

REGIMUL DE COMUTAȚIE AL DISPOZITIVELOR ÎN VID CU SARCINI INDUCTIVE

Vasile DR GU IN

**AISE - ELECTRICA S.A. – filiala Târgovi te,
email: inginersef_ aisetgv@electrica.minisat.ro**

***Rezumat.** Dispozitivele de comuta ie în vid (contactoare, întreruptoare, comutatoare) pot genera supratensiuni la întreruperea curentului în circuite inductive, transformatoare în gol, motoare în gol, sau pornirea motoarelor. Datorit proprietăților speciale ale vidului aceste supratensiuni pot fi de natură diferită față de cele generate în acelea i condiții de către un aparat de comutație care utilizează alt mediu de stingere (aer, SF₆, ulei, etc.). Lucrarea de față propune metode de analiză a fenomenelor generate de apariția suprtensiunilor și mijloace de protecție care asigură limitarea sau stingerea acestora.*

Abstract. At the interruption of the current in the inductive circuits, in the void transformers or electrical motors, in the starting of an electrical motors, the vacuum switching devices can be generated over-voltages. Thanks to the special properties of vacuum these over-voltages may be a different source given the over-voltages generated in the same conditions by a switching device which used an other arc-extinguishing medium (air, SF₆, oil, a.o.). The present work propose new methods of analysis of the phenomens generated by over-voltages appearance and new methods of protection which provide the limitation or quenching of the over-voltages.

We are study a lot of issues of phenomens which are generated by the over-voltages: an ideal current switching for an inductive load, the breaking current for small inductive load, multiple starting operations and multiple ignitions.

We are present the charecteristics of the apmplification of over-votages and the characteristics of the comutation over-voltages in due time of the multipleignition.

The methods of limitation or quenching over-voltages are presented:the utilisation of the soft materials - AgWC, CuBi – with a small breaking current,the utilisation of a syncrounous breaking,and the utilisation of the devices for limitation of the over-voltages.

1. INTRODUCERE

Vidul și hexaflorura de sulf (SF₆), sunt cele mai moderne tehnici de stingere a arcului electric în domeniul mediei tensiuni (1...52 kV) și înaltei tensiuni (> 72,5 kV). Acestea au apărut în 1960 și s-au dezvoltat rapid în ani 1970. Astăzi au înlocuit primele tehnici de stingere în aer și ulei [1].

În timp ce SF₆ este utilizat în toată gama de m.t. și î.t., vidul s-a dezvoltat întâi în domeniul m.t., cu incursiuni limitate în j.t. și î.t., cele două tehnici concurând una cu alta în domeniul m.t.. Chiar dacă fiecare este multifuncțională și poate oferi o soluție sigură și competitivă pentru cele mai multe probleme de întrerupere la m.t., utilizatorii doresc să poată alege singuri, în funcție de aplicațiile lor, acționare și politica de întreținere.

2. FENOMENE GENERATE DE SUPRATENSIUNI

2.1. Supratensiuni asociate unei ruperi ideale. Chiar în cazul unei ruperi perfecte din punct de vedere teoretic, cu ajutorul unui întreruptor, anumite supratensiuni sunt inerente la întreruperea unui circuit inductiv. Într-adevăr valoarea tensiunii la terminalele diferitelor elemente de circuit, trebuie să atingă un nou regim stabilizat care corespunde stării deschis.

Tranziția față de starea închis, care precede momentul ruperii la trecerea curentului prin zero duce la oscilații în jurul noului regim stabilizat și produce supratensiuni în comparație cu tensiunea maximă a rețelei în regim normal (fig. 1).

