

## LUCRAREA 12

### DIMENSIONAREA OPTIMALĂ A STAȚIILOR/ POSTURILOR DE TRANSFORMARE FOLOSIND PROGRAMAREA NELINIARĂ CU RESTRICȚII

#### 12.1. Aspecte generale

În faza de proiectare, alegerea transformatoarelor din stații și posturi presupune determinarea:

- numărului optim de transformatoare cu care acestea sunt echipate;
- puterilor nominale optime ale transformatoarelor respective.

Schema generală de soluționare a acestor probleme cuprinde două faze succesive:

- fundamentarea soluțiilor pe baza criteriului economic;
- verificarea și satisfacerea tuturor cerințelor tehnice impuse.

Drept criteriu de optimizare se poate utiliza criteriul Cheltuielilor anuale de calcul (CA). În baza acestui criteriu avem:

$$CA = \frac{1}{T_n} \cdot I + C_E + D_\Sigma \quad (12.1)$$

unde:

$I$  – investițiile;

$C_E$  – cheltuieli totale de exploatare;

$D_\Sigma$  - daune totale în decurs de un an;

$T_n$  – durata normată de recuperare a investițiilor, în ani;

Se poate realiza un model de dimensionare optimă a unei stații sau post de transformare, model care aparține programării matematice neliniare cu restricții. În

practica curentă de proiectare a stațiilor/posturilor de transformare, toate variantele prezentate spre comparare asigură același grad de siguranță (normat) în alimentarea cu energie electrică a consumatorului. În această ipoteză, componenta  $D_{\Sigma}$  poate fi ignorată, evitând și dificultățile privind efectuarea calculelor aferente.

## 12.2. Modelul matematic de optimizare

### Variabilele de optimizare

Ca variabile de optimizare se vor alege în vederea dimensionării optime a stațiilor/posturilor de transformare următoarele:

- $N$  – numărul de transformatoare identice, în [buc.];
- $S_n$  – puterea aparentă nominală a unui transformator, în [kVA].

### Funcția obiectiv

Conform unor studii se poate accepta că pierderile de mers în gol și pierderile în sarcină variază cu puterea aparentă nominală a transformatorului la puterea  $^{3/4}$ , :

$$y = a \cdot S_n^{\frac{3}{4}} \quad (12.2)$$

În continuare, se va considera, în mod similar, că și costul transformatoarelor urmează aceeași lege de variație.

Pornind de la expresia (12.2), se vor exprima, într-o primă etapă, termenii acesteia, în funcție de variabilele de optimizare  $N$  și  $S_n$ .

Costul total al investiției  $C_T$  în cele  $N$  transformatoare de putere  $S_n$ , inclusiv montarea lor, are în baza ipotezei (12.3), expresia:

$$C_T = N \cdot c_t \cdot S_n^{\frac{3}{4}} \quad (12.3)$$

unde:

$c_t$  – cost specific, [\$/kVA<sup>3/4</sup>];

$T_n$  – durata de amortizare a investiției, [ani].

Cheltuieli anuale de exploatare ( $C_E$ ) ale celor  $N$  transformatoare, de putere unitară  $S_n$ , au două componente: una, datorată pierderilor de mers în gol a transformatoarelor ( $\Delta P_0$ ) și alta, datorată pierderilor la sarcina nominală ( $\Delta P_{sc}$ ):

$$C_E = \left[ N \cdot \Delta P_0 + \frac{\Delta P_{sc}}{N} \cdot \frac{S_{\max}^2}{S_n^2} \right] \cdot c_p \quad (12.4)$$

$$\Delta P_0 = \Delta p_0 \cdot S_n^{\frac{3}{4}}; \quad \Delta P_{sc} = \Delta p_{sc} \cdot S_n^{\frac{3}{4}} \quad (12.5)$$

unde:

$\Delta p_0, \Delta p_{sc}$  – pierderi specifice la mersul în gol și în scurtcircuit, în [kW/kVA<sup>3/4</sup>];

$c_p$  – costul specific al puterii instalate în centrala de echivalare, în [\$/kW];

$S_{\max}$  – sarcina maximă de durată a stației sau postului de transformare, [kVA].

Ținând cont de relațiile (12.3) și (12.4) expresia funcției obiectiv devine:

$$F(X) = X_1 \cdot X_2^{\frac{3}{4}} \cdot \left[ \frac{c_t}{T_n} + \Delta p_0 \cdot c_p \right] + \frac{\Delta p_{sc} \cdot c_p}{X_1 \cdot X_2^{5/4}} \cdot S_{\max}^2 \quad (12.6)$$

Restricțiile care sunt impuse variabilelor  $X_1$  și  $X_2$  sunt de natură tehnică:

$$g(X) \quad \begin{cases} N^{\min} \leq X_1 \leq N^{\max} \\ S_n^{\min} \leq X_2 \leq S_n^{\max} \end{cases} \quad (12.7)$$

unde:

$N^{\min} = 1; N^{\max}$  – numărul maxim de transformatoare admis într-o stație sau post de transformare;

$S_n^{\min}, S_n^{\max}$  – puterea nominală minimă și maximă a unei serii de transformatoare, [kVA].

