

CONSIDERAȚII PRIVIND ADOPTAREA LOCOMOTIVELOR ÎN FUNCTIE DE PERFORMANȚELE FENOMENELOR ELECTRICE DE CONDUȚIE LA NIVELUL CIRCUITELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

CONSIDERATIONS REGARDING THE ADOPTION OF LOCOMOTIVES ACCORDING TO THE PERFORMANCE OF ELECTRICAL CONDUCTION PHENOMENA AT THE LEVEL OF HIGH VOLTAGE

Mirela Mihaela I. MĂNTESCU AMROLLAHI (KOOCHHEBUKY)¹

¹Universitatea Politehnica București, Splaiul Independenței nr. 290, sectorul 6, București, România, e_mail autor Mirela Mihaela I. MĂNTESCU AMROLLAHI (KOOCHHEBUKY): mirelamantescu@yahoo.com;

Rezumat: Într-un material conductor, curentul electric de conducție este determinat de deplasarea purtătorilor de sarcină, iar densitatea J a acestui curent electric este proporțională direct cu produsul dintre intensitatea E a câmpului electric și conducția electrică σ , care variază în funcție de benzile de energie formate din subniveluri și de valoarea maximă a energiei, denumită și nivel limită Fermi w_F în conformitate cu Principiul Excluziunii. Reținând faptul că în calculele deterministe se utilizează inversul conductivității electrice, respectiv rezistivitatea $\rho=1/\sigma$ electrică, conținutul lucrării explicitează ecuațiile Maxwell-London în funcție de variația factorilor și de evoluția fenomenelor de natură să influențeze conductivitatea electrică și stabilitatea funcționării instalațiilor de forță din sala mașinilor în cazul funcționării locomotivei în regim de sarcină totală.

Cuvinte cheie: electricitate, temperatură, rezistivitate, conductibilitate, dielectrici, magnetism, tensiune, lichefiere, căldură, agitație termică, solicitări mecanice.

Abstract: In a conductive material, the electric conduction current is determined by the displacement of charge carriers, and the density J of this electric current is directly proportional to the product of the electric field intensity E and the electric conductivity σ , which varies depending on the energy bands formed by sublevels and the maximum value of the energy, also called the Fermi limit level w_F in accordance with the Exclusion Principle. Bearing in mind that the inverse of the electrical conductivity is used in the deterministic calculations, respectively the electrical resistivity $\rho=1/\sigma$, the content of the paper explains the Maxwell-London equations depending on the variation of the factors and the evolution of the phenomena likely to influence the electrical conductivity and the stability of the operation of the power plants in the engine room in the case of the locomotive operating in full load mode.

Keywords: electricity, temperature, resistivity, conductivity, dielectrics, magnetism, voltage, liquefaction, heat, thermal agitation, mechanical stress.

1. Introducere

În legătură cu influența factorilor de temperatură, deoarece conductorii electrici confecționați din materiale de natură metalică au ultimul strat de electroni incomplet, atunci există subniveluri neocupate pe care se realizează tranziția electronilor sub acțiunea unei energii exterioare, astfel că acești electroni formează gazul electronic care se deplasează dirijat sub acțiunea câmpului electric exterior și care întâmpină o rezistență din partea rețelei cristaline din cauza ciocnirilor cu ionii care oscilează în jurul poziției de echilibru. Pe cale de consecință, rezistivitatea electrică ρ a conductorului considerat se determină cu următoarea expresie:

$$\rho = \frac{m}{e^2 n} \cdot \frac{1}{\tau_T} \quad (1)$$

unde: m reprezintă masa electronului; e reprezintă sarcina elementară a electronului; n este numărul de electroni din unitatea de volum a conductorului electric considerat, confecționat din material metalic; σ_T reprezintă constanta de relaxare, adică durata dintre două ciocniri succesive ale electronului cu ioni rețelei cristaline.

