

## LUCRARE DE LABORATOR 5

### ÎMBUNĂȚIREA FACTORULUI DE PUTERE ÎN REȚELELE DE DISTRIBUȚIE CU SARCINI NELINIARE

#### 1. Obiectivele lucrării

Lucrarea are ca scop stabilirea cauzelor care determină valorile scăzute ale factorului de putere în rețelele de distribuție. Se studiază variantele de îmbunătățire a factorului de putere.

#### 2. Considerații teoretice

- **Puteri în circuite monofazate în regim sinusoidal**

Analiza curbei puterii instantanee  $p$  într-un circuit monofazat, liniar, alimentat cu tensiune sinusoidală  $u$  și parcurs de curentul electric  $I$  permite definirea puterii active  $P$ , a puterii aparente  $S$  și a puterii reactive  $Q$ .

**Puterea activă ( $W$ )**

Puterea activă  $P$  reprezintă valoarea medie a puterii instantanee  $p(t)$  pe durata procesului de observație, în intervalul de timp de la  $\tau$  la  $\tau+kT$ .

$$P = UI \cos \theta \quad (1)$$

**Puterea reactivă ( $var$ )**

Puterea reactivă  $Q$  reprezintă amplitudinea oscilațiilor puterii instantanee  $p_q(t)$ .

$$Q = UI \sin \theta \quad (2)$$

**NOTĂ:** Dacă sarcina este inductivă, atunci  $Q > 0$ , iar dacă sarcina este capacitivă  $Q < 0$ .

**Puterea aparentă ( $VA$ )**

Puterea aparentă  $S$  este dată de produsul dintre valorile efective ale tensiunii și curentului.

$$S = UI = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (3)$$

**Factorul de putere**

$$\lambda_m = \cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (4)$$

- **Circuite monofazate în regim nesinusoidal**

În cazul în care consumatorul analizat prezintă o caracteristică neliniară, factorul de putere nu poate fi definit prin cosinusul unghiului de defazaj. Având în vedere componența armonică a curbelor nesinusoidale, defazajul dintre curbele de tensiune și de curent electric poate fi definit numai în domeniul timp:  $\cos \varphi \neq \lambda = \frac{P}{S}$ .

Pentru studiul regimului staționar nesinusoidal valorile instantanee ale tensiunii și curentului se împart în două componente distincte  $u_1$  și  $i_1$  care reprezintă valorile pentru

fundamentale și componentele remanente  $u_H$  și  $i_H$  care conțin toate armonicile de ordin întreg și fracționar.

Corespunzător pentru pătratele valorilor efective rezultă:

$$U^2 = U_1^2 + U_H^2 \quad (5)$$

$$I^2 = I_1^2 + I_H^2 \quad (6)$$

unde: 
$$U_H^2 = U^2 - U_1^2 \quad (7)$$

$$I_H^2 = I^2 - I_1^2 \quad (8)$$

**Puterea activă (W)**

$$P = P_1 + P_H \quad (9)$$

unde

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \theta_1 \quad [\text{W}] \quad (10)$$

este puterea activă fundamentală, iar

$$P_H = P - P_1 \quad [\text{W}] \quad (11)$$

este puterea activă armonică.

**Puterea reactivă fundamentală (var)**

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \theta_1 \quad (12)$$

**Puterea reactivă Budeanu (var)**

$$Q_B = \sum_h U_h I_h \sin \theta_h \quad (13)$$

$$Q_B = Q_1 + Q_{BH} \quad (14)$$

unde: 
$$Q_{BH} = \sum_{h \neq 1} U_h I_h \sin \theta_h \quad (15)$$

**NOTĂ:** Măsurători în sistem și simulări au arătat că în multe situații  $Q_{BH} < 0$ , ducând la situații în care  $Q_B < Q_1$ .

**Puterea aparentă fundamentală (VA)**

Puterea aparentă fundamentală  $S_1$  cu componentele sale  $P_1$  și  $Q_1$  sunt cantitățile cu ajutorul cărora se definește rata de circulație a energiei electromagnetice asociată tensiunilor și curenților cu frecvența de 50 Hz.