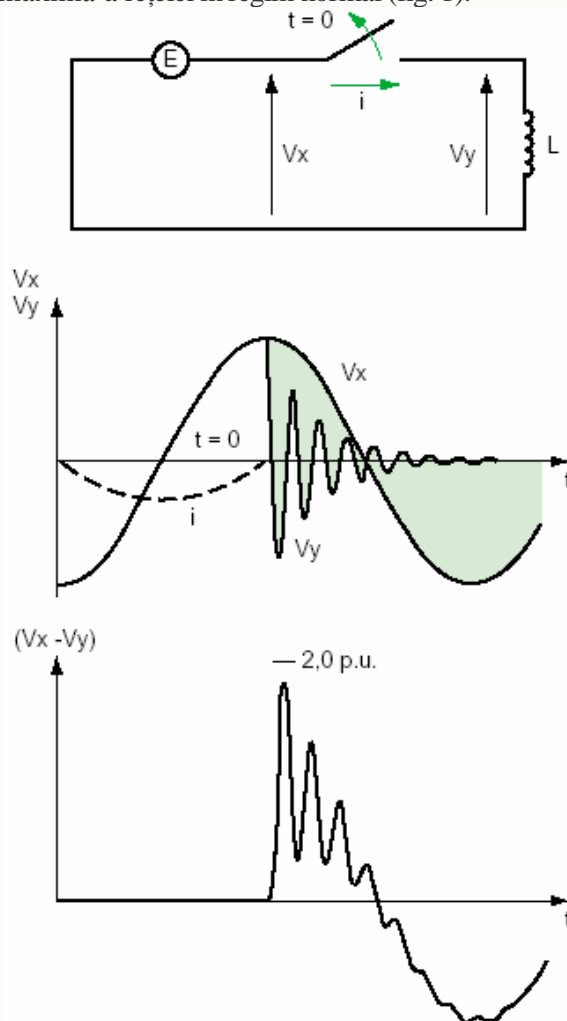


Fig. 1. Supratensiuni în timpul întreruperii unui circuit inductiv la un întreruptor cu vid relativ la tensiunea nominală a rețelei.

În cazul întreruperii trifazate, întreruperea nu este simultană pe cele trei faze, ceea ce de asemenea introduce un regim tranzitoriu care generează supratensiuni. De exemplu, în cazul unei ruperi la curent de scurtcircuit într-un sistem fără legătură directă la pământ, TTR la terminalele primului pol, pentru a curăța zonele de influență (deparazitare), aprox.

2,1-2,2 unități fizice (1 unitate fizică=tensiunea nominală maximă faza-nul = $\frac{U_n \sqrt{2}}{\sqrt{3}}$ (CEI a

standardizat TTR) și 2,5 unități fizice pentru întreruperea bateriei de condensatoare cu nulul izolat.

2.2. Curentul tăiat. Cel mai cunoscut și mai răspândit fenomen în tratarea tuturor tehnicilor de rupere este curentul tăiat: întreruperea prematură a curentului alternativ înaintea trecerii sale naturale prin zero [2].

Acest fenomen apare la întreruptoarele care sunt dimensionate pentru întreruperea curenților de scurtcircuit, atunci când întrerup curenți mici inductivi. Dacă I_a este valoarea curentului tăiat, curent care circulă în inductanța de sarcină L , imediat înainte de

rupere, energia electromagnetică care este acumulată în sarcina este transferată sub forma de energie electrostatică în capacitatea C plasată la bornele inductanței L ,

$$\frac{1}{2}LI_a^2 = \frac{1}{2}CU^2, \text{ (fig.2)}$$

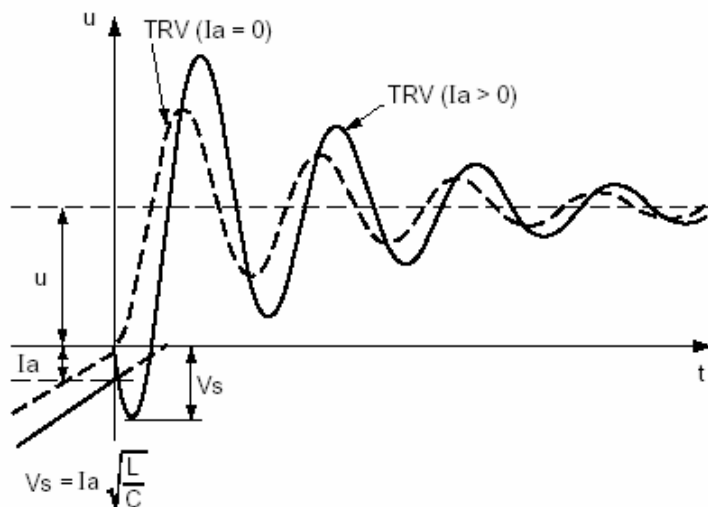


Fig. 2. Supratensiunea generată în cazul tăierii de curent (înainte de trecerea prin zero).