Rezistivitatea electrică depinde de interacțiunile dintre electroni și ioni precum și de sporul în sensul creșterii agitației termice, iar la mărirea temperaturii se produce creșterea acesteia și la temperaturi care depășesc valoarea temperaturii *Debye* T_D , rezistivitatea electrică ρ_T a conductorului considerat devine proporțională cu temperatura acestuia conform următoarei expresii:

$$\rho_T = \rho_0 [1 + \alpha_p (T - T_0)] \quad (2)$$

unde: ρ_T reprezintă rezistivitatea electrică la temperatura absolută T [K]; ρ_0 este rezistivitatea electrică la temperatura de referință absolută T_0 ; α_p reprezintă coeficientul de temperatură al rezistivității electrice.

Se reține faptul că există o corelație între conductibilitățile electrică și termică întrucât electronii contribuie concomitent și la transmiterea căldurii prin materialul conductorului electric dat, iar relația de dependență între cele două cunoaște expresia următoare:

$$\lambda \cdot \rho = 2,23 \cdot 10^{-8} T \quad (3)$$

unde: λ [W/m·K] reprezintă conductibilitatea electrică iar ρ [$\Omega \cdot m$] reprezintă conductibilitatea termică.

De asemenea, se mai reține și că la scăderea temperaturii se produce și scăderea agitației termice, iar la atingerea temperaturii de prag T_{SC} , interacțiunea electronilor cu rețeaua cristalină se reduce atât de mult încât rezistivitatea electrică devine nulă iar materialul metalic din care este confecționat conductorul electric considerat atinge starea de supraconductibilitate electrică.

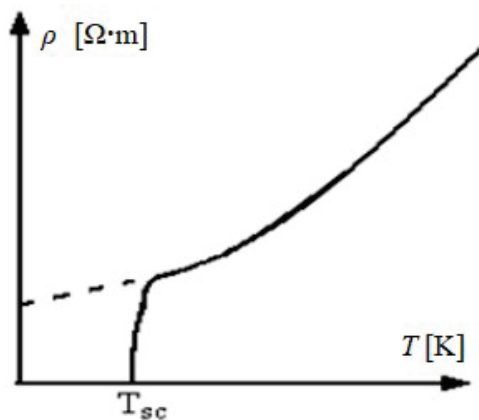


Fig. 1. Diagrama de variație a rezistivității electrice ρ în funcție de temperatura absolută T .

CONSIDERAȚII PRIVIND ADOPTAREA LOCOMOTIVELOR ÎN FUNCȚIE DE PERFORMANȚELE FENOMENELOR ELECTRICE DE CONDUȚIE LA NIVELUL CIRCUITELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

Totodată, temperatura T_{SC} mai este cunoscută în literatura de specialitate și sub denumirea de temperatură de tranziție (la care se produce lichefierea heliului), iar starea de supraconductibilitate electrică este explicată cu teoria *BCS* (*Bardeen, Cooper, Schriffer*) a perechilor de electroni cu momente cinetice și momente magnetice care au același spin (sens de rotație în jurul propriei axe) dar care sunt de semne contrare. Totodată, mai este de reținut faptul că atingerea stării de supraconductibilitate electrică, adică a temperaturii de tranziție, este influențată de intensitatea H a câmpului magnetic prin reducerea valorii temperaturii T_{SC} atunci când intensitatea câmpului magnetic crește, iar la atingerea valorii critice H_{cr} care este dependentă de temperatură, se produce dispariția stării de supraconductibilitate electrică.

2. Considerații privind influența solicitărilor de natură mecanică

Solicitările mecanice ale conductorului electric dat de natură metalică sunt apte să producă deformarea plastică relativă a acestuia, prin deplasări ale atomilor din pozițiile de echilibru de la nivelul structurii sale cristaline, provocându-se astfel o influențare a rezistivității electrice prin modificarea constantei de relaxare a purtătorilor de sarcină electrică, iar dacă solicitările acestea generează tensiuni mecanice care produc doar deformări elastice, atunci variația rezistivității electrice ρ_T devine proporțională cu valoarea tensiunii mecanice și modificările structurale capătă caracter reversibil, iar expresia acestei dependențe cunoaște următoarea formă. respectiv:

$$\rho_{\sigma} = \rho_0(1 \pm \varphi \cdot \sigma) \quad (4)$$

unde: ρ_T reprezintă rezistivitatea electrică a materialului metalic din care este confecționat conductorul electric dat, în absența solicitărilor de natură mecanică; φ este coeficientul mecanic al rezistivității electrice; σ este tensiunea mecanică normală care a produs deformarea în cauză a conductorului considerat.