$$\underline{S}_1 = \underline{U}_1 \underline{I}_1^* \quad (16)$$

$$S_1^2 = P_1^2 + Q_1^2 \quad (16')$$

**Puterea aparentă nefundamentală (VA)**

Separarea valorilor efective ale tensiunii și curentului în termenii fundamentali și termenii armonici, duce la formularea puterii aparente în felul următor:

$$S^2 = (UI)^2 = S_1^2 + S_N^2 \quad (17)$$

unde 
$$\|S_N = \sqrt{S^2 - S_1^2} \quad (18)$$

este puterea aparentă nefundamentală, care poate fi descompusă în următorii trei termeni:

$$S_N^2 = D_I^2 + D_U^2 + S_H^2 \quad (19)$$

- puterea corespunzătoare armonicilor de curent (var)

$$D_I = U_1 I_H = S_1 (THD_I) \quad (20)$$

- puterea corespunzătoare armonicilor de tensiune (var)

$$D_U = U_H I_1 = S_1 (THD_U) \quad \parallel \quad (21)$$

- puterea aparentă armonică (VA)

$$S_H = U_H I_H = S_1 (THD_I) (THD_U) \quad \parallel \quad (22)$$

$$S_H = \sqrt{P_H^2 + D_H^2} \quad (23)$$

cu puterea deformantă armonică (var)

$$\parallel D_H = \sqrt{S_H^2 - P_H^2} \quad (24)$$

**Puterea deformantă Budeanu (var)**

$$D_B = \sqrt{S^2 - P^2 - Q_B^2} \quad (25)$$

**Factorul de putere fundamental**

$$\lambda_1 = \cos \theta_1 = \frac{P_1}{S_1} \quad (26)$$

**Factorul de putere**

$$\lambda = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_H}{\sqrt{S_1^2 + S_N^2}} = \frac{(P_1 / S_1) [1 + (P_H / P_1)]}{\sqrt{1 + (S_N / S_1)^2}} = \frac{[1 + (P_H / P_1)] \lambda_1}{\sqrt{1 + THD_I^2 + THD_U^2 + (THD_I THD_U)^2}} \quad (27)$$

**NOTĂ:**

Atunci când  $THD_U < 5\%$  și  $THD_I > 40\%$ , este convenabil să se folosească următoarea expresie:

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{1 + THD_I^2}} \lambda_1 \quad (28)$$

Definițiile prezentate anterior sunt centralizate în tabelul 1.

**Tab.1. – Puteri în circuitele monofazate în regim nesinusoidal**

Componente de putere	Combinată	Fundamentală	Nefundamentală
Aparentă	$S$ (VA)	$S_1$ (VA)	$S_N$ (VA) $S_H$ (VA)
Activă	$P$ (W)	$P_1$ (W)	$P_H$ (W)
Neactivă	$N$ (var)	$Q_1$ (var)	$D_I$ $D_U$ $D_H$ (var)
Încărcarea liniei	$\lambda = P/S$	$\lambda_1 = P_1/S_1$	-
Gradul de poluare armonică	-	-	$S_N / S_1$

### 3. Instrument de analiză

Pentru realizarea obiectivelor lucrării se va utiliza pachetul de programe specializate de proiectare și analiză a sistemelor electroenergetice EDSA TECHNICAL 200\*.

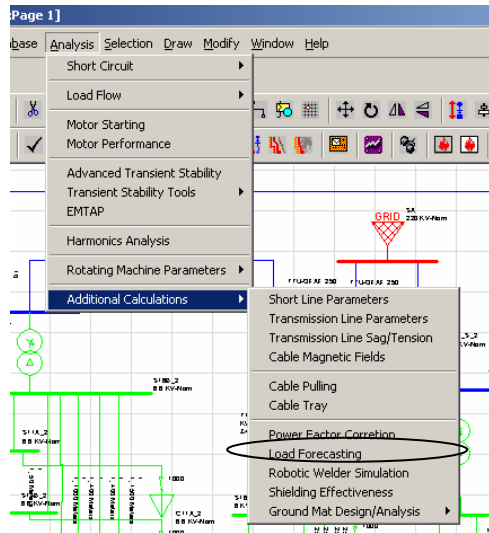
### 4. Obiectul analizei

Este constituit din rețeaua dată în Fig.1 – Lucrarea de laborator 2, cu datele precizate în Tabelul 2 Lucrarea de laborator 2 (Scenariul 2).

## 5. Mod de lucru

5.1. Se deschide o aplicație EDSA corespunzătoare.

5.2. Pe baza informațiilor generate de aplicație se determină valoarea factorului de putere în nodul SA1.



5.3. Se lansează modulul Power Factor Correction și se deschide un fișier nou.



Application : Capacitor  
 Bus Number : ul%  
 or System KVA : ι'οεΒΙΓfαιΑικΑιιΕΓΙΔ:γδvιέτιvέσι

Capacitor KVAR : 0  
 or Desired System P.F.(%) :

Load	Type	Description	KVA	PF-	PF+	Theta	KW	Sin(Th)	KVAR
Total Loads									
Capacitor									
System Resultant									

**Enter Data**

Description :

Application : **Synchronous Motor** Bus Number :

Synchronous P.F.(%) :

Synchronous KVA

Desired System P.F. (%)

Load Type	Description	KVA	PF-	PF+	Theta	KW	Sin(Th)	KVAR

- Se introduce numele aplicației (Description).
- Se optează pentru varianta de compensare a puterii reactive: Application>Capacitor.
- Se impune valoarea factorului de putere dorit: Desired System PF (92%).