Aceste supratensiuni sunt deci proporționale cu curentul tăiat și impedanța caracteristică, $\sqrt{\frac{L}{C}}$ a sarcinii. În cazul comutatiei în vid, curentul tăiat corespunde stingerii premature a ultimului spot catodic datorită înstabilității sale la valori mici ale curentului: aceasta caracteristică, depinde de natura materialului de contact. Curentul tăiat mediu pentru câteva materiale utilizate sunt date în tabelul 3.

Tabelul 3.

Material	I tăiat mediu	I tăiat max.
Cu	15	21
CuCr	4	8
AgWC	0.5	1.1

În practică, valorile curentului tăiat de citiva amperi caracteristic materialului CuCr nu pune probleme. Oricum, valorile obținute utilizând Cu pur, sunt excesive și explică de ce acest material nu poate fi utilizat ca atare.

2.3. Multiple pre-amorsuri și re-aprinderi. Există amorsarea arcului (aprindere) între contacte, când tensiunea aplicată este mai mare decât rigiditatea dielectrică a intervalului. Acest fenomen este inevitabil când acest interval este foarte scurt (la sfârșitul închiderii și la începutul deschiderii).

Pre-amorsarea arcului pe închidere apare în mod sistematic când operația se face sub tensiune: intervalul de timp între pre-amorsare și momentul când contactele se ating (timp de pre-arc) depinde de viteza de închidere și de valoarea tensiunii aplicate în momentul când contactele se apropie unul de altul [3].

Re-aprinderea pe deschidere apare numai dacă timpul de arc (intervalul de timp dintre separarea contactelor și întreruperea curentului) este mic; în acest caz, distanța dintre contacte nu este suficientă pentru a suporta TTR și apare străpungerea dielectrică.

În timpul pre-amorsării sau re-aprinderii, descărcarea oscilantă a capacității locale rezultă în curent de înaltă frecvență (cca.100kHz) care circulă între contacte suprapus pe curentul de frecvență industrială, care se autostabilizează progresiv (astfel că este nul înaintea aprinderii). Aceste fenomene inevitabile interesează toate tipurile de aparate de comutație. Particularitatea aparatelor de comutație în vid, este abilitatea de a întrerupe curentul de înaltă frecvență care urmează amorsării, deoarece alte tehnici de rupere sunt în general incapabile de aceasta. Ruperea curentului de înaltă frecvență generează o nouă TTR aplicată între contactele a căror distanță variază nesemnificativ, pentru ca aceste fenomene, apar pe scară redusă de timp, în comparație cu durata mișcării contactului, care astfel duce la o nouă amorsare și repetarea aceluiași fenomen (fig. 4).

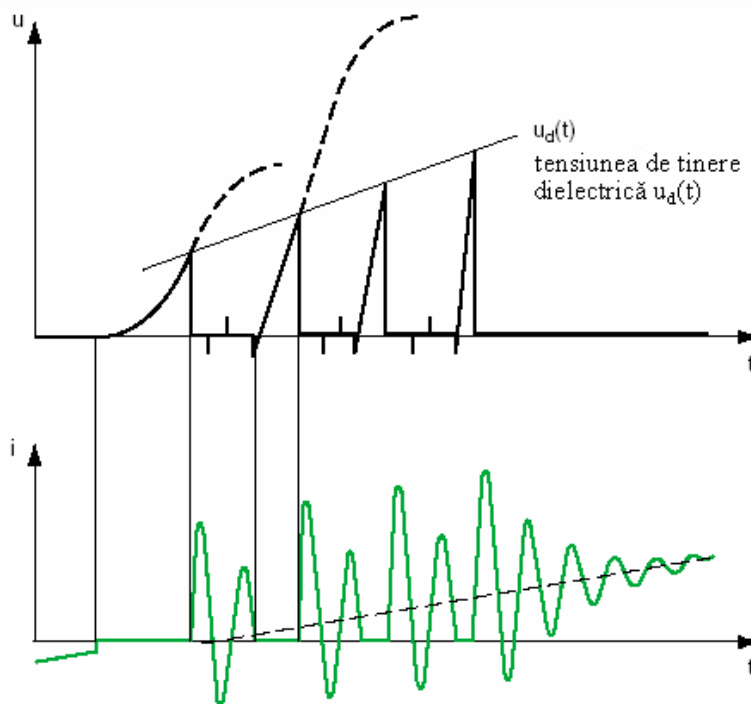


Fig. 4. Reapriinderea arcului electric produce amplificarea supratensiunilor.

