

DISPOZITIV DE CONECTARE SINCRONA A INTRERUPTOARELOR

Autori: dr. ing. Ion Ionescu, cercetator stiintific principal gr. I, INCDE ICEMENERG Bucuresti, ing. Irina Racovitan, INCDE ICEMENERG Bucuresti

In lucrare se prezinta un dispozitiv de sincronizare a intreruptoarelor, indiferent de caracterul sarcinii. Dispersia maxima masurata in cadrul experimentarilor nu depaseste 1,5 ms iar intarzierea la actinare este de maxim 5 ms. Articolul descrie atat functionarea cat si constructia si comportarea experimentală a dispozitivului.

1. Generalitati

La inchiderea sau deschiderea intreruptorului unei linii, in actionarea polilor celor trei faze ale intreruptorului exista totdeauna o dispersie, ceea ce face ca nu toate contactele sa fie actionate simultan. Conectarea schemelor celor trei componente simetrice in regimul nesimetric aparut, poate determina cresteri de tensiuni si chiar regimuri de rezonanta periculoase.

Tensiunea fata de pamant care apare in punctul de defect cand inca nu s-a inchis contactul, se determina cu relatia:

$$\underline{U}_n = \frac{x_n - x_d}{2x_n - x_d} \underline{E}_{dn} \quad (1)$$

unde $x_{d,n}$ sunt reactantele de intrare ale retelelor pentru secventele directa, respectiv homopolara, cu toate tensiunile scurtcircuitate, deci reactante de scurtcircuit, privind reseaua dinspre locul de defect. Daca este indeplinita conditia de rezonanta:

$$2x_n - x_d = 0 \text{ sau } \frac{x_n}{x_d} = \frac{1}{2} \quad (2),$$

numitorul relatiei (1) se anuleaza, ceea ce din punct de vedere teoretic inseamna cresterea nelimitata a tensiunii. Conditia (2) se realizeaza numai daca reactantele directa si homopolara sunt de naturi diferite, una capacitiva, alta inductiva.

2. Aspecte teoretice

Pentru un intreruptor real nesincronizat, notand cu T durata medie dintre momentul cand se comanda inchiderea intreruptorului pana la inchiderea celor trei faze, durata reala pana la inchiderea celor trei faze reprezinta o variabila statica a carei lege de repartitie este cea normala, avand ca valoare medie durata T . Dat fiind caracterul normal (gaussian) al repartitiei, domeniul de dispersie este $(T-3\sigma, T+3\sigma)$, unde σ este abaterea medie patratica a repartitiei si $\sigma = 0,26\theta_{0,9}$, unde $\theta_{0,9}$ este durata dintre inchiderea primei si ultimei faze cu probabilitatea de a fi depasita, egala cu 0,9.

Durata maxima intre inchiderea primei si ultimei faze a intreruptorului este o caracteristica de catalog si are valoarea maxima admisibila de 3-5 ms.

Inchiderea unei faze reprezinta doua aspecte: stabilirea contactului mecanic pentru polii aceleiasi faze si inchiderea electrica care poate avea loc prin arc inaintea contactului mecanic. Din aceasta cauza, chiar daca din punct de vedere mecanic inchiderea ar avea loc simultan, electric, prima faza are se inchide este cea la care tensiunea atinge prima valoarea tensiunii de strapungere a intervalului dintre contacte. Apare astfel o dispersie a inchiderii electrice a celor trei faze.

Supratensiunea datorata inchiderii nesincrone are doua cauze:

- Prima consta in faptul ca multiplul supratensiunii in regim permanent - K_{per} – este mai mare pentru o schema trifazata in care o faza este intrerupta decat pentru o schema simetrica.
- A doua cauza consta in tensiunea indusa de faza care se inchide prima, in fazele care inca nu s-au inchis.