**INPUT LOAD DATA**

Load Type : **Induction Motor** Description : **Induction Motor**

Load Unit :

KVA, PF ==> KW, KVAR

KW, KVAR ==> KVA, PF

HP, EFF, PF ==> KVA, KW, KVAR

I, KV, PF ==> KVA, KW, KVAR

I, V, PF ==> KVA, KW, KVAR

KVA :

PF (%) :

• Se introduc caracteristicile sarcinilor conectate pe bara pe care se va instala bateria de condensatoare:

Add>Load Type>Load Unit.

• Se introduc valorile puterilor active și factorilor de putere generați de aplicație EDSA/calculați pentru sarcinile cu ID: #03, #04, #SA1.

- Se rulează aplicația (Calculate).

Power Factor Correction - untitled.wpf

File Edit Calculate Help

Calculate

Application : Capacitor  
 Bus Number : 1  
 or System KVA :

Capacitor KVAR : 0  
 or Desired System P.F.(%) : 92

Load	Type	Description	KVA	PF-	PF+	Theta	KW	Sin(Th)	KVAR
1	I	Induction Motor	800		90	25.84	720	0.44	349
2	I	Induction Motor	800		80	36.87	640	0.60	480
Total Loads			1593		85	31.36	1360	0.520	829
Capacitor			0			0.00	0	0.000	-250
System Resultant			1478		92	23.07	1360	0.392	579

- Se determină valoarea puterii reactive necesare a fi generată de bateria de condensatoare pentru obținerea factorului de putere dorit.

5.4. Se racordează în rețea o baterie de condensatoare cu puterea determinată de aplicația de mai sus.

- Din biblioteca *iecbus* se selectează simbolul Capacitor 1, se racordează la nodul # prin intermediul unui întreruptor (IEC Switch) și i se alocă valoarea corespunzătoare pentru puterea reactivă calculată.
- Se reiau etapele de studiu menționate în Lucrare de laborator nr. 3, se compară valorile obținute pentru cele două scenarii: Scenariul 2 – rețea de distribuție cu surse de armonici și Scenariul 3 - rețea de distribuție cu surse de armonici și compensarea factorului de putere și se introduc în Tabelul 1 și Tabelul 2.

5.5. Se compară impedanțele armonice și se pune în evidență fenomenul de rezonanță armonică – Tabelul 3.

## 6. Rezultate

6.1. Se completează rezultatele circulației de cu scenariul 3 prezența bateriei de condensatoare – Tabelul 1.

Tabelul 1 – Rezultatele calculului circulației de puteri

Puteri generate		Puteri consumate		FP	Pierderi $\Delta$	
P [MW]	Q [MVar]	P [MW]	Q [MVar]		P [kW]	Q [kVar]
Scenariul 1 – consumatori liniari						
Scenariul 2 – regim deformant						
Scenariul 3 – rețea echipată cu baterie de condensatoare funcționând în regim deformant						

Se vor compară rezultatele cu cele obținute pentru Scenariul 2.

6.2. Se notează în tabelul 2 valorile indicatorilor caracteristici regimului deformant al rețelei echipate cu bateria de condensatoare și se compară rezultatele cu cele obținute pentru Scenariul 2.

Tabelul 2 – Propagarea armonicilor în rețeaua test

Scenariul 2 - rețea de distribuție cu surse de armonici					
#Nod	Un [kV]	VTHD [%]	Umax [kV]	Uef [kV]	FP
01					
02					
05					
#Latură	Un [kV]	ITHD [%]	Imax [A]	Ief [A]	
101010					
101001					
$\Delta P$ [kW]					
$\Delta Q$ [kVar]					
Scenariul 3 - rețea de distribuție cu surse de armonici și compensarea factorului de putere					
#Nod	Un [kV]	VTHD [%]	Umax [kV]	Uef [kV]	FP
01					
02					
05					
#Latură	Un [kV]	ITHD [%]	Imax [A]	Ief [A]	
101010					
101001					
$\Delta P$ [kW]					
$\Delta Q$ [kVar]					

6.2. Se studiază caracteristicile curbelor impedențelor armonice ale rețelei în nodurile indicate – tabelul 3.

Tabelul 5 – Impedanțele armonice

Scenariul 2			
#Nod	Un [kV]	Rang frecvențe de rezonanță	Fig.
01	110		
02	20		
05	0.4		
Scenariul 3			
#Nod	Un [kV]	Rang frecvențe de rezonanță	Fig.
01	110		
02	20		
05	0.4		

Se fac observații asupra punctelor de inflexiunile ale caracteristicilor – frecvențele de rezonanță – cauze și efecte posibile.