Este o succesiune de amorsări multiple asociate cu undele de tensiune, de amplitudine variabilă, în funcție de modificările distanței dintre contacte:

- pe închidere, amplitudinea supratensiunii scade liniar până la atingerea contactelor;
- pe deschidere, amplitudinile cresc până când spațiul dintre contacte este suficient pentru a rezista TTR care datorită variabilității tensiunii, este încă mai mare decât tensiunea corespunzătoare ruperii normale.

Trenurile de supratensiune cu pante abrupte, generate de aceste multiple amorsări, sunt deci încă limitate de distanța dintre contacte, care este menținută și care joacă rolul de eclator (distanța de străpungere). Oricum, această limitare este cu adevărat eficientă numai pe închidere; pe deschidere valorile atinse pot fi ridicate (fig.5).

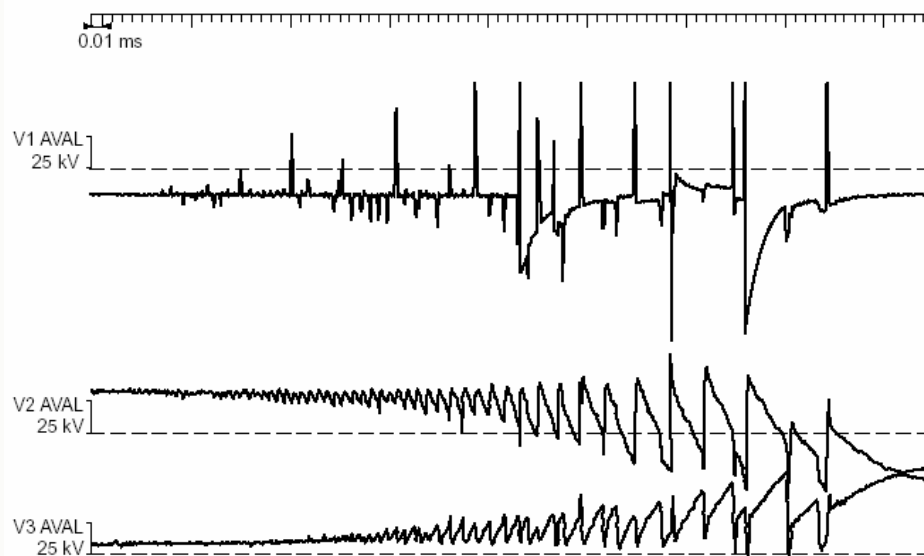


Fig. 5. Reapriinderea arcului electric pe perioada separării contactelor în cazul întreruperii curentului mic inductiv.

3. MIJLOACE DE PROTEC IE ÎMPOTRIVA SUPRATENSIUNILOR

3.1. Materiale de contact "moi". Materiale de contact (de ex. AgWC, CuBi) care au un curent tăiat foarte mic, s-au dezvoltat pentru aplicații la contactoare. Aceasta performanță a fost atinsă prin combinarea conductivității termice mici cu presiunea de vapori ridicată, astfel ca să se obțină spot catodic stabil pînă la valori de curenți foarte mici [4].

Aceste caracteristici, merg contrar capacității de rupere, care este acceptabilă la contactor, dar nu se acceptă la întreruptor. În plus, utilizarea acestor materiale este eficientă numai în reducerea supratensiunilor legate de curentul tăiat, care nu pun probleme în practică, dacă nu depășesc câțiva amperi (cazul CuCr). Materialele de contact "moi" nu aduc o îmbunătățire comparativ cu materialele de contact "dure" (CuCr) din punct de vedere al multiplelor amorsări. De fapt, aceste materiale sunt de asemenea capabile să întrerupă curenți cu di/dt mare și sunt caracterizate de o viteză de restabilire dielectrică mică, după separarea contactelor (fig.6).

