Calculul puterilor activa si reactiva ale generatorului sincron cu poli inecati functionând în regim capacitiv

Se presupune puterea aparenta: $\underline{S}_2 = P_2 - jQ_2 = 2.1 - j0.3570$

$$\underline{U}_1 = \underline{U}_2 + j \cdot x_{ext} \cdot \underline{I} = 1 + j \cdot 0{,}0918 \cdot (2.1 + j \cdot 0{,}3570) = 0{,}9672 + j \cdot 0{,}1928 =$$
$$= 0{,}9863 \cdot e^{j0{,}1968}$$

unde $\underline{I} = \dfrac{\underline{S}_2^*}{\underline{U}_2^*} = \dfrac{2.1 - j0.3570}{1} = 2.1 - j0.3570$

$$U_1 = \sqrt{(0{,}9672)^2 + (0{,}1928)^2} = 0{,}9863$$

$$\theta_1 = \operatorname{arctg}\frac{0{,}1928}{0{,}9672} = 0{,}1968$$

Calculul tensiunii electromotoare $\underline{E}_q$ si trasarea diagramei fazoriale a tensiunilor si curentilor. Determinarea axelor d si q ale masinii

$$\underline{E}_q = \underline{U}_s + j \cdot (x_{ext} + x_d) \cdot \underline{I} = 1 + j \cdot (0{,}0918 + 0.5541) \cdot (2{,}1 + j \cdot 0{,}3570) =$$
$$= 0{,}7694 + j \cdot 1{,}3565 = 1{,}5595 \cdot e^{j1.0548}$$

$$E_q = \sqrt{(0{,}7694)^2 + (1{,}3565)^2} = 1{,}5595$$

$$\delta = \operatorname{arctg}\frac{1{,}3565}{0{,}7694} = 1{,}0548$$

Argumentul t.e.m. E_q, unghiul δ, determina directia axei transversale a generatorului sincron fata de referinta sincrona care este constituita din t.e.m. a sistemului de putere infinita. Axa longitudinala a acestuia este decalata cu 90^o electrice în urma, în sistemul în care axa q conduce axa d.

$$P_1 = \frac{E_q U_1}{x_d}\sin(\delta - \theta_1) = \frac{1{,}5595 \cdot 0{,}9863}{0{,}5541} \cdot \sin(1{,}0548 - 0{,}1968) = 2{,}1000$$

$$Q_1 = \frac{E_q U_1}{x_d}\cos(\delta - \theta_1) - \frac{U_1^2}{x_d}$$

$$Q_1 = \frac{1{,}5595 \cdot 0{,}9863}{0{,}5541} \cdot \cos(1{,}0548 - 0{,}1968) - \frac{(0{,}9863)^2}{0{,}5541} = 0{,}0596$$

Se verifica valorile precedente obtinute pentru puterile din nodul 1 (se scad din aceste valori pierderile de putere din retea si trebuie sa se obtina valorile puterilor din nodul 2):

Pierderile din retea sunt:

$$\Delta P_{12} = r_{ext} \cdot I^2 = 0$$

$$\Delta Q_{12} = x_{ext} \cdot I^2 = 0{,}0918 \cdot \left(2{,}1^2 + 0{,}357^2\right) = 0{,}4166$$

$$P_2 = P_1 - \Delta P_{12} = 2{,}1 - 0 = 2{,}1$$

$$Q_1 = \Delta Q_{12} + Q_2 = 0{,}4166 - 0{,}3570 = 0{,}0596$$

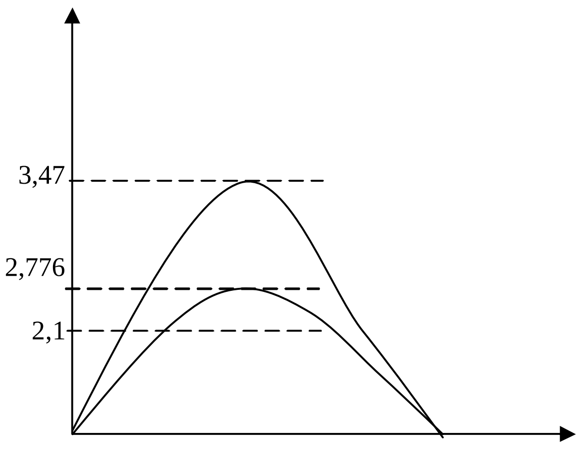
Deci, puterile din nodul 2 s-au verificat.

$$P_{max} = P_1 = \frac{1.5595x0.9863}{0.5541} = 2.776$$

$$P_{max} = P_1 = \frac{1.8325x1.0506}{0.5541} = 3.47$$

$P_{max} = 2.776$ regim capacitiv

$P_{max} = 3.47$ regim inductiv



În regim capacitiv de functionare a generatorului sincron scade tensiunea electromotoare $\underline{E}_q$ si creste unghiul intern al masinii δ, ceea ce conduce la înrautatirea conditiilor initiale, implicit înrautatirea stabilitatii.

Stabilitatea starilor de echilibru (stabilitatea statica) in ipoteza modelarii generatorului sincron printr-o t.e.m. in spatele reactantei sincrone in cazul neactionarii RAT si in cazul actionarii RAT

Scopul acestei etape este trasarea grafica a puterii electrice posibila a fi produsa de generatorul cu poli inecati pentru o anumita valoare a tensiunii de excitatie in functie de unghiul rotoric la functionarea in regim inductiv si in regim capacitiv.

Un sistem este stabil intr-o anumita stare de functionare, daca dupa o mica perturbatie oarecare, ajunge intr-o stare de functionare identica, sau apropiata celei dinaintea pertubatiei.

<u>Stabilitatea regimului permanent (a starilor de echilibru) pentru sistemul nereglat</u>

Conditiile de legare in paralel ale unui generator la sistemul energetic (conditiile de sincronizare ale generatorului cu sistemul) sunt:

- turatia generatorului sa fie egala cu turatia sincrona;
- tensiunea la bornele generatorului sa fie egala cu tensiunea sistemului;
- succesiunea fazelor tensiunilor generatorului sa fie aceeasi cu succesiunea fazelor tensiunilor sistemului.

Dupa realizarea acestor conditii si inchiderea intreruptorului de legare la sistem a generatorului, se realizeaza o stare de regim permanent, un punct de echilibru caracterizat prin $\delta=0$, puterea mecanica P_m transferata in P_{el} este zero si aceasta corespunde punctului de origine. Se presupune ca puterea mecanica creste incet, deci cresc turatia si unghiul rotoric si deci in mod corespunzator creste P_{el} astfel incat un punct nou de echilibru se realizeaza, punct in care $P_{el}= P_m$.

