

## Conectarea la rețea

**Tematica:** *Mașini electrice*

→ **Capitol:** *Mașina sincronă*

→ **Secțiunea:**

**Tip resursă:**    *Expunere*       *Laborator virtual / Exercițiu*       *CVR*

Această lucrare de laborator evidențiază condițiile ce trebuie îndeplinite la cuplarea unui generator sincron în paralel, la rețea și modul în care trebuie comandat pentru a îl menține în sincronism, în paralel cu rețeaua.

- cunoștințe anterioare necesare:
- nivel: ciclul 2
- resurse ajutătoare:
- durata estimată:
- autor: [Francis Labrique](#)
- realizare: Sophie Labrique
- traducere: [Sergiu Ivanov](#)

În figura 1 este reprezentată schema pentru conectarea unui generator sincron la rețeaua de 50Hz, prin intermediul unui transformator. Rețeaua se consideră infinită, fiind reprezentată printr-o sursă trifazată echilibrată în stea, de pulsație  $\omega_{50} = 2\pi \cdot 50$  și de valoare eficace  $U_{50} = 220\text{ V}$ . Reactanțele  $jX_D = j\omega_{50}L_D$  corespund inductanțelor de dispersie ale transformatorului ce conectează generatorul la rețea. Se vor presupune a fi egale cu  $j0,3\Omega$

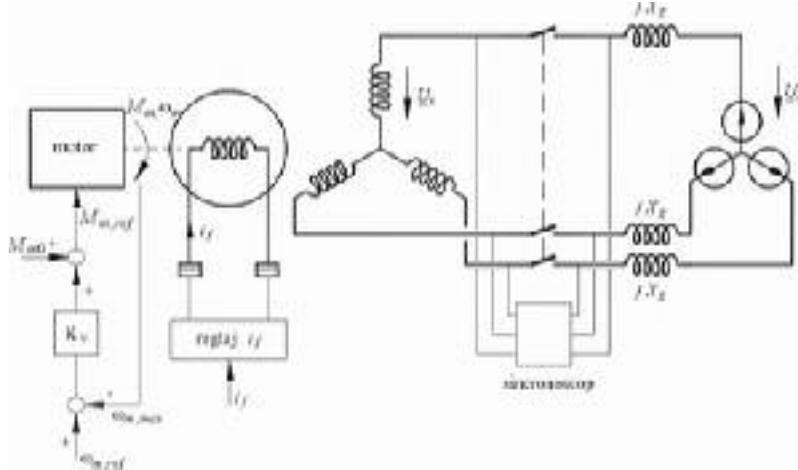


Figura 1

Regulatorul de viteză ce comandă cuplul dezvoltat de motorul de antrenare, este un regulator proporțional, cu un termen de acțiune predictivă. Acesta asigură controlul puterii furnizate în rețea de către generator.

## 1. Sincronizarea generatorului cu rețeaua

Se reglează viteza generatorului prin:

- fixarea valorii de referință a vitezei la o valoare  $\omega_{m,ref}$ , cât mai apropiată de  $\omega_{50}/P$ , unde  $P$  este numărul de perechi de poli ai generatorului;
- fixarea la zero, a termenului de acțiune predictivă  $M_{mD}$ .

Se reglează valoarea eficace a tensiunilor electromotoare induse în fazele statorului, pentru a face să devină egale cu valoarea eficace a tensiunii rețelei. Cum regulatorul de viteză este de tip proporțional, viteza reală este ușor inferioară vitezei de referință (datorită cuplului de frecări, care se opune mișcării). Diferența foarte mică de frecvență ce există între tensiunile rețelei și tensiunile electromotoare create de generator, se concretizează într-o variație lentă a defazajului între cele două sisteme de tensiuni.