Astfel, modelul dimensionării optime a unei stații/ post de transformare, are forma următoarei probleme de optimizare neliniară:

$$\min F(X) \quad (12.8)$$

în prezența restricțiilor (12.7), cu:

$$X = [X_1 \equiv N; X_2 \equiv S_n]_t \quad (12.9)$$

Problema poate fi soluționată prin metodele programării matematice neliniare, rezultând, în final, soluția optimă:

$$X^* = [X_1^* \ X_2^*], \quad (12.10)$$

în baza căreia se stabilesc parametrii optimi:

- $N^*$  – numărul optim de transformatoare;
- $S_n^*$  – puterea nominală optimă a unui transformator;

unde:

$N^* = X_1^*$  – se adoptă numărul întreg cel mai apropiat de valoarea rezultată;

$S_n^* = X_2^*$  – se adoptă transformatorul de putere standardizată imediat superioară valorii lui  $X_2^*$ .

### 12.3. Desfășurarea lucrării

1. Se studiază textul lucrării.
2. Pentru diferite valori ale puterii maxime tranzitată,  $P_{max}$ , la un anumit factor de putere  $\cos \varphi$ , se cere să se dimensioneze un post de transformare dintr-o rețea de distribuție, care alimentează un consumator vital în privința continuității alimentării cu energie electrică. Pentru seriile transformatoarelor de medie tensiune, valorile coeficienților  $\Delta p_0, \Delta p_{sc}, c_t, c_p, T_n$  se iau din cataloagele firmelor constructoare.  
Se va folosi funcția Matlab ce rezolvă problemele de programare neliniară cu restricții.
3. Se vor compara rezultatele obținute pentru diverse combinații ale datelor de intrare ( $P_{max}, \cos \varphi, \Delta p_0, \Delta p_{sc}, c_t, c_p, T_n$ ) și se vor trage concluzii cu privire la gardul de încărcare al transformatoarelor.

Baza de date transformatoare electrice

Nr. crt	Sn [kVA]	Uit [kV]	Ujt [kV]	usc [%]	dUp [%]	PLOTN	i0 [%]	$\Delta P_{sc}$ [kW]	$\Delta P_{fe}$ [kW]
1	100	6	0.4	4	5.5	2	3.0	2.5	0.365
2	100	10	0.4	4	5.5	2	3.0	2.5	0.365
3	100	20	0.4	4	5.5	2	3.0	2.5	0.365
4	160	6	0.4	4	5.5	2	2.9	3.1	0.525
5	160	10	0.4	4	5.5	2	2.9	3.1	0.525
6	160	20	0.4	4	5.5	2	2.9	3.1	0.525
7	250	6	0.4	6	5.5	2	2.9	4.4	0.680

---

**Optimizări în sistemele energetice. Aplicații practice**

8	250	10	0.4	6	5.5	2	2.9	4.4	0.680
9	250	20	0.4	6	5.5	2	2.9	4.4	0.680
10	400	6	0.4	6	5.5	2	2.8	6.0	0.980
11	400	10	0.4	6	5.5	2	2.8	6.0	0.980
12	400	20	0.4	6	5.5	2	2.8	6.0	0.980
13	630	6	0.4	6	5.5	2	2.4	8.2	1.250
14	630	10	0.4	6	5.5	2	2.4	8.2	1.250
15	630	20	0.4	6	5.5	2	2.4	8.2	1.250
16	1000	6	0.4	6	5.5	2	2.0	12.0	1.950
17	1000	10	0.4	6	5.5	2	2.0	12.0	1.950
18	1000	20	0.4	6	5.5	2	2.0	12.0	1.950
19	1600	6	0.4	6	5	2	1.7	18.0	2.700
20	1600	10	0.4	6	5	2	1.7	18.0	2.700
21	1600	20	0.4	6	5	2	1.7	18.0	2.700
22	63	20	0.4	4	5	2	3.0	1.5	0.300
23	63	6	0.4	4	5	2	3.0	1.5	0.300
24	40	20	0.4	4	5	2	3.0	1.0	0.205
25	40	6	0.4	4	5	2	3.0	1.0	0.205
26	4000	20	6.3	7.5	2.5	3	1.0	33.5	6.700
27	6300	20	6.3	7.5	2.5	3	0.9	46.5	9.400
28	2000	20	6.3	6	5	2	1.7	18.0	2.700