Sistemul este static *stabil* daca o crestere/descrestere corespunzatoare in putere mecanica cauzeaza o crestere/descrestere corespunzatoare in puterea electrica. Daca reactia sistemului se opune la aceasta, adica o crestere(descrestere) in P_m este insotita de o crestere (descrestere) a P_{el}, atunci nici un punct de echilibru nu poate fi atins.

Pentru o anumita valoare a P_m marcata ca “veche” sunt doua puncte de functionare 1 si 2. Daca Pm este crescuta cu o noua valoare (a) aceasta duce la un serplus de Pm in punctul 1. Acest surplus reprezinta a putere acceleratoare, va accelera rotorul astfel incat creste unghiul δ si deci Pel. Miscarea rezultata a punctului de functionare este reprezentata prin sageata catre noua stare de echilibru din punctul 5. O situatie opusa apare in punctul 2 de functionare, aici puterea acceleratoare egala cu segmentul 2-4 va accelera mai departe rotorul, va creste unghiul δ, dar aceasta crestere a unghiului δ duce la scaderea puterii electrice. Miscarea rezultatnta a punctului de functionare este aratata prin sageata. Un raspuns similar este obtinut daca se reduce Pm (b). Pentru punctele de echilibru de pe partea stanga a caracteristicii putere-unghi, miscarea rotorica este de la punctul 1 catre noul punct de echilibru 5. Pe de alta parte cand se pleaca de pe punctul de echilibru 2 pe portiunea descendenta a caracteristicii de putere, nu este posibil sa se ajunga in punctul de echilibru 6 si micsorarea rotorica continua pina in puntul de echilibru 5. Puterea mecanica posibila a fi transmisa de la generator spre sistem se noteaza cu $P_{Eq.cr}$.

Din cele prezentate rezulta ca generatorul, cu excitatia constanta, ce debiteaza in sistemul de putere infinita, este stabil in regim permanent numai pe portiunea ascendenta a caracteristicii de putere, adica pe portiunea pe care panta caracteristicii este pozitiva:

$$p_{sEq} = \left.\frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}\right|_{\delta=\delta_s} > 0$$

unde p_{sEq} - puterea sincronizanta in regim permanent

$p_{Eq\,cr.}$ - puterea maxima posibila a fi transmisa

Pentru o anumita valoare a excitatiei, puterea electrica posibila a fi debitata de generator reprezinta o sinusoida:

$$P_{Eq} = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \sin(\delta) = \frac{E_q \cdot U_2}{x} \cdot \sin(\delta)$$

Generatorul, cu excitatia constanta, ce debiteaza in sistemul de putere infinita, este stabil in regim permanent numai pe portiunea ascendenta a caracteristicii de putere (pe portiunea pozitiva):

$$P_{max} = P_m = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \sin(\delta) = \frac{1.8313 \cdot 1}{0,6459} \cdot \sin 0,8339 = 2,0996 \text{ la regim inductiv}$$

$$P_{max} = P_m = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \sin(\delta) = 1,5731 \text{ la regim capacitiv}$$

Valoarea $P_{Eq\ max}$ se mai numeste *limita stabilitatii RP* si poate fi folosita pentru calculul marginii stabilitatii de RP (sau rezerva stabilitatii statice).

-Pentru regim inductiv

$E_q = 1,8313; \ \delta = 0,8339$

$$P_{SEq1} = \left.\frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}\right|_1 = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \cos(\delta) = \frac{1,8313}{0,6459} \cdot \cos 0,8339 = 1,90502 > 0 \text{ sistemul e stabil}$$

$$P_{SEq2} = \left.\frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}\right|_2 = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \cos(\pi - \delta) = \frac{1,8313}{0,6459} \cdot \cos(3,14 - 0,8339) = -1,90502 < 0$$

$- >$ sistemul e instabil

-Pentru regim capacitiv

$E_q = 1,5731 \ ; \ \delta = 1,0580 \ \ 0,8339$

$$P_{SEq1} = \left.\frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}\right|_1 = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \cos(\delta) = \frac{1,5731}{0,6459} \cdot \cos 1,0580 = 1,1949 > 0 \text{ sistemul e stabil}$$

$$P_{SEq2} = \left.\frac{\partial P_{Eq}}{\partial \delta}\right|_2 = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \cos(\pi - \delta) = \frac{1,5731}{0,6459} \cdot \cos(3,14 - 1,0580) = -1,1949 < 0$$

$- >$ sistemul e instabil

Concluzie: Sistemul este stabil când punctul de functionare se afla pe partea ascendenta a caracteristicii de putere, respectiv instabil când se afla pe partea descendenta a caracteristicii de putere.

Atât timp cât punctului de functionare ii corespunde un coeficient al puterii sincronizante pozitiv, ne aflam intr-un sistem stabil de functionare. Când coeficientul este negativ, punctului de functionare ii corespunde un sistem instabil.

<u>Stabiliatea RP pentru sistemul reglat</u>

In aceasta parte se introduce actiunea RAT, iar influenta RAT se face in 2 stadii: a)In primul stadiu va fi dedusa ecuatia modificata a puterii electrice, datorita RAT; b)In stadiul al doilea se va arata posibilitatea de functionare dincolo de punctul critic.

Se considera un generator cu poli inecati, adica $x_d=x_q$ si r=0. Se doreste obtinerea expresiei puterii electrice debitata de generator, atunci cand actioneaza RAT.

Acest lucru se realizeaza (Ug sa ramana constanta) prin modificarea excitatiei si deci a t.e.m. Eq, prin urmare va fi necesar sa se inlocuiasca Eq prin Ug si δ.

$$P_{Ug}(\delta)=\frac{U_2}{x_d+x_{ext}}\cdot\sin\delta\cdot\sqrt{\left(\frac{x_d+x_{ext}}{x_{ext}}\cdot U_1\right)^2-\left(\frac{x_d}{x_{ext}}\cdot U_2\cdot\sin\delta\right)^2}-\frac{1}{2}\cdot\frac{x_d}{x_{ext}}\cdot\frac{U_2^2}{x_d+x_{ext}}\cdot\sin 2\delta;$$