Se va realiza conectarea în paralel în momentul în care cele două sisteme de tensiuni sunt în fază. Această înseamnă să se închidă întreruptorul ce conectează generatorul la rețea, în momentul în care diferențele de potențial între bornele contactelor sale sunt nule. Închiderea întreruptorului, nu va determina deci, apariția unui curent. Se va presupune că a fost respectată succesiunea fazelor. Pentru a efectua sincronizarea, se dispune de un sincronoscop. Acest aparat oferă informații privind

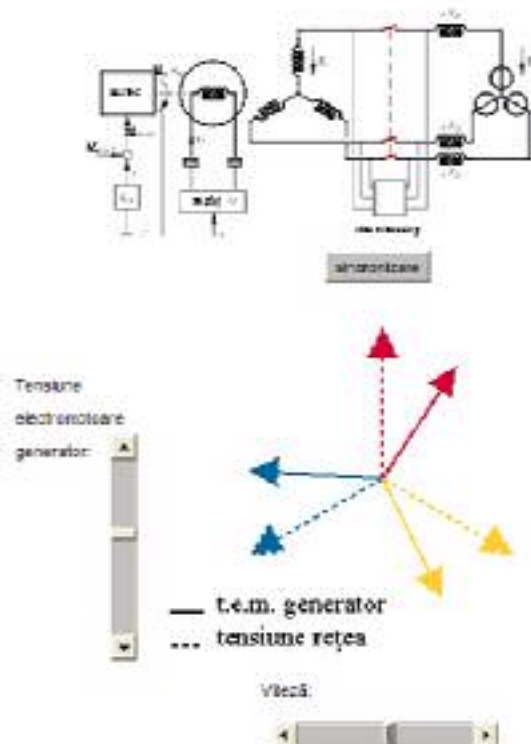
- valorile eficace ale tensiunilor rețelei și ale tensiunilor la bornele generatorului;
- diferența de frecvență ce există între cele două sisteme de tensiuni, văzută ca diferență de poziție între sistemele de fazori ce reprezintă tensiunile rețelei, respectiv tensiunile la bornele generatorului. Ca urmare, dacă pulsația  $P\omega_{50}$  a tensiunilor la bornele generatorului, este diferită de pulsația  $\omega_{50}$  a tensiunilor rețelei, fazorii asociați tensiunilor la bornele generatorului se rotesc cu viteza  $P\omega_{50} - \omega_{50}$  față de cei asociați tensiunilor rețelei.

În animația de mai jos sunt simulate informațiile furnizate de sincronoscop, prin reprezentarea valorilor eficace și ale pozițiilor relative ale fazorilor (ale pulsației  $P_{(t)}$ ) tensiunilor la bornele generatorului, față de cea a fazorilor tensiunilor rețelei, de pulsație  $U_{(t)}$ . Condițiile de sincronizare sunt realizate atunci când cele două sisteme de fazori coincid ca poziție și valoare eficace.

Se poate acționa asupra:

- vitezei de referință,
- curentului de excitație,

pentru obținerea condițiilor ce permit sincronizarea. Când estimați că sunt îndeplinite condițiile, apăsați butonul "sincronizare".



## 2. Reglarea punctului de funcționare

După realizarea conectării în paralel cu rețeaua, punctul de funcționare se poate modifica prin reglarea (figura 1)

- cuplului  $M_m$  furnizat de motorul de antrenare
- curentului de excitație (inductor)  $i_f$ .

Cum motorul de antrenare al mașinii sincrone (turbină cu gaz sau vapori, turbină hidraulică, motor termic) nu poate funcționa în regim de generator, conversia de energie nu se poate face decât în sensul corespunzător funcționării ca generator (așa-zis alternator) a mașinii sincrone. Pentru a determina care este punctul de funcționare corespunzător valorilor date ale cuplului  $M_m$  și curentului  $i_f$ , se vor neglija pierderile mecanice și pierderile Joule  $3R_a I_a^2$  în înfășurările statorului, deoarece sunt neglijabile față de puterea nominală a mașinii. În aceste condiții, puterea mecanică produsă de motorul primar este egală cu puterea electrică debitată în rețea. Prin utilizarea diagramei fazoriale ce evidențiază legătura dintre  $E_g$  și ( $U_{g0}$  și  $I_a$ ), cu  $P$  numărul de perechi de poli ai mașinii, se poate scrie (figura 2)

$$P_{elec} = M_m \frac{\omega_{sc}}{p} = 3U_{sc} I_s \cos \varphi = \frac{3U_{sc} E_0 \sin \delta}{X_g + X_s} \quad (1)$$