Valoarea maxima a supratensiunii datorate inchiderii nesincrone a fazelor la conectarea unei linii in gol poate fi evaluata cu ajutorul urmatoarelor relatii, in determinarea carora s-a tinut seama de legatura electrostatica intre faze, neglijandu-se legatura electromagnetica:

$$\frac{U_{\max}^{(1,2,3)}}{U_{\max}^{(3)}} = \frac{U_{per}^{(2)}}{U_{per}^{(3)}} + \frac{k_{soc} - 1}{1 + \frac{c_p}{c_c}} \cdot \frac{U_{per}^{(1)}}{U_{per}^{(3)}} \quad (3)$$

$$\frac{U_{\max}^{(1-2,3)}}{U_{\max}^{(3)}} = 1 + \frac{k_{soc} - 1}{1 + \frac{c_p}{c_c}} \cdot \frac{U_{per}^{(2)}}{U_{per}^{(3)}} \quad (4)$$

unde: $U_{\max}^{(1,2,3)}$ - supratensiunea cand cele trei faze se inchid in momente diferite;

$U_{\max}^{(3)}$ - supratensiunea in cazul conectarii sincrone;

$U_{per}^{(2)}$ - supratensiunea in regim permanent la inchiderea a doua faze ale liniei;

$U_{per}^{(3)}$ - supratensiunea in regim permanent la inchiderea a trei faze ale liniei;

k_{soc} = coeficientul de soc al supratensiunii la conectarea liniei in gol, presupus acelasi pentru toate regimurile de conectare nesincrona;

c_p = capacitatea intre conductorul unei faze si pamant;

c_c = capacitatea intre conductoarele a doua faze;

$U_{per}^{(1)}$ = supratensiunea in regim permanent la inchiderea unei singure faze a liniei;

$U_{\max}^{(1-2,3)}$ = supratensiunea cand doua faze se inchid simultan iar a treia faza ulterior.

Dispersia momentelor de inchidere a fazelor unui intreruptor are ca efect cresterea supratensiunii la capatul in gol al liniei cu 15-20%.

Caracteristica completa a supratensiunilor datorita conectarii nesincrone a fazelor intreruptorului se face prin probabilitatea ca supratensiunea (sau multiplul ei) sa ia o valoare mai mare sau cel putin egala cu valoarea data. Supratensiunile la conectare sunt minime daca inchiderea circuitului se face la trecerea prin zero a tensiunii de alimentare, idee care sta la baza construirii intreruptorului sau cu comanda dirijata.

In afara cazurilor de comutatie a tensiunilor in gol trebuie amintita, ca o sursa importanta de supratensiuni, deconectarea sarcinilor mici inductive indeosebi cand intreruperea se face cu smulgere de curent de aparate de comutatie cu deplasare rapida a contactelor.

Astfel, in cazul deconectarii transformatoarelor in gol, factorul de supratensiune este:

$$k_s = \sqrt{\cos^2 \alpha + \eta_m \left(\frac{f_2}{f} \right) \sin^2 \alpha} \quad (5)$$

unde: α = unghiul de smulgere;

η_m = eficienta restituirii energiei magnetice; pentru transformatoare cu tola laminata la rece ($\eta_m = 0,3 - 0,5$);

$$f_2 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_T L_T}} - \text{frecventa proprie de oscilatie a transformatorului;}$$

C_T, L_T = capacitatea, respective inductanta echivalente ale transformatorului, raportate la infasurarea alimentata;

f = frecventa tensiunii de alimentare.

Se observa ca relatia (5) prezinta un maxim pentru $\alpha = \frac{\pi}{2}$, $k_{s\max} = \sqrt{\eta_m} \frac{f_2}{f}$ dar si un minim pentru $\alpha = 0$, $k_{\min} = 1$, deci pentru deconectarea in momentul trecerii prin zero a curentului.

3. Dispozitiv de conectare sincrona a intreruptoarelor

Necesitatea construirii unui astfel de dispozitiv in cadrul LMP Craiova a aparut ca urmare a incercarilor de determinare a erorilor tranzitorji la transformatoarele de curent dupa CEI 44-6, cand trebuia sincronizat momentul conectarii si deconectarii transformatoarelor cu precizie sub 1°EI ($0,55\text{ ms}$), pentru a nu produce un flux remanent in mjezul transformatorului. in cursul experimentarilor s-a constatat faptul ca la o dispersie de inchidere de 1°EI , amortizarea componentei aperiodice se produce in 4 perioade de curent, iar la deconectare memoria magnetica avea o remanenta de timp de cateva ore.

Deoarece duratele incercarilor si ordinea operatiilor sunt impuse de CEI 44, a aparut necesitatea conectarii unui circuit cu o precizie de $\pm 0,5^\circ\text{EI}$ fata de varful curentului.