$x_{TOT}=x_d+x_{ext}=0,6459$

$\delta:=0,\pi/12,\ldots\pi$

δ	**P_1**	**P_2**	**P_3**	**P_4**	**P_5**
0	0	0	0	0	0
0.2617	0.77	1.37	1.9736	2.5137	3.1737
0.5235	1.49	2.65	3.8128	4.9720	6.1311
0.7853	2.11	3.75	5.3922	7.0314	8.6705
1.0472	2.59	4.6	6.6040	8.6117	10.6194
1.3089	2.89	5.13	7.3659	9.6051	11.8444
1.5707	2.99	5.31	7.6257	9.9440	12.2683
1.8325	2.89	5.13	7.3659	9.6057	11.8444
2.0943	2.59	4.6	6.6040	8.6117	10.6194
2.3561	2.11	3.75	5.3922	7.0314	8.6707
2.6179	1.49	2.65	3.8128	4.9720	6.1311
2.8797	0.77	1.37	1.9736	2.5137	3.1737

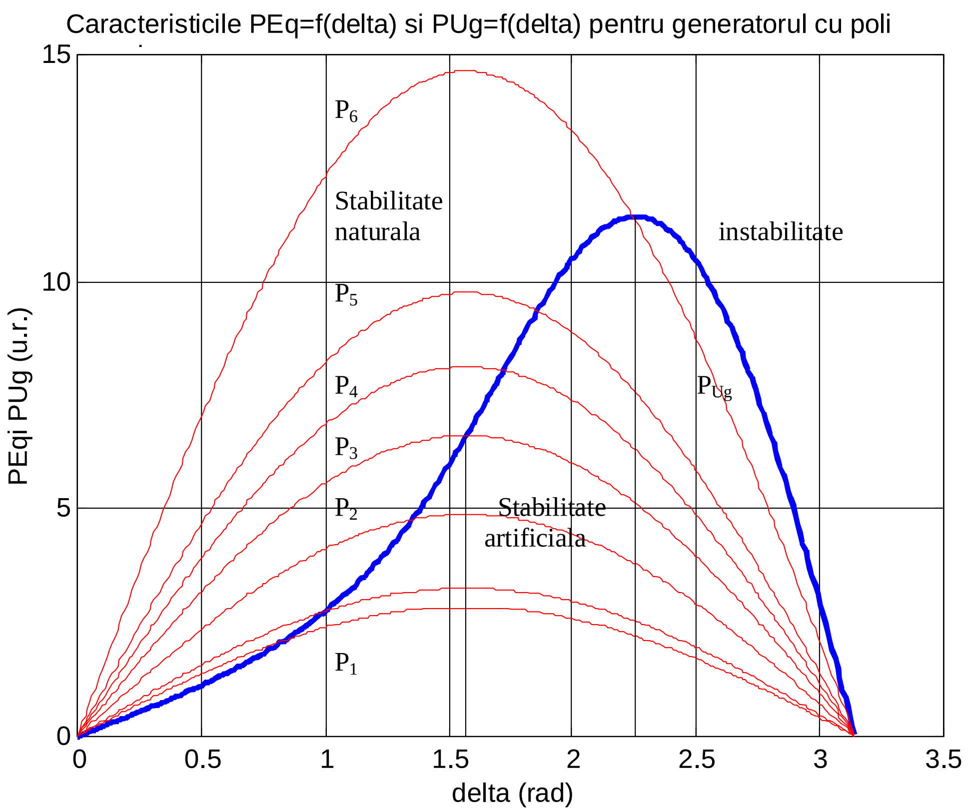
$$P_1 = \frac{E_q \cdot U_2}{x_{tot}} \cdot \sin\delta$$

$$P_2 = \frac{(E_q + 1{,}5)U_2}{x_{tot}} \cdot \sin\delta$$

$$P_3 = \frac{(E_q + 3)U_2}{x_{tot}} \cdot \sin\delta$$

$$P_2 = \frac{(E_q + 4{,}5)U_2}{x_{tot}} \cdot \sin\delta$$

$$P_5 = \frac{(E_q + 6)U_2}{x_{tot}} \cdot \sin\delta$$



Analiza cantitativa a dinamicii rotorului la mici perturbatii in ipoteza utilizarii modelului clasic pentru generator si a ecuatiilor de miscare sub forma standard

Caracterul miscarii perturbate nu depinde nici de natura perturbatiilor, nici de valoarea lor concreta, cu conditia ca aceste sa fie suficient de mici.

Caracterul miscarii libere are scopul de a arata daca sistemul este capabil sau nu sa se intoarca la starea initiala, daca mica perturbatie a disparut. In aceasta lucrare, miscarea libera este descrisa de variatia lui $\Delta\delta$ in raport cu timpul.

Ecuatia de miscare rotorica la mici perturbatii in forma curenta este:

$$Jw_s \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e - P_D = P_{acc}$$

unde : Jw_s: $[MWs^2/rad]$;

P_m-puterea mecanica cu care este incarcat generatorul, [MW];

P_e-puterea electrica la bornele generatorului, [MW];

P_D-puterea electrica de amortizare ce depinde de unghiul rotoric si de abaterea vitezei unghiularefata de viteza sincrona, [MW];

Relati de mai sus se mai poate scrie sub alta forma folosind timpul de lansare T_a care este definit:

$$T_a = \frac{Jw_s^2}{2S_n} \quad [s]$$

$$T_m = T_a \frac{S_n}{S_b} \quad [s]$$

rezulta:

$$T_m \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{w_s}{S_n}(P_m - P_e - P_D)$$

Pentru un generator debitand pe barele de putere infinita, puterea de amortizare este:

$$P_D = U_s^2 \left[\frac{x_d' - x_d''}{\left(x_{ext} - x_d'\right)^2} \cdot \frac{x_d'}{x_d''} T_d'' \sin^2\delta + \frac{x_q' - x_q''}{\left(x_{ext} - x_q'\right)^2} \cdot \frac{x_q'}{x_q''} T_q'' \cos^2\delta \right] \Delta w$$

rezulta: $$T_m \cdot \frac{d^2\delta}{dt^2} + C_D \frac{w_s}{S_n}\frac{d\delta}{dt} = \frac{w_s}{S_n}(P_m - P_e)$$

Se presupune o mica perturbatie care are drept efect, faptul ca unghiul $\delta = \delta_s + \Delta\delta$, cu δ_s cel din regimul de echilibru stabil. In urma liniarizarii, se obtine relatia:

$$T_m \cdot \frac{d^2\Delta\delta}{dt^2} + D \cdot \frac{d\Delta\delta}{dt} + \omega_s \cdot p_{sE'} \cdot \Delta\delta = 0 \quad (1)$$

unde: P_m,P_e-puterile in unitati relative, recalculate la noua putere de baza S_n

$$D = \frac{w_s}{S_n} U_s^2 \left[\frac{x_d^{'} - x_d^{"}}{\left(x_{ext} - x_d^{'}\right)^2} . \frac{x_d^{'}}{x_d^{"}} T_d^{"} \sin^2\delta + \frac{x_q^{'} - x_q^{"}}{\left(x_{ext} - x_q^{'}\right)^2} . \frac{x_q^{'}}{x_q^{"}} T_q^{"} \cos^2\delta \right]$$