De reținut mai este și că dacă tensiunile mecanice sunt de întindere axială, atunci rezistivitatea electrică va crește și în calcule se va utiliza semnul plus (pozitiv, iar dacă tensiunile mecanice sunt de compresie axială, atunci se utilizează semnul minus și rezistivitatea electrică va cunoaște o evoluție descrescătoare. De asemenea, temperatura maximă sub care materialul conductorului metalic dat este considerat supraconductor, se atinge atunci când:

$$H_c=0 \quad (5)$$

Această temperatură maximă sub nivelul căreia conductorul electric în cauză este considerat supraconductor, este cunoscută în literatura de specialitate sub titulatura de temperatură de tranziție T_C , iar în apropierea (vecinătatea) acesteia, variația rezistivității electrice în funcție de temperatură este mai rapidă, iar la atingerea stării normale de nesupraconductibilitate electrică denumită fenomen *Messner-Ochsenfeld* la apariția căruia, liniile câmpului magnetic sunt expulzate din interior, iar conducția magnetică B_i , densitatea curentului J electric și intensitatea E a câmpului electric sunt nenule într-un strat subțire de lățime δ . Această lățime δ este denumită adâncime de pătrundere și este adiacentă suprafeței exterioare a materialului metalic din care este confecționat conductorul electric dat și se determină cu expresia următoare:

$$\delta = \sqrt{\Lambda/\mu} \Rightarrow \delta \approx 10^{-7} \div 10^{-8} \text{m} \quad (6)$$

unde: Λ reprezintă constanta *London*, care este o mărime de material variabilă în funcție de temperatură și care crește direct proporțional cu temperatura tinzând teoretic la infinit atunci când temperatura T atinge valoarea T_C .

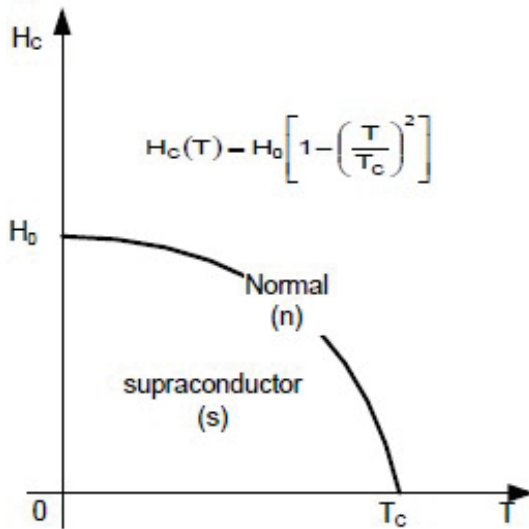


Fig. 2. Diagrama de variație a dependenței câmpului magnetic critic H_C de temperatura T .

unde: H_e reprezintă intensitatea câmpului magnetic exterior; H_c este intensitatea câmpului magnetic critic; T_c reprezintă temperatura de tranziție la atingerea căreia intensitatea critică H_c a câmpului magnetic devine nulă ($H_c=0$).

Pentru explicitarea menținerii valabilității ecuațiilor *Maxwell*, se reține aspectul conform căruia componentele normale și componentele de supraconductibilitate ale densității de volum ρ_V a sarcinii electrice și ale densității J a curentului electric de conducție prin materialul metalic din care este confecționat conductorul electric considerat inițial, se compun în proporții variabile în funcție de variația temperaturii T , astfel încât:

$$\delta = \sqrt{\Lambda/\mu} \Rightarrow \delta \approx 10^{-7} \div 10^{-8} \text{m} \quad (7)$$

Considerând că ρ_{Vn} și J_n sunt componentele normale ale densității de volum ρ_V a sarcinii electrice și respectiv a densității J a curentului electric de conducție, iar ρ_{Vs} și J_s sunt componentele de supraconductibilitate din metal, atunci aceste componente se compun în proporții variabile cu temperatura astfel încât atunci când temperatura măsurată în coordonate absolute tinde la valoarea zero *Kelvin* (zero absolut).

$$\begin{cases} \rho_V = \rho_{Vn} + \rho_{Vs} \\ J = J_n + J_s \end{cases} \quad (9)$$

**CONSIDERAȚII PRIVIND ADOPTAREA LOCOMOTIVELOR ÎN FUNCȚIE DE
PERFORMANȚELE FENOMENELOR ELECTRICE DE CONDUCTIE LA NIVELUL
CIRCUITELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE**

Atunci când $T \rightarrow 0K \Rightarrow$

$$\Rightarrow \begin{cases} \rho_{vn} \rightarrow 0 \\ \rho_v \rightarrow \rho_{vs} \\ \bar{J} \rightarrow \bar{J}_s \\ \bar{J}_n \rightarrow 0 \end{cases} \text{ iar } T \rightarrow T_c \Rightarrow \begin{cases} \rho_v \rightarrow \rho_{vn} \\ \rho_{vs} \rightarrow 0 \\ \bar{J} \rightarrow \bar{J}_n \\ \bar{J}_s \rightarrow 0 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \text{rot } \bar{H} = \bar{J} + \frac{\partial \bar{D}}{\partial t} \\ \text{rot } \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \\ \text{div } \bar{D} = \rho_v \\ \text{div } \bar{B} = 0 \end{cases} \Rightarrow (10)$$

$$\Rightarrow \begin{cases} \bar{J}_n = \sigma \bar{E} \\ \text{div } \bar{J}_n = -\partial \rho_{vn} / \partial t \\ \text{div } \bar{J}_s = -\partial \rho_{vs} / \partial t \end{cases} \Rightarrow \text{div } \bar{J} = -\partial \rho_v / \partial t \quad \text{Dacă: } T \rightarrow 0K \Rightarrow (11)$$

$$\Rightarrow \partial \bar{v}_E / \partial t = -(q_0 / m_0) \bar{E} \Rightarrow \bar{J}_s = -q_0 N_0 \bar{v}_E \Rightarrow \bar{E} = (m_0 / N_0 q_0^2) (\partial \bar{J}_s / \partial t) \quad (12)$$

$$\text{Dacă: } \Lambda = m_0 / N_0 q_0^2 \Rightarrow E = \frac{\partial (\Lambda \bar{J}_s)}{\partial t} \Rightarrow \text{rot } \bar{E} = -\frac{\partial \bar{B}}{\partial t} \Rightarrow (13)$$

$$\Rightarrow \text{rot } (\Lambda \bar{J}_s) = -\bar{B} \Rightarrow \bar{B} = \text{rot } \bar{A} \Rightarrow \bar{J}_s = -\bar{A} / \Lambda \Rightarrow v=0 \quad (14)$$

$$\text{Dacă: } \begin{cases} \bar{J}_s = \text{const.} \\ \bar{J}_n = 0 \end{cases} \Rightarrow \bar{E} = 0 \Rightarrow \begin{cases} \bar{J}_s = \bar{J}_{s0} \exp(-x/\delta) \\ \bar{B}_s = \bar{B}_{s0} \exp(-x/\delta) \end{cases} \Rightarrow (15)$$

$$\Rightarrow \delta = \sqrt{\Lambda / \mu} \Rightarrow \delta = \sqrt{10^{-21} / 4\pi 10^{-7}} \approx 10^{-8} m \Rightarrow x=0 \Rightarrow (16)$$

$$\Rightarrow J_n / J_s = \sigma 2\pi f \Lambda \Rightarrow \sigma 2\pi f \Lambda \cong 2\pi \Rightarrow f \geq 10^{12} \div 10^{14} Hz \Rightarrow (17)$$

$$\Rightarrow J_n > J_s \Rightarrow \delta w_i \approx 4kT_c \ll w_F \Rightarrow \bar{K}_J, -\bar{K}_J \Rightarrow (18)$$

$$\Rightarrow f_f = w_f / 2\pi \hbar \Rightarrow H_c(T) = H_0 \left(1 - T^2 / T_c^2\right) \Rightarrow u_{ec} = \oint \bar{E} \cdot d\vec{r} = -d\Phi / dt \Rightarrow (19)$$

$$\Rightarrow d\Phi / dt = 0 \Rightarrow \Phi = \text{ct.} \Rightarrow \bar{E} = \partial (\Lambda \bar{J}_s) / \partial t = 0 \Rightarrow (20)$$

$$\Rightarrow \Phi = n \cdot \Phi_0, n \in N \Rightarrow \Phi_0 = h / q = h / 2q_0 = 2 \cdot 10^{-15} \text{ Wb} \Rightarrow |q| = 2q_0 \quad (21)$$

$$\text{Dar: } \begin{cases} g = 1 \dots 3nm \\ I = f(U) \end{cases} \Rightarrow I = I_c \cdot \sin \varphi \Rightarrow \varphi = \varphi_1 - \varphi_2 \Rightarrow (22)$$

$$\Rightarrow d\varphi/dt = \omega = 2\Delta W_F/h' \Rightarrow h' = h/2\pi \Rightarrow \Delta W_F = q_0 U \Rightarrow \quad (23)$$

$$\Rightarrow \varphi = \frac{2q_0}{h'} \int U_{AB} dt = \omega_o t \Rightarrow I = I_c \cdot \sin \omega_o t \Rightarrow U_{AB} = 1\mu V \Rightarrow \quad (24)$$

$$\Rightarrow f_o = \omega_o/2\pi = 2q_0 U_{AB}/h' \Rightarrow f_o = 483,6 \text{ MHz} \quad (25)$$

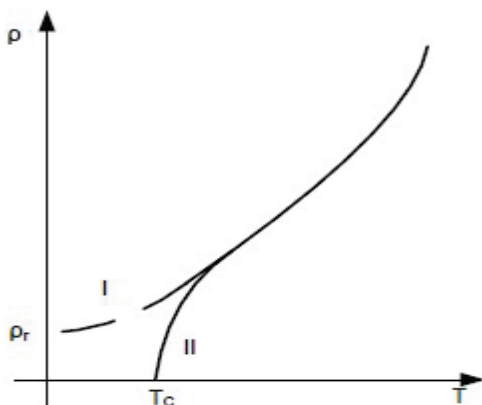


Fig. 3. Diagrama de variație a rezistivității electrice ρ în funcție de temperatura absolută T .

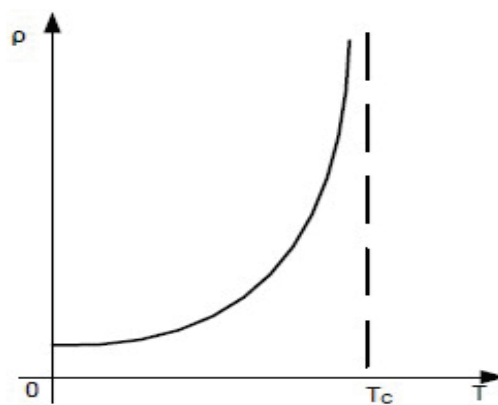


Fig. 4. Diagrama de variație a rezistivității electrice ρ în funcție de adâncimea de pătrundere δ .

În prima perioadă a curbei de variație specifică ratei de defectare, această rată de defectare scade (fiind caracteristică unui proces de *uzură negativă*) și probabilitatea de defectare a sistemului tehnologic dat este cu atât mai scăzută cu cât vârsta acestuia este mai mare. În a doua perioadă, caracterizată de o perioadă de defectare constantă, *uzura sistemului este nulă*, iar în a treia perioadă rata de defectare devine *pozitivă*. Duratale celor trei perioade diferă de la un produs la altul iar în situația în care, dacă perioada uzurii nulă sau aproape nulă este destul de îndelungată, în timp ce în cazul echipamentelor, cea mai întinsă este, în general, perioada uzurii negative, cu o viteză de scădere mică a ratei de defectare (o pantă mică a curbei de variație), iar în cazul legii de repartiție exponențială, se obține o rată de defectare constantă și egală cu parametrul λ al legii respective, adică pe cale de consecință, această lege de repartiție este printre cele utilizate în domeniul aprecierii fiabilității componentelor și a sistemelor. De asemenea, se poate aprecia că, în cazul acestei legi, rata de defectare este inversul mediei timpului de funcționare, astfel încât, oricare dintre acești doi indicatori poate fi adoptat pentru caracterizarea sintetică a fiabilității λ a unui sistem și în toate cazurile eliminându-se astfel inconvenientul subiectiv al unor valori ale ratei de defectare.