Schema de principiu a unui astfel de dispozitiv este prezentata in figura 1.

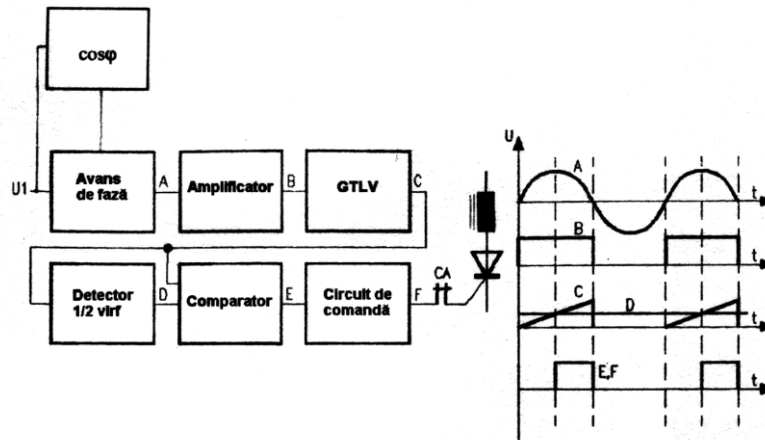


Figura 1. Schema de principiu a dispozitivului de sincronizare

Circuitul de avans de faza furnizeaza o tensiune defazata reglabila cu $(-0,5^\circ\text{EI} \div +0,05^\circ\text{EI}) - t_{ap}$ sau $(-5,5^\circ\text{EI} \div +5,05^\circ\text{EI}) - t_{ap}$, fata de U_1 , defazaj comandat de un circuit de calcul al defazajului intre curent si tensiune, cu o rata de doua citiri pe secunda; t_{ap} reprezinta timpul propriu al intreruptorului.

Generatorul de tensiune linear variabil este declansat de semiperioada pozitiva a tensiunii defazate. Jumatate din varful tensiunii linear variabile este memorat de detectorul 1/2 varf si comparat cu tensiunea linear variabila. Impulsurile de la iesirea comparatorului sunt obtinute in varful tensiunii defazate, deci cu un avans cuprins intre cu $(-0,5^\circ\text{EI} \div +0,05^\circ\text{EI}) - t_{ap}$ sau $(-5,5^\circ\text{EI} \div +5,05^\circ\text{EI}) - t_{ap}$ fata de tensiunea de alimentare U_1 . Deci se sincronizeaza inchiderea (deschiderea) intreruptorului cu comanda transmisa analogic de dispozitivele clasice (relee, declansatoare), cu o intirziere determinata

de defazajul existent in acel moment intre curent si tensiune. Prin modificarea avansului de faza se poate regia comanda scurtcircuitului in orice punct pe sinusoida, referinta fiind maximul curentului.

Pentru o unitate intreruptor – circuit de comanda monofazata, s-au executat experimentari in vederea determinarii preciziei la inchidere folosind un scurtcircuitor tip Sc_{U1} fabricat de SC Electroputere SA si o sarcina pur rezistiva.

4. Experimentari

Inregistrările s-au efectuat cu un sistem de achizitii si prelucrare a datelor tip TR 4910, care a fost programat pentru a inregistra semiperioada pozitiva a tensiunii pe care s-a programat inchiderea.

Desfasurand in timp o zona de 30 μs a varfului de tensiune, s-au programat 10 inchideri pe fiecare din cele 10 trepte preselectate, rezultatele fiind trecute in tabelul de mai jos:

Nr. pas	Avans programat [μs]	Timpul real de inchidere Nr. incercare										Dispersia medie [μs]
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
1.	-27,70	-28	-28,2	-28,4	-28,2	-28	-28	-27,8	-27,6	-28,2	-28,4	+0,46
2.	-24,93	-25	-25,2	-25,8	-25,8	-25	-26,2	-26,2	-25,4	-25,2	-25,2	+0,67
3.	-22,16	-22,8	-22,6	-22,8	-23	-22,8	-22,8	-22,8	-23,4	-22,2	-22,2	+0,62
4.	-19,39	-20	-20,2	-20,2	-20,4	-20	-20	-19,8	-20	-20,2	-20	+0,71
5.	-16,62	-17,8	-17,2	-17,8	-17,4	-17,8	-17,8	-17,6	-17,2	-17,4	-17,4	+0,86
6.	-13,85	-14	-14,2	-14,4	-14,4	-14	-14,2	-14,2	-14	-14,6	-14,2	+0,45
7.	-11,08	-11,8	-11,8	-12	-12,2	-11,8	-11,6	-11,4	-11,4	-11,8	-12	+0,72
8.	-8,31	-9,2	-9,4	-9,2	-9	-9,2	-9,4	-9,6	-9,2	-9,4	-9,4	+1,01
9.	-5,54	-6,2	-6,2	-6,4	-5,8	-6,2	-6,4	-6,8	-6,8	-6,4	-7	+0,88
10.	-2,77	-3,6	-3,4	-3,8	-3,6	-3,6	-3,4	-3,8	-3,6	-3,2	-3,8	+0,85
11.	0	-0,8	-0,6	-0,8	-0,6	-0,8	-0,8	-0,6	-0,2	-0,8	-0,8	-0,64
12.	+2,77	+1,8	+1,6	+1,4	+1,6	+1,8	+1,6	+1,8	+1,4	+1,6	+1,8	-1,17

Oscilogramele corespunzatoare valorilor extreme ale avansului la inchidere, cat si cel programat in varful tensiunii de referinta sunt prezentate in figura 2.

Diferenta dintre momentul prestabilit si momentul real al inchiderii reprezinta dispersia la inchidere, media aritmetica pentru un numar de 10 incercari nu depaseste + 1 ,5 μs .

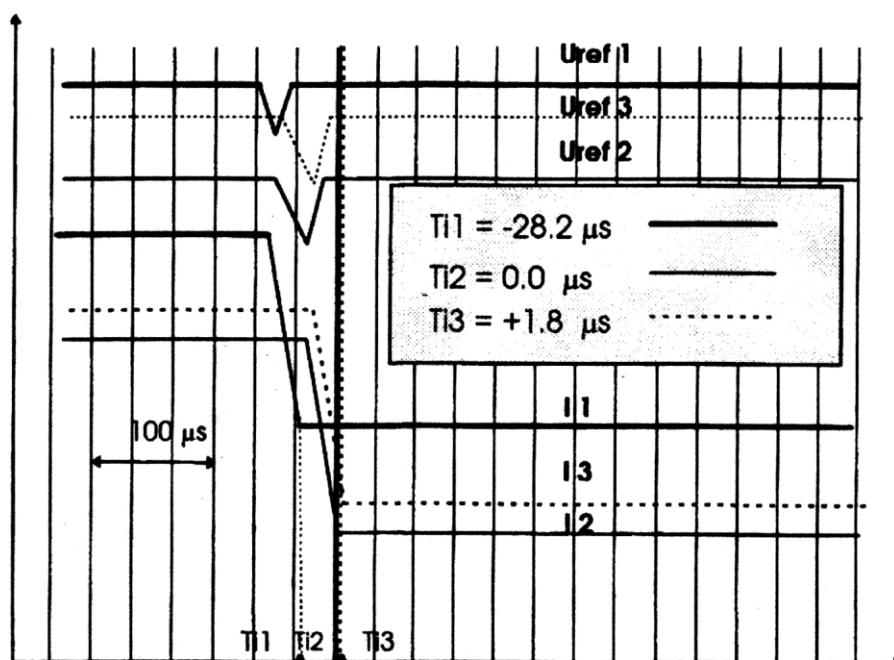


Figura 2. Oscilogramele pentru valorile extreme si de varf ale tensiunii de referinta folosind inchiderea sincrona

5. Concluzii

- Dispozitivul de sincronizare construit permite comutarea fara supratensiuni a sarcinilor, indiferent de caracterul lor.
- Momentul conectarii/deconectarii se stabileste automat in functie de caracterul sarcinii si de defazajul intre curent si tensiune masurat in momentul transmiterii comenzii.
- Dispersia de transmitere a comenzii masurata pe intreg lantul de comanda este de maxim 1,5 μs.
- Rata de citire a defazajului din retea este de 2 evaluari pe perioada, iar intarzierea maxima la actionare nu depaseste o semiperioada.
- Dispozitivul poate prelua in totalitate rolul echipamentelor tip „switchsync” pentru comanda intreruptoarelor de medie si inalta tensiune.