Conditiile initiale, din momentul in care cauza perturbatiilor a disparut dar sistemul a fost adus intr-o stare perturbata in care urmeaza sa oscileze liber sunt:

- $t=0^+$
- $\Delta\delta = \Delta\delta_o \neq 0$
- $\Delta w = \dot{\Delta\delta} = \dot{\Delta\delta_o} \neq w - w_s = 0$

Se considera ca moment initial, momentul in care sistemul in cepe sa oscileze liber. Ecuatia de mai sus este o ecuatie diferentiala liniara de ordinul 2 a carei solutie e determinata de radacinile ecuatiei caracteristice:

$$p^2 + \frac{D}{T_m} \cdot p + \frac{\omega_s}{T_m} \cdot p_{sE'} = 0$$

(2)

si are radacinile $p_{1,2} = -\frac{D}{2 \cdot T_m} \pm j \cdot \sqrt{\frac{\omega_s \cdot p_{sE'}}{T_m} - \left(\frac{D}{2 \cdot T_m}\right)^2}$

Solutia ecuatiei de miscare rotorica (1) va fi de forma:

$$\Delta\delta(t) = C_1 \cdot e^{p_1 \cdot t} + C_2 \cdot e^{p_2 \cdot t} \qquad (*)$$

in care constantele de integrare sunt: $C_1 = \frac{-p_2}{p_1 - p_2} \cdot \Delta\delta_0 ; C_2 = \frac{p_1}{p_1 - p_2} \cdot \Delta\delta_0$ si se determina din conditiile initiale.

Stabilitatea sistemului depinde de valorile radacinilor p_1 si p_2 astfel:

- daca sunt valori reale, atunci este un mod neoscilatoriu; valoarea reala negativa corespunde unui mod amortizat, iar valoarea reala pozitiva corespunde unei instabilitati aperiodice;

- daca sunt valori complexe conjugate ($p_{1,2} = \sigma \pm j \cdot \omega$), atunci duc la oscilatii de forma $e^{\sigma \cdot t} \cdot \sin(\omega t + \theta)$ care reprezinta o sinusoida amortizata pentru $\sigma < 0$ si o sinusoida cu amplitudini crescatoare pentru $\sigma > 0$.

Componenta reala a valorii proprii da amortizarea, iar componenta imaginara da frecventa de oscilatie.

O parte negativa reala reprezinta o oscilatie amortizata in timp ce o parte pozitiva reala reprezinta o oscilatie de amplitudine crescatoare. Deci, pentru o pereche complexa de radacini caracteristice, asa dupa cum se va vedea: $p_{1,2} = \lambda_{1,2} = \sigma \pm j \cdot \omega$

Frecventa de oscilatie este data prin $f = \dfrac{\omega}{2\pi} [\mathrm{Hz}]$. Aceasta relatie da frecventa curenta sau frecventa amortizata.

Raportul de amortizare (cantitatea de amortizare prezenta in raspunsul sistemului) este dat prin:

$\zeta = -\dfrac{\sigma}{\sqrt{\sigma^2 + \omega^2}}$, unde σ - partea reala a radacinilor $p_{1,2} = \sigma \pm j \cdot \omega$

ω - partea imaginara a radacinilor $p_{1,2} = \sigma \pm j \cdot \omega$

<u>Ecuatia de miscare rotorica la mici perturbatii sub forma standard</u>

Ecuatia de miscare rotorica la mici perturbatii sub forma standard este:

$$\frac{d^2 \Delta\delta}{dt^2} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_{nat} \cdot \frac{d\Delta\delta}{dt} + \omega_{nat}^2 \cdot \Delta\delta = 0 \qquad (**)$$

Din relatiile anterioare rezulta: $\begin{cases} \omega_{nat} = \sqrt{\dfrac{\omega_s \cdot p_{sE'}}{T_m}} \\ 2 \cdot \zeta \cdot \omega_{nat} = \dfrac{D}{T_m} \Rightarrow \zeta = \dfrac{D}{2} \cdot \sqrt{\dfrac{1}{\omega_s \cdot p_{sE'} \cdot T_m}} \end{cases}$

Ecuatia caracteristica a ecuatiei de miscare rotorica (**) este:

$$p^2 + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_{nat} \cdot p + \omega_{nat}^2 = 0$$

si are radacinile $p_{1,2} = -\zeta \cdot \omega_{nat} \pm \omega_{nat} \cdot \sqrt{\zeta^2 - 1}$

Solutia ecuatiei de miscare rotorica (**) va fi de forma:

$$\Delta\delta(t) = \frac{\Delta\delta_0}{\sqrt{1-\zeta^2}} \cdot e^{-\zeta\cdot\omega_{nat}\cdot t} \cdot \cos(\omega_{din} \cdot t - \varphi)$$

unde: $\omega_{din} = \omega_{nat} \cdot \sqrt{1-\zeta^2}$ - frecventa naturala amortizata;

$$\varphi = \arcsin \frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}}.$$

Raportul de amortizare ζ determina cantitatea de amortizare prezenta in raspunsul sistemului. Toate valorile radacinilor depinde de valorile curente ale lui $p_{sE'}$, D si T_m care determina tipul raspunsului. Coeficientul de inertie T_m este constanta, in timp ce D si $p_{sE'}$ depind de sracina generatorului. S-a constatat ca coeficientul puterii sincronizante $p_{sE'}$ descreste cu sarcina.

Ecuatia (*) atrata ca $p_{sE'}$ >0, in functie de valorile curente ale lui $p_{sE'}$ si D, radacinile ecuatiei carracteristice sunt fie reale, fie complexe.

