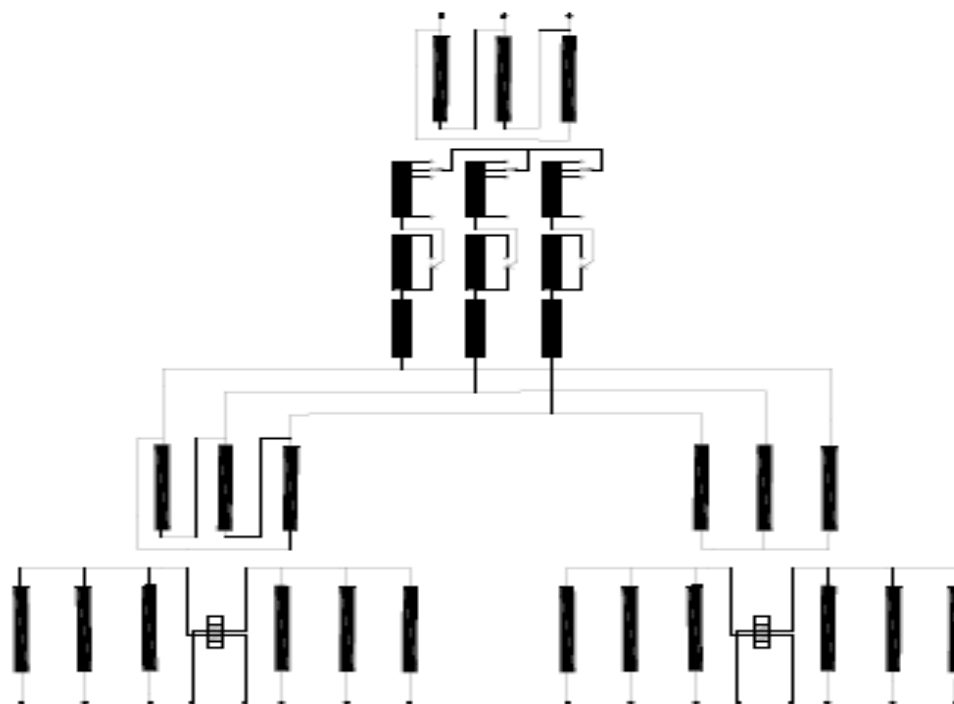
- grup transformatoric 1 buc.
- unități de redresare 2 buc
- reactanțe saturabile 2 seturi
- traductoare curent continuu 2 buc
- separatoare monopolare de 25 kA 4 buc
- set bare conexiuni 1 buc.
- platforma portanta 1 buc
- echipament comanda si reglare 1 buc

Cuptoarele erau deservite de două module care puteau funcționa împreună sau separat în funcție de curentul necesar în procesul de grafitare.

Caracteristicile tehnice ale grupului transformatoric :

- Puterea nominală 7850/2 x 5600 kVA.
- Numărul de faze 2/2x2x3.
- Tensiuni nominale 20000/511-128 V.
- Grupa de conexiuni D-yy-yy

Schema electrică a grupului transformatoric este prezentată în figura următoare:



Grupul transformatoric avea următoarea componentă:

- Transformatorul de reglaj,
- Bobină de absorbție,

- Puterea 7850/7850 kVA,
- Tensiunea de lucru 122 V,
- conexiunea Dy1,
- Curentul de lucru 12500 A,
- Raport de transformare 20000/30860-7715 V,
- Frecventa de lucru 150 Hz.

Transformator redresor 1

Puterea 3950/5600 kVA

Numar de faze :3/2x3

Conexiunea Dy1-Dy7

Tensiuni 30860 – 7715 / 511 – 128 V

Transformator redresor 2

Puterea 3950 /5600 kVA

Numar de faze :3/2x3

Conexiunea Yy0-Yy6

Tensiuni 30860 – 7715 / 511 – 128 V



Toate fotografiile au fost obținute de la ELEROM S.A. Roman unde după 1990 s-au făcut retimbrări și modernizări ale transformatoarelor pentru cuptoare realizate la EP și pentru aceasta aduc mulțumiri colectivului condus de dl. Director Ing. Petre Dumea. Mulțumesc pentru posibilitatea oferită de a prezenta realizările extrem de performante din secolul trecut ale colectivului excepțional al Atelierului proiectări Transformatoare și al fabricii

de Transformatoare autorul fiind șef de proiect la toate transformatoarele prezentate participând de la conceperea Caietelor de Sarcini până la punerea sub tensiune la beneficiar pe când **ELECTROPUTERE**  **ERA CITADELA TRANSFORMATORULUI ROMANESC.**

Lucrarea a fost prezentata la Simpozionul de Masini Electrice SME'XXI ediția 2025.