CONSIDERAȚII PRIVIND ADOPTAREA LOCOMOTIVELOR ÎN FUNCȚIE DE PERFORMANȚELE FENOMENELOR ELECTRICE DE CONDUȚIE LA NIVELUL CIRCUITELOR DE ÎNALTĂ TENSIUNE

4. CONCLUZII

Indicatorii de fiabilitate pot fi exprimați în număr de acționări și/sau în cicluri de funcționare, iar media timpului de funcționare reprezintă valoarea medie a timpului de funcționare până la defectare, în cazul produselor nereparabile, sau până la prima defectare în cazul produselor reparabile, iar dacă repararea poate fi asimilată cu înlocuirea, reprezintă valoarea medie a timpului de funcționare între două defectări succesive.

Rata de defectare prezintă importanță deoarece permite o distincție între tipurile de uzură ale produselor și/sau a serviciilor feroviare critice, în special a celor încadrate în clasa de risc maxim, iar funcția de fiabilitate este în esență probabilitatea de bună funcționare într-un interval de timp bine determinat și reprezintă un indicator care este mai puțin util decât indicatorul media timpului de funcționare până la defectare, în condițiile în care acest din urmă indicator nu necesită precizări suplimentare pentru definirea lui și permite o ierarhizare comodă a componentelor din punctul de vedere al fiabilității.

Indicatorii de fiabilitate pot fi exprimați în număr de acționări și/sau în cicluri de funcționare, iar media timpului de funcționare reprezintă valoarea medie a timpului de funcționare până la defectare, în cazul produselor nereparabile, sau până la prima defectare în cazul produselor reparabile, iar dacă repararea poate fi asimilată cu înlocuirea, reprezintă valoarea medie a timpului de funcționare între două defectări succesive, iar noțiunea de calitate nu este epuizată prin definirea indicatorilor de conformitate, fiabilitate și mentenabilitate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Dumitru George, „*Determinarea isocuantelor producției în sectorul feroviar*”, Simpozionul Național de Material Rulant de Cale Ferată - UPB, ISSN 1843-9888, București, 29-30 Noiembrie 2018.
- [2] Dumitru George, „*Modele matematice pentru calculul structurii locomotivelor seria BR 189 ES 64 F4 Siemens*”, Revista MID-CF, ISSN 1841-1207, pp. 25 - 32, nr. 1 / 2011.
- [3] Dumitru George, „*Locomotive Electrice*”, ISBN 978-606-25-0769-1, Editura MatrixRom, București, 2022.
- [4] Dumitru George, „*Locomotive Diesel*”, ISBN 978-606-25-0768-1, Editura MatrixRom, București, 2022.
- [5] Dumitru George, „*Termodinamica Locomotivelor*”, ISBN 978-606-25-0922-4, Editura MatrixRom, București, 2024.
- [6] Dumitru George, „*Hidrodinamica Locomotivelor*”, ISBN 978-606-25-0949-1, Editura MatrixRom, București, 2024.
- [7] Dumitru George, „*Risck Assessment of Hazards from the Railway Sector by SUVA Method and HAZOP Procedure*”, Bulletin of the Transilvania University of Brașov - 2015, Series I: Engineering Sciences.
- [8] Dumitru George, „*Etapele autorizării pentru punere în funcțiune*”, Buletinul AFER, nr. 3, ISSN 1843-9888, pp. 3-21, Mai / Iunie, 2014.
- [9] Dumitru George, „*Mecanica turnusurilor și a graficelor de circulație a trenurilor*” („*Mechanic Of Timetables And Trains Circulation Graphics*”), în Sinteze de Mecanică

Teoretică și Aplicată, Editura Matrix Rom, Vol. 8 (2017), nr. 4.

[10] Dumitru George, „*The Phases Process For Putting In Service Authorizations Commissioning*”, on the 14th Conference on Vehicle System Dynamics, Identification and Anomalies - VSDIA, 10th – 12th of November 2014, Budapest, Hungary.