Valoarea curentului de excitație  $i_f$  determină valoarea tensiunii electromotoare  $E_0$ , respectiv determină extremitatea lui  $\underline{E}_0$ , aceasta se află pe un cerc de rază  $E_0$ , cu centrul în originea lui  $\underline{U}_{sc}$ .

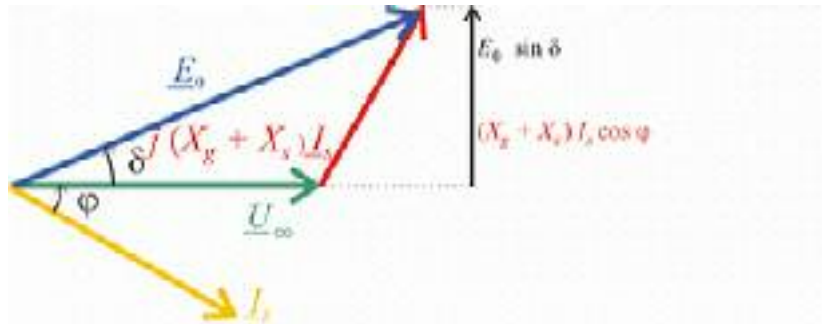


Figura 2

Valoarea cuplului  $M_m$  determină valoarea  $E_0 \sin \delta$ , conform (1) și determină poziția extremității lui  $\underline{E}_0$ ; acesta se află pe o paralelă la  $\underline{U}_{sc}$ , situată la distanța  $E_0 \sin \delta$ , egală cu:

$$\frac{M_m \frac{\omega_{sc}}{p} (X_g + X_s)}{3U_{sc}}$$

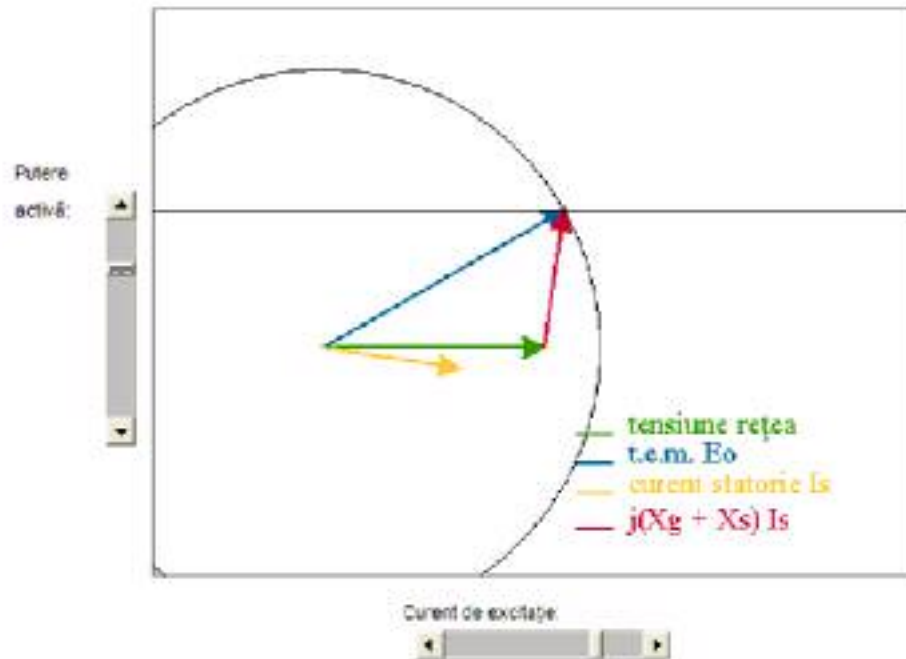
Punctul de intersecție al celor două locuri, corespunzător unei valori a lui  $\delta$  cuprinse între 0 și  $\pi/2$  va determina extremitatea lui  $\underline{E}_0$ . Fiind cunoscută  $\underline{E}_0$ , rezultă imediat  $j(X_g + X_s)I_s$  și  $I_m$ .