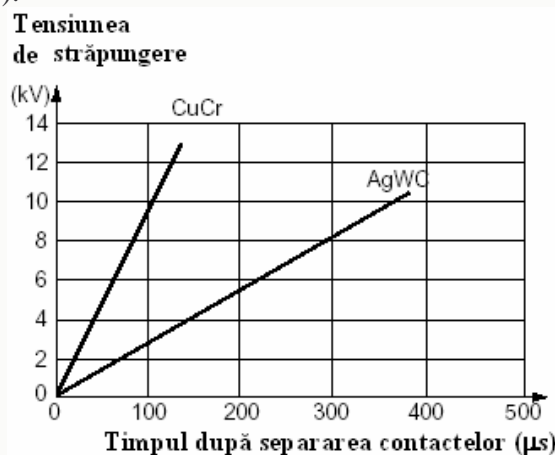


Fig. 6. Modificările dielectricului între contacte din momentul separării lor funcție de materialul din care sunt realizate acestea.

3.2. Rupere sincronizată. O soluție teoretică pentru a elimina aceste multiple reaprinderi, ar fi controlul momentului când se deschid contactele, față de unda de curent,

astfel încât să se prevină timpii scurți de arc. În practică, pune probleme complexe încrederea privind timpul de răspuns al mecanismului de comandă; este deci utilizat numai în înaltă tensiune, unde stăpânirea supratensiunilor de comutație poate justifică diferențele de preț ale aparatului.

În domeniul medie tensiune este mai economic a face apel la dispozitivele de protecție atunci când sarcina trebuie protejată [5].

3.3. Dispozitive de protecție care asigură limitarea supratensiunilor. Așa cum s-a menționat mai sus, fenomenul cel mai grav este amorsarea multiplă, care solicită în primul rând prima spira a înfășurării motorului sau transformatorului. Aceste două tipuri de sarcină trebuie luate în considerație în mod separat.

Într-adevăr, transformatoarele sunt proiectate pentru a tolera solicitările dielectrice generate de impulsurile de aprindere, cum sunt cele de supratensiune cu front abrupt, deci au un bun grad de izolație al primei spire. În plus, curenții inductivi care trebuie comutați sunt mici (transformatorului în gol) și supratensiunile asociate rămân limitate.

Ca regulă generală, nu este necesară o protecție specială a transformatoarelor acționate prin aparate de comutație în vid, cu excepția probabil a transformatoarelor cu izolație solidă, care sunt mai sensibile decât cele izolate în ulei.

Motoarele au o rigiditate dielectrică redusă față de transformatoare astfel încât curenții care trebuie ruși pot fi mari (ruperea în faza de pornire sau motor blocat) și astfel supratensiunile sunt severe.

Ca regulă generală, se recomandă plasarea de dispozitive de protecție la terminalele motorului, oricare ar fi dispozitivul său de comandă, contactor sau întreruptor și oricare ar fi materialul de contact utilizat.

Aceste dispozitive pot fi condensatoare care reduc timpul de creștere al supratensiunilor, sau circuite RC (de obicei $C=0,1...0,5\mu F$ și $R=10...50\Omega$) și/sau descărcătoare de supratensiune ZnO (DRV).

4. CONCLUZII

Tehnica comutației în vid, încă își mai poate îmbunătăți performanțele, astfel, ar putea fi menținută tendința reducerii dimensiunilor camerelor de stingere pentru întreruptoare .

Pentru aceasta sunt necesare progrese în optimizarea utilizării suprafețelor de contact și creșterea densităților de curent admisibile. Cu aceste obiective, cercetările curente sunt concentrate în principal pe:

- modelarea arcului și interacțiunea sa cu câmpul magnetic axial;
- mecanisme de difuzie și distribuție a energiei arcului pe suprafața contactelor;
- îmbunătățirea caracteristicilor materialelor de contact.

BIBLIOGRAFIE

- [1].M.P. Reece, The vacuum switch, part 1 — properties of the vacuum arc, *Proc. IEE*, 1963, 110, pp. 793-802;
- [2] A. Grenwood, Handbook of vacuum arc science technology - Fundamentals and applications, I.E.E.E.1995;
- [3] E. Dullini, Measurements and modelling in the current zero region of vacuum circuit-breakers for high current interruption, 1996;
- [4] IEEE 8 th ISDEIV- Albuquerque - Axial magnetic field type vacuum circuit-breakers based on exterior coils and horse shoes, 1986;
- [5]. P G. Slade, IEEE transactions on components, packing and manufacturing technology, Overvoltages and Vacuum circuit breaker application and switching surge protection (in Circuit interruption), 1984.