<u>Calculul parametrilor care intra in ecuatia oscilatiei libere a rotorului</u>

Cazul $D = 15{,}1371 > 0$

- Calculul t.e.m. tranzitorii

I=2.12-j0.3570

$$\underline{E}'_p = \underline{U}_2 + j\cdot(x'_d + x_{ext})\cdot\frac{\underline{S}_2^*}{\underline{U}_2^*} = 1 + j\cdot 0{,}1855(2{,}1224 - j0{,}3570) =$$

$$= 1{,}0655 + j\cdot 0{,}3937 = 1{,}1353\cdot e^{j\cdot 0{,}3539}$$

unde $E'_p = \sqrt{(\mathrm{Re}\,\underline{E}')^2 + (\mathrm{Im}\,\underline{E}')^2} = \sqrt{(1{,}06557)^2 + (0{,}3863)^2} = 1{,}1336$

$$\delta' = \mathrm{arctg}\frac{\mathrm{Im}\,\underline{E}'}{\mathrm{Re}\,\underline{E}'} = \mathrm{arctg}\frac{0{,}3937}{1{,}0655} = 0{,}3539$$

- Calculul puterii sincronizante

$$P_{SE'} = \frac{E'\cdot U_2}{x'_d + x_{ext}}\cdot\cos(\delta') = \frac{1{,}1353x1}{0{,}1855}\cdot\cos(0{,}3539) = 5{,}7455$$

- Calculul frecventei naturale

$$\omega_{nat} = \sqrt{\frac{\omega_0\cdot p_{sE'}}{T_m}} = \sqrt{\frac{314{,}1593\cdot 5{,}7455}{23{,}6680}} = 8{,}7329[\mathrm{rad/s}]$$

$$f_{nat} = \frac{\omega_{nat}}{2\pi} = \frac{8{,}7329}{2\pi} = 1{,}2929\,[\mathrm{Hz}]$$

- Calculul raportului de amortizare si al frecventei naturale amortizate

$$\zeta = \frac{D}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{\omega_s \cdot p_{sE'} \cdot T_m}} = \frac{15{,}1371}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{314{,}1593 \cdot 5{,}7455 \cdot 23{,}6680}} = 0{,}0366$$

$$\omega_{din} = \omega_{nat} \cdot \sqrt{1-\zeta^2} = 8{,}74 \cdot \sqrt{1-(0{,}0366)^2} = 8{,}7386$$

$$f_{din} = \frac{\omega_{din}}{2\pi} = \frac{8{,}7386}{2\pi} = 1{,}3915$$

$$\varphi = \arcsin\frac{\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} = \arcsin\frac{0{,}0366}{\sqrt{1-(0{,}0366)^2}} = 0{,}0366$$

pentru: D=0 (fara amortizare), ζ=0

D=1, ζ=0,0024

D=-1, ζ=-0,0024

Se creste P_m cu 0,3.

$P_{m(2)}$=2.12+0,3=2,4

Puterea mecanica trebuie sa fie egala cu cea electrica:

$$P_m = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \sin\delta \iff 2{,}4 = \frac{1{,}8313 \cdot 1}{0{,}6459} \cdot \sin\delta \Rightarrow \delta = 1{,}0093$$

Noua putere reactiva corespunzatoare lui P_m=2,4 va fi:

$$Q = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \cos\delta - \frac{U_2^2}{x_d + x_{ext}} = \frac{1{,}8313 \cdot 1}{0{,}6459} \cdot \cos(1{,}0093) - \frac{1}{0{,}6459} = -0{,}0383$$

- Calculul t.e.m. tranzitorii

$$\underline{E'}_p = \underline{U}_2 + j \cdot (x'_d + x_{ext}) \cdot \frac{\underline{S}_2^*}{\underline{U}_2^*} = 1 + j \cdot 0{,}1855 \cdot (2{,}4 + j \cdot 0{,}0383) =$$

$$= 0{,}9929 + j \cdot 0{,}4452 = 1{,}0882 \cdot e^{j \cdot 0{,}4216}$$

- Calculul puterii electrice

$$P_{E'} = \frac{E' \cdot U_2}{x'_d + x_{ext}} \cdot \sin(\delta') = \frac{1{,}0882 \cdot 1}{0{,}1855} \cdot \sin(0{,}4216) = 2{,}4 = P_m \text{ (s-a verificat } P_{el} = P_{mec})$$

- Calculul puterii sincronizante

$$p_{sE'} = \frac{E' \cdot U_2}{x'_d + x_{ext}} \cdot \cos(\delta') = \frac{1{,}0882 \cdot 1}{0{,}1855} \cdot \cos(0{,}4216) = 5{,}3526$$

- Calculul frecventei naturale

$$\omega_{nat} = \sqrt{\frac{\omega_0 \cdot p_{sE'}}{T_m}} = \sqrt{\frac{314{,}1593 \cdot 5{,}3526}{23{,}66}} = 8{,}42\,[\mathrm{rad/s}]$$

$$f_{nat} = \frac{\omega_{nat}}{2\pi} = \frac{8{,}42}{2\pi} = 1{,}3402\,[\mathrm{Hz}]$$

- Calculul raportului de amortizare si al frecventei naturale amortizate

$$\zeta = \frac{D}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{\omega_s \cdot p_{sE'} \cdot T_m}} = \frac{15{,}1371}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{314{,}1593 \cdot 5{,}3526 \cdot 23{,}66}} = 0{,}0379$$

$$\omega_{din} = \omega_{nat} \cdot \sqrt{1-\zeta^2} = 8{,}42 \cdot \sqrt{1-(0{,}0379)^2} = 8{,}4139$$

$$f_{din} = \frac{\omega_{din}}{2\pi} = \frac{8{,}4139}{2\pi} = 1{,}3398$$

Pentru: D=0 (fara amortizare), ζ_2=0

D=1, ζ_2=0,0025

D=-1, ζ_2=-0,0025

Se creste P_m cu 0,6.

$P_{m(2)}$=2.12+0,6=2,72

S_3=2,72-j0,7478

Puterea mecanica trebuie sa fie egala cu cea electrica:

$$P_m = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \sin\delta \iff 2{,}72 = \frac{1{,}8313 \cdot 1}{0{,}6459} \cdot \sin\delta \Rightarrow \delta_3 = 1{,}2846$$

Noua putere reactiva corespunzatoare lui P_m=2,72 va fi:

$$Q_3 = \frac{E_q \cdot U_2}{x_d + x_{ext}} \cdot \cos\delta - \frac{U_2^2}{x_d + x_{ext}} = \frac{1{,}8313 \cdot 1}{0{,}6459} \cdot \cos(1{,}2846) - \frac{1}{0{,}6459} = -0{,}7478$$

- Calculul t.e.m. tranzitorii

$$\underline{E'}_p = \underline{U}_2 + j \cdot (x'_d + x_{ext}) \cdot \frac{\underline{S}_2^*}{\underline{U}_2^*} = 1 + j \cdot 0{,}1855 \cdot (2{,}72 + j \cdot 0{,}7478) =$$

$$= 0{,}8612 + j \cdot 0{,}5045 = 0.9981 \cdot e^{j \cdot 0{,}5299}$$

- Calculul puterii electrice

$$P_{E'} = \frac{E' \cdot U_2}{x'_d + x_{ext}} \cdot \sin(\delta') = \frac{0.9981 \cdot 1}{0{,}1855} \cdot \sin(0{,}5299) = 2{,}7197 = P_m$$

