

Performanță și inovație în ingineria electrică: supraconductibilitatea aplicată

În Institutul Național de Cercetare - Dezvoltare pentru Inginerie Electrică ICPE-CA București, în cadrul Departamentului de Inginerie Electrică Neconvențională, Laboratorul de Supraconductibilitate Aplicată, sunt dezvoltate aplicații ale supraconductibilității în ingineria electrică, datorită numeroaselor avantaje ale acestei proprietăți speciale a anumitor materiale de a prezenta rezistență zero la trecerea curentului electric. Această proprietate apare însă în anumite condiții, realizate prin coborârea temperaturii sub o anumită limită, specifică tipului de material supraconductor.

Dr. ing. Ion Dobrin, șef Departament Inginerie Electrică Neconvențională

Din acest motiv, supraconductibilitatea este asociată cu criogenia, fără de care nu pot fi asigurate condițiile de funcționare a supraconductorilor. Astfel, materialele cu proprietăți supraconductoare pot fi clasificate în materiale de joasă temperatură, cu funcționare la temperatura heliului lichid (4,2 K), numite materiale LTS (Low Temperature Superconductors) sau materiale cu temperatură de funcționare mai ridicată (>70 K), numite materiale HTS (High Temperature Superconductors). Întrucât o perioadă relativ lungă de timp (cca. 70 ani), aplicațiile s-au bazat pe utilizarea materialelor LTS (NbTi sau Nb₃Sn), acestea au fost limitate cu precădere în zona laboratoarelor, în special pentru obținerea electromagneților generatori de câmpuri magnetice intense (>2 T). Odată descoperite noile materiale supraconductoare HTS (cum sunt cele de tip YBCO, BSCCO sau MgB₂) și perfecționată tehnologia de obținere a acestora, s-au putut dezvolta și au luat avânt noi aplicații, de tip industrial (cabluri pentru transportul energiei electrice, motoare și generatoare electrice, electromagneți etc). Aceste aplicații au luat amploare și datorită temperaturii mai ridicate la care pot fi utilizate acestea, și anume 77 K (în cazul materialelor HTS) față de 4,2 K (pentru materialele LTS). Acest fapt permite utilizarea azotului lichid ca agent de răcire în locul heliului lichid utilizat pentru materialele LTS. Astfel, aplicațiile supraconductorilor în ingineria electrică au devenit nu numai posibile, dar și accesibile, datorită cheltuielilor de exploatare minimizate, azotul lichid fiind cu mult mai ieftin față de heliu lichid.

Deschidere pentru cercetări de avangardă

În acest context, au fost abordate și de către ICPE-CA cercetări în vederea realizării de aplicații cu noile materiale HTS, încă din perioada anilor '90, când au fost demarate programe de cercetare și realizare a unor noi materiale supraconductoare HTS (de tip YBCO și MgB₂). Consecutiv acestei perioade, au fost concepute și dezvoltate diverse aplicații ale acestor materiale în ingineria electrică. Astfel, au fost abordate două direcții principale de cercetare: dezvoltarea de mașini electrice supraconductoare HTS și cealaltă direcție, dezvoltarea de electromagneți supraconductori cu diverse geometrii (dipol, cvadripol sau sextupol) generatori de câmpuri magnetice.

În domeniul mașinilor electrice supraconductoare ICPE-CA s-a implicat încă din anul 2008, pentru realizarea primului motor electric supraconductor și, ulterior, în realizarea primului prototip de generator electric supraconductor. Astfel, primul prototip de motor electric supraconductor sincron a fost finalizat și testat cu succes în anul 2011, rod al programului de cercetare național PN II/2008. Prototipul a fost expus atât la expoziția internațională de la Hanovra, Germania, în anul 2011, cât și la Expoziția Cercetării Românești din București (TIB 2011 și 2012). Generatorul electric supraconductor realizat de ICPE-CA în stadiul de prototip este conceput într-o variantă cu sator realizat din înfășurări supraconductoare HTS, iar rotorul este cu magneți permanenți de tip NdFeB. Acest prototip a fost realizat în cadrul programului Nucleu în perioada 2012-2013. Gândit pentru a putea fi folosit ca un generator eolian cu performanțe superioare, a fost proiectat să lucreze la turații reduse.

Cea de-a doua direcție de dezvoltare are aplicații cu precădere în fizica nucleară experimentală, datorită posibilităților de obținere a câmpurilor magnetice intense, mai mari de 2 T, necesare atât în realizarea acceleratoarelor de particule de mare energie, cât și la



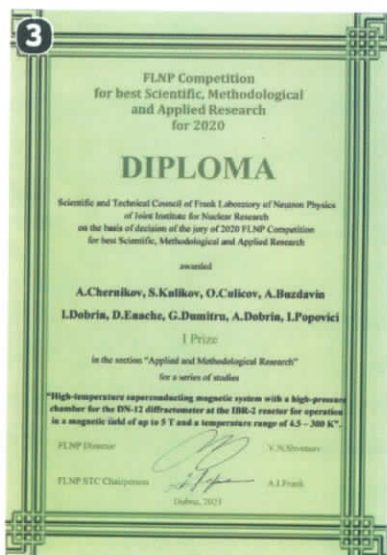


realizarea de diverse dispozitive și instalații utilizate în fizica nucleară aplicată sau oricare alt domeniu al fizicii experimentale.