Dacă, pentru un anumit  $i_f$  dat, se crește  $E_0 \sin \delta$  acționând asupra lui  $M_m$ , unghiul  $\delta$  va crește: când el tinde să depășească  $\pi/2$ , nu mai este posibil să se obțină un punct de funcționare stabil, mașina ieșind din sincronism, ceea ce provoacă un regim tranzitoriu violent, care determină intrarea în funcțiune a sistemelor de protecție, ce comandă deschiderea întreruptorului ce conectează generatorul la rețea.

Dacă, pentru o valoare dată a lui  $E_0 \sin \delta$  (și deci  $M_m$  dat), se reduce  $i_f$ , unghiul  $\delta$  crește: când el tinde să depășească  $\pi/2$ , mașina iese din sincronism.

Animația de mai jos vă permite să urmăriți evoluția punctului de funcționare prin modificarea

puterii active  $P$  debitată în rețea, prin intermediul lui  $E_0 \sin \delta$ , ce este o imagine a puterii curentului de excitație  $i_f$ , ce determină amplitudinea lui  $\underline{E}_0$ .



Care sunt valorile lui  $M_{em}$  și  $i_f$ , dacă mașina debitează puterea activă  $P=20$  kW și puterea reactivă  $Q=10$  kVAR? Considerați cele două cazuri posibile:

puterea reactivă este inductivă  
 puterea reactivă este capacitivă.

Răspuns >>

Ajutor

Se neglijează pierderile mecanice, magnetice și pierderile Joule în înfășurările statorice.

Neglijând termenul  $E_n I_n$ , trasați diagrama fazorială ce exprimă legătura dintre  $V_{\infty}$  și ( $E_0$  și  $I_n$ ).

### Întrebarea 1: răspuns

$$\begin{aligned} M_{em} &= 127,3 \text{ Nm} \\ i_f &= 2,06 \text{ A} \end{aligned}$$

### Întrebarea 1: demonstrație

Se observă că (Figura 2) :

$$\begin{aligned} I_S \cos \varphi &= \frac{U_{s,ref} \sin \delta'}{X_g} \\ I_S \sin \varphi &= \frac{U_{s,ref} \cos \delta' - V_{\infty}}{X_g} \\ E_0 \sin \delta &= (X_g + X_s) \cdot I_s \cos \varphi \\ E_0 \cos \delta &= (X_g + X_s) \cdot I_s \sin \varphi + U_{\infty} \end{aligned}$$

Se obține

$$\tan \delta = \frac{(X_g + X_s)I_g \cos \varphi}{(X_g + X_s)I_g \sin \varphi + U_\infty}$$

$$\tan \delta = \frac{(X_g + X_s)U_{s,ref} \sin \delta' / X_g}{(X_g + X_s) \cdot \left[ \frac{U_{s,ref} \cos \delta' - U_\infty}{X_g} \right] + U_\infty} \quad (1)$$

Există relația

$$P_{elec} = \frac{3U_\infty U_{s,ref} \sin \delta'}{X_g} \quad (2)$$

Din (1) obținem valoarea unghiului  $\delta$ , calculând arctangenta (arctan) celor doi membri

$$\delta = \arctan \left[ \frac{(X_g + X_s)U_{s,ref} \sin \delta' / X_g}{(X_g + X_s) \left[ \frac{U_{s,ref} \cos \delta' - U_\infty}{X_g} \right] + U_\infty} \right]$$

Ecuatiile care exprimă  $\delta$  și  $P_{elec}$  în funcție de  $\delta'$ , sunt un sistem de ecuații parametrice ale curbei  $(P, \delta)$ .