(s-a verificat $P_{el} = P_{mec}$)

- Calculul puterii sincronizante

$$p_{sE'} = \frac{E' \cdot U_2}{x'_d + x_{ext}} \cdot \cos(\delta') = \frac{0.9981 \cdot 1}{0,1855} \cdot \cos(0,5299) = 4,6426$$

- Calculul frecventei naturale

$$\omega_{nat} = \sqrt{\frac{\omega_0 \cdot p_{sE'}}{T_m}} = \sqrt{\frac{314,1593 \cdot 4,6426}{23,66}} = 8,4503[rad/s]$$

$$f_{nat} = \frac{\omega_{nat}}{2\pi} = \frac{8,4503}{2\pi} = 1,3449\,[Hz]$$

- Calculul raportului de amortizare si al frecventei naturale amortizate

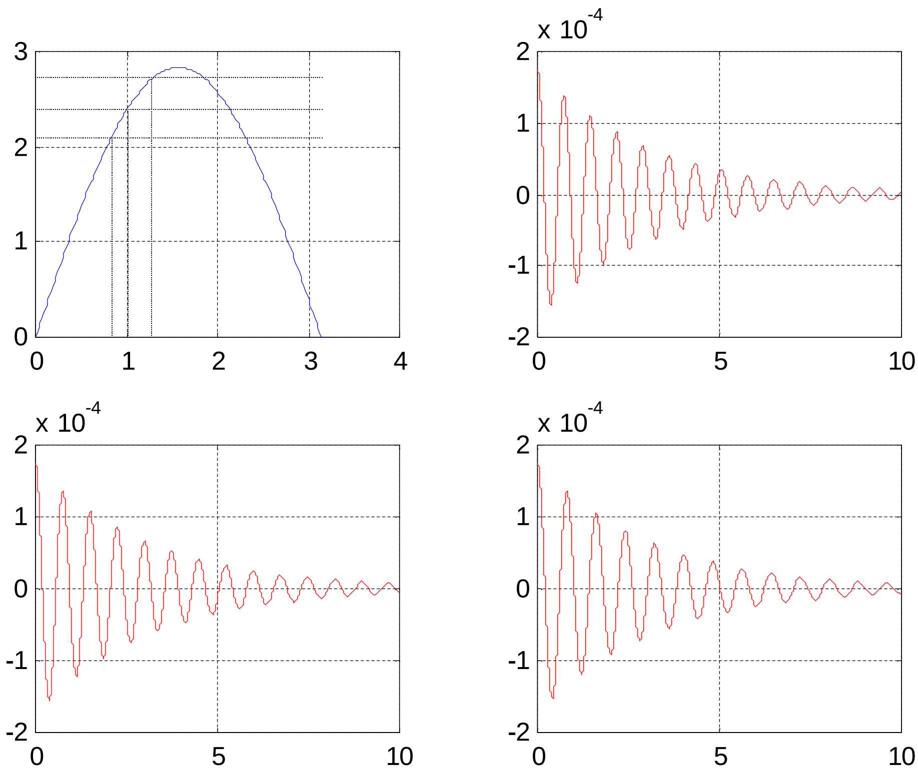
$$\zeta_3 = \frac{D}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{\omega_s \cdot p_{sE'} \cdot T_m}} = \frac{15,1371}{2} \cdot \sqrt{\frac{1}{314 \cdot 4,6426 \cdot 23,66}} = 0,0689$$

$$\omega_{din} = \omega_{nat} \cdot \sqrt{1-\zeta^2} = 8,4503 \cdot \sqrt{1-(0,0689)^2} = 8,4101$$

Pentru: D=0 (fara amortizare), ζ_3=0

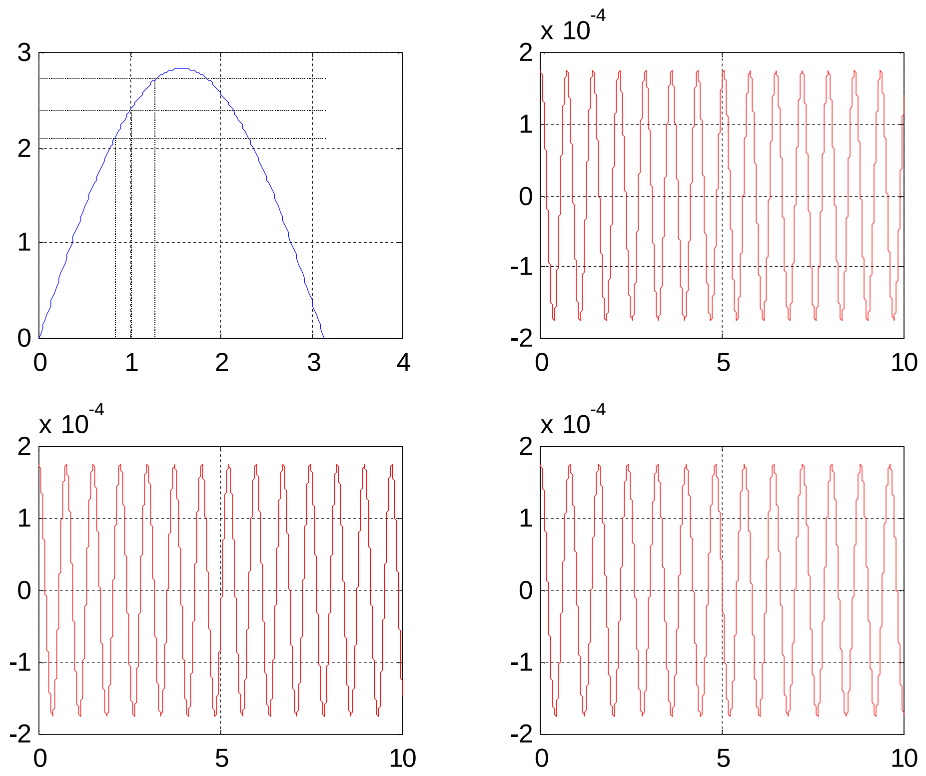
D=1, ζ_3=0,0034

D=-1, ζ_3=-0,0034

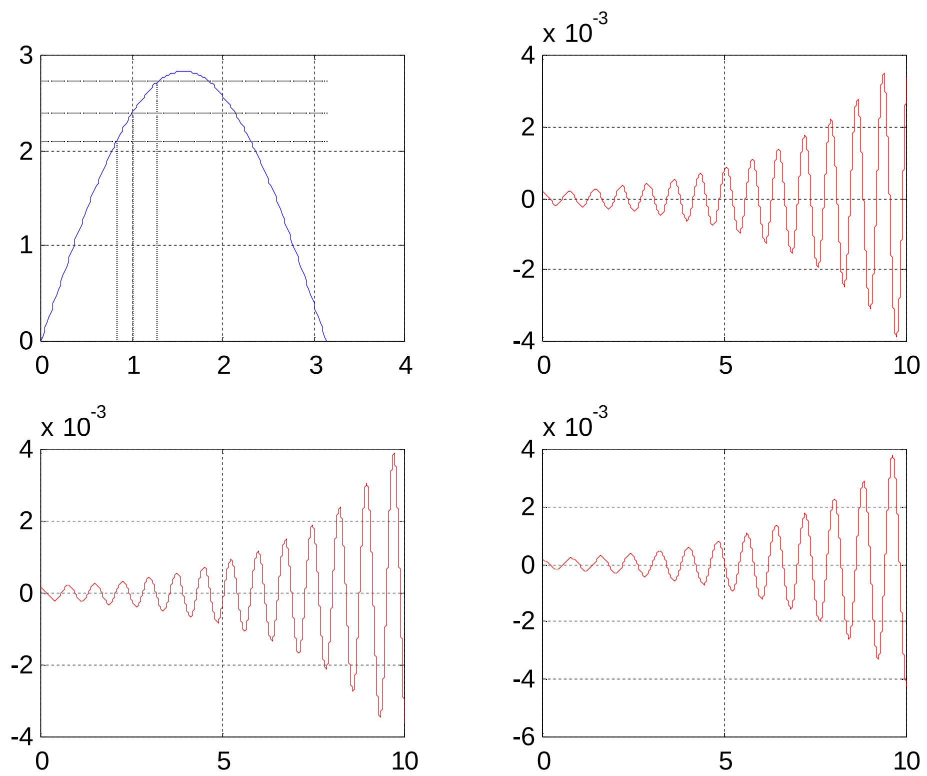


Caracteristici obtinute pentru D>0 , P_{sE}>0, timp de studiu 10s

Caracteristici obtinute pentru D=0 , P_{sE}>0, timp de studiu 10s



Caracteristici obtinute pentru D<0 , P_{sE}>0, timp de studiu 10s

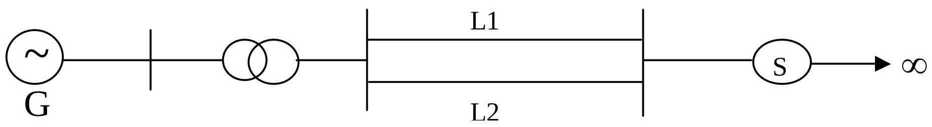


Studiul stabilitatii tranzitorii pentru diverse puncte de scurtcircuit trifazat pe unul din circuitele liniei dublu circuit, utilizand legea ariilor si metoda Runge-Kutta de ordinul IV

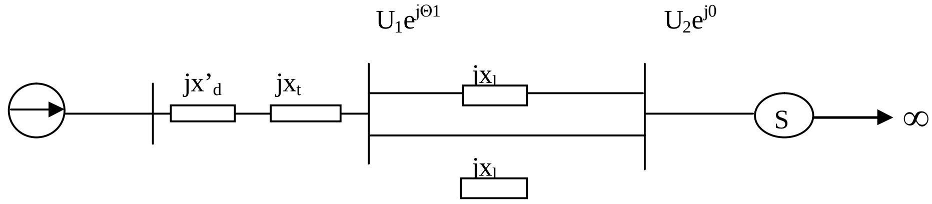
Scurtcircuitul trifazat pe unul din circuitele liniei dublu circuit face ca generatorul sa oscileze fata de sistemul de putere infinita. Metoda arrilor egale poate determina stabilitatea generatorului aflat in RT fara a rezolva ecuatia de miscare. In aplicarea criteriului ariilor egale, pentru generator s-a folosit modelul clasic $x'_d=x'_q$. Puterea mecanica ramane constanta.

Nu actioneaza RAT sau RAV, t.e.m. E' din spatele reactantei tranzitorii ramane constanta in modul. Secventa evenimentelor care a fost luata in considerare este urmatoarea:

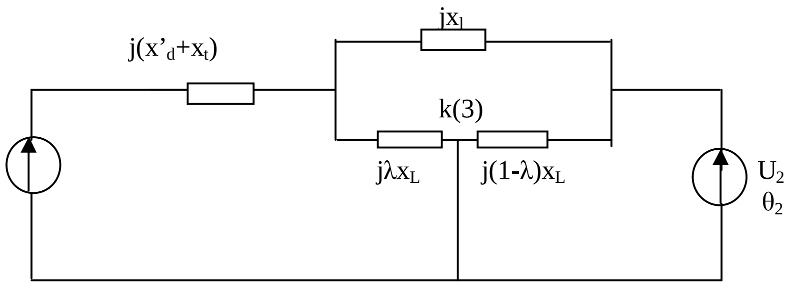
1. La timpul T=0 cind generatorul functioneaza in RP bine precizat, un scurtcircuit trifazat la pamant apare pe circuitul L_2 al liniei dublucircuit. Reactanta liniei in partea stanga a defectului este λx_1.
2. Pentru unghiul $\delta=\delta_{dec}$ respectiv la timpul $t=t_{dec}$ intreruptoarele la cele 2 capete ale circuitului avariat se deschid si circuitul este pierdut. Intre unghiurile $\delta=0$ si $\delta=\delta_{dec,}$ respectiv timpii t=0 si $t=t_{dec}$ dureaza regimul de avarie, iar pentru $\delta>\delta_{dec}$ respectiv $t=t_{dec}$ dureaza regimul de postavarie.
3. Celelalte elemente ale retelei au fost modelate ca si pina acum numai prin reactante inductive longitudinale, conform schemelor electrice de principiu si schemelor echivalente de functionare sunt prezentate in continuare.



Schema electrica de principiu



Schema electrica echivalenta pentru RPN



Pentru RPN: $x'' = x'_d + x_T + x_L/2$

$$p'' = \frac{E'U_2}{x''}\sin(\delta')$$

cu E'-t.e.m. ct in spatele reactantei tranzitorii

δ'-argumentul t.e.m. E'

U_2-tensiunea in punctu 2 de putere infinita.

Sa presupunem ca se produce un scurtcircuit trifazat cu pamantul pe un ul din circuitele liniei dublu circuit, puterea debitata la bornele generatorului sincron se poate scrie in functie de reactanta x_a din timpul avariei.