Proiectarea, realizarea și dezvoltarea de electromagneți supraconductori generatori de câmpuri magnetice intense destinați în principal fizicii experimentale, a permis atât formarea unor specialiști în domeniu, cât și obținerea know-how-ului teoretic și experimental necesar abordării unor realizări complexe și înalt performante. Astfel, în cadrul Laboratorului de Supraconductibilitate Aplicată, au fost finalizate în perioada 2014-2021 trei teze de doctorat și o a patra este în curs de elaborare, având ca tematică dezvoltarea electromagneților supraconductori de diverse tipuri și geometrii.

Au fost realizate primele modele experimentale și prototipuri atât de electromagneți HTS de tip dipolar, cât și de tip cvadripolar, în cadrul Programului Nucleu în perioada 2012-2015. Acești electromagneți supraconductori au fost realizați pe baza unor soluții constructive originale, care se regăsesc în cererile de brevete naționale solicitate în perioada respectivă. Totodată, aceste realizări au fost apreciate la diverse târguri naționale și internaționale de invenție, prin câștigarea de premii și medalii de aur și argint: Eureka - Bruxelles, Geneva - Elveția, Pro Invent - România etc.

În același context, colaborările științifice internaționale cu CERN-Elveția, FAIR- Darmstadt, Germania sau IUCN- Dubna, Rusia, au confirmat și la nivel internațional valoarea rezultatelor cercetărilor aplicative dezvoltate de către ICPE-CA în acest domeniu, al electromagneților pentru acceleratoare de particule.



Rezultate obținute, recunoaștere internațională

Menționăm aici două rezultate remarcabile ale Departamentului de Inginerie Electrică Neconvențională, în cadrul unor colaborări științifice cu Institutul Unificat de Cercetări Nucleare (IUCN) – Dubna, Rusia, pe baza unor contracte directe. Astfel, o primă colaborare, având ca obiectiv realizarea unor electromagneți

supraconductori de tip LTS, a condus la realizarea tehnologiei de obținere a unor bobine supraconductoare LTS (NbTi), de tip dipol, cvadripol și sextupol, atât în tehnologie planară, cât și în tehnologie 3D (cilindrică), prezentate în **fig. 1**.

Destinația acestor bobine supraconductoare a fost realizarea de electromagneți supraconductori corectori care intră în componența acceleratorului de particule NICA (Nuclotron-based Ion Collider Facility) aflat în plină construcție la IUCN- Dubna, în prezent. Această realizare a fost apreciată atât de IUCN-Dubna, cât și intern, prin premiul acordat de către Asociația Generală a Inginerilor din România (AGIR) în anul 2016.

O a doua realizare, premiată de data aceasta de IUCN-Dubna prin Laboratorul Frank, de fizica neutronilor, a fost Electromagnetul Supraconductor HTS de 5 T destinat spec-

troscopiei nucleare cu neutroni (**fig.2**). Premiul a fost acordat în 2021 echipei mixte care a realizat și testat (în perioada 2019-2020) acest echipament de importanță deosebită, prin prisma utilizării instalației în experimentele viitoare și a rezultatelor așteptate (**fig.3**).

Electromagnetul supraconductor de tip HTS, inima acestui echipament complex, a fost proiectat, realizat și testat integral în ICPE-CA. Generator al unui câmp magnetic uniform de maxim 5 T, el permite accesul la zona de câmp magnetic a unor probe de studiu, supuse atât unor presiuni mari (~ MPa), cât și unor temperaturi din domeniul 4.2... 300 K, fiind expuse totodată unui flux de neutroni pentru investigarea proprietăților acestora.

În același timp, funcționarea electromagnetului se bazează pe ultima tehnologie utilizată în domeniul criogeniei, și anume răcirea prin conducție cu ajutorul crioracitoarelor cu ciclu închis de tip Gifford-McMahon. Astfel, este înlocuită răcirea cu ajutorul agenților criogenici, obținând-se o exploatare economică, sigură și pe termen lung a electromagnetului.

Dotări de top – soluții pentru piață

Aceste realizări în acest domeniu, cu performanțele specificate, nu ar fi fost posibile fără dotarea corespunzătoare a Laboratorului de Supraconductibilitate Aplicată, atât cu tehnologia criogenica diversă, inclusiv cea menționată anterior, cât și cu aparatura de măsură necesară, dotare realizată în ultimii douăzeci de ani, astfel încât laboratorul se ridică actualmente la standardele de performanță ale oricărui alt laborator similar. Menționăm aici sistemul de testare a bobinelor supraconductoare în domeniul 4,2- 300 K, realizat pentru acest proiect (a electromagnetului HTS), echipat cu un criorăcitor cu ciclu închis, care a permis caracterizarea bobinelor supraconductoare și a întregului electromagnet pentru a putea fi livrat la parametrii de proiectare.

Prin cele prezentate sunt evidențiate eforturile depuse în ultimii ani de către Laboratorul de Aplicații ale Supraconductibilității, pentru realizarea de aplicații utile atât pentru necesitățile cercetării științifice (generatoare de câmp magnetic intens), cât și pentru industrie (motoare și generatoare electrice etc). Desigur, realizarea aplicațiilor la scară industrială cu utilitate practică necesită eforturi susținute atât pentru perfecționare continuă, cât și pentru continuarea activităților de cercetare-dezvoltare prin realizarea unor viitoare prototipuri care să răspundă unor necesități bine specificate, atât la nivel industrial (de exemplu, puteri de ordinul MW), cât și pentru obiectivele cercetării aplicative performante.