Conform teremei lei Thevenim, avem:

$$x^a = x'_d + x_T + x_L + \frac{(x'_d + x_T)x_L}{\lambda x_L}$$

$$p^a = \frac{E'U_2}{x^a}\sin(\delta')$$

Presupunand ca se deconecteaza circuitul cu defect, noua reactanta devine:

$$x^{pa} = x'_d + x_T + x_L$$

$$p^{pa} = \frac{E'U_2}{x^{pa}}\sin(\delta')$$

Se observa ca puterea debitata dupa deconectarea defectului este mai mica decat in RPN (creste reactanta echivalenta a sistemului). Aceasta face ca pulsatia sa creasca, adica generatorul capata turatie suprasincrona=> $P_m - P_e = P_{acc} < 0$, creste unghiul rotoric δ'. Pentru $\delta = \delta_{dec} = \delta_{cr}$ are loc deconectarea avariei si se face cu functionarea pe caracteristica post-avarie.

Dupa acest moment $P_m - P_e = P_{acc} < 0$ si turatia devine negativa. Procesul se reia pina cand in functie de prezenta sau absenta amortizarii in modulul matematic, unghiul intern se stabilizeaza la valoarea corespunzatoare regimului post-avarie sau variaza la infinit cu aceeasi amplitudine.

Conform principiului ariilor egale, cind aria de accelerare este mai mica decait aria de frinare sistemul este stabil: $A_{acc} \leq A_{franare}$. Daca nu se tine seama de amorizare, aceasta afirmatie este exprimata matematic prin relatia:

$$\int_{\delta_o}^{\delta_{cr}} (P_m - P_a) \leq \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{pa}} (P_{PA} - P_{mec})$$

unde : P_{mec}- puterrea mecanica la bornele generatorului sincron;

P_{av}-puterea electrica debitata in timpul avariei;

$P_{e\ max\ av}$-maximul de putere electrica debitata in timpul avariei;

$P_{PA}= P_{e\ max\ pa}\sin\delta$ - puterea electrica debitata dupa deconectarea liniei avariate;

$P_{e\ max\ pa}$- maximul de putere electrica debitata dupa deconectarea liniei avriate.

<u>Locul scurtcircuitului trifazat se gaseste la barele de inalta tensiune al centralei electrice (**λ=0**)</u>

In acest caz reactanta echivalenta de transfer in regim de avarie este:

$$x^a = x'_d + x_T + x_L + \frac{(x'_d + x_T)x_L}{0 \cdot x_L} = \infty$$

$$p^a = \frac{E^{'}U_2}{x^a} \sin\delta$$

In aceste conditii, puterea mecanica la arborele turbinei fiind aceeasi, generatorul se accelereaza si unghiul rotoric δ creste ceea ce conduce la pierderea stabilitatii dac nu se iau masuri de deconectare a liniei cu defect. Deconectarea liniei cu defect conduce la o noua configuratie a retelei, rezultand trecerea punctului de functionare de pe caracteristica de avrie pe cea de post-avarie. Reactanta echivalenta post-avarie este:

$$x^{pa} = x'_d + x_T + x_L = 0.2422$$

problema care se pune este cat de tarziu se poate deconecta defectul astfel incat generatorul sa nu-si piarda stabilitatea. Unghiul critic la care se face deconectarea este δ_{cr} in calculul caruia consideram ca aria de accelerare este cel mult egala cu aria de franare.

$$\int_{\delta_o}^{\delta_{cr}} (P_{mec} - P_{av}) - \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{pa}} (P_{pa} - P_{mec}) = 0$$

$$x^{''} = x'_d + x_T + x_L / 2$$

$P_N=P_{mec}$ = 2,2492

λ=0 $$x^{a} = x'_{d} + x_{T} + x_{L} + \frac{(x'_{d} + x_{T})x_{L}}{0 \cdot x_{L}} = \infty$$

$$p^{a} = \frac{E^{'}U_{2}}{\infty}\sin\delta = 0$$

p^a=0 x^{pa}=0,2422 δ_o=0.4454

$$P_{mec}(\delta_{cr} - \delta_{o}) = \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{pa}} (\frac{E^{'}U_{2}}{x^{pa}}\sin\delta - P_{mec})d\delta$$

δ_b=3,14-0,4454

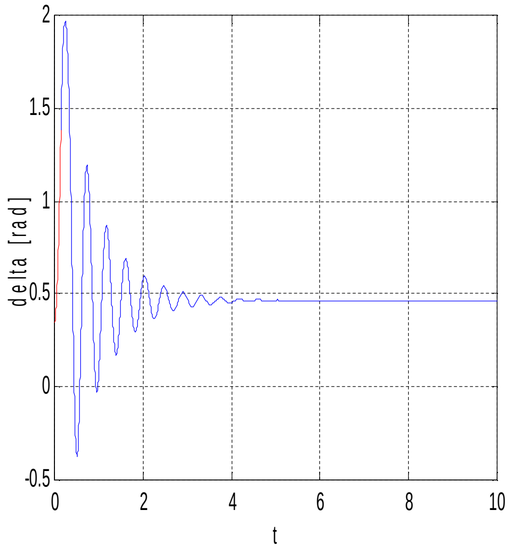
$$P_{mec}(\delta_{cr} - 0.4454) = \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{b}} \frac{E^{'}U}{x^{pa}}\sin\delta d\delta - \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{b}} P_{mec} d\delta$$

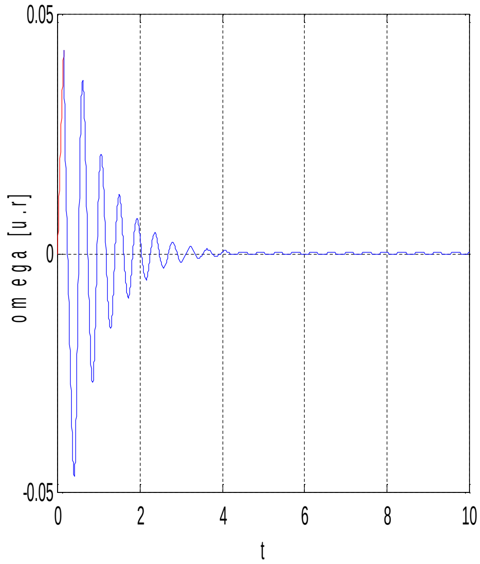
$$P_{mec}(\delta_{cr} - 0.4454) = \frac{E^{'}U}{x^{pa}}\int_{\delta_{cr}}^{\delta_{b}} \sin\delta d\delta - \int_{\delta_{cr}}^{\delta_{b}} P_{mec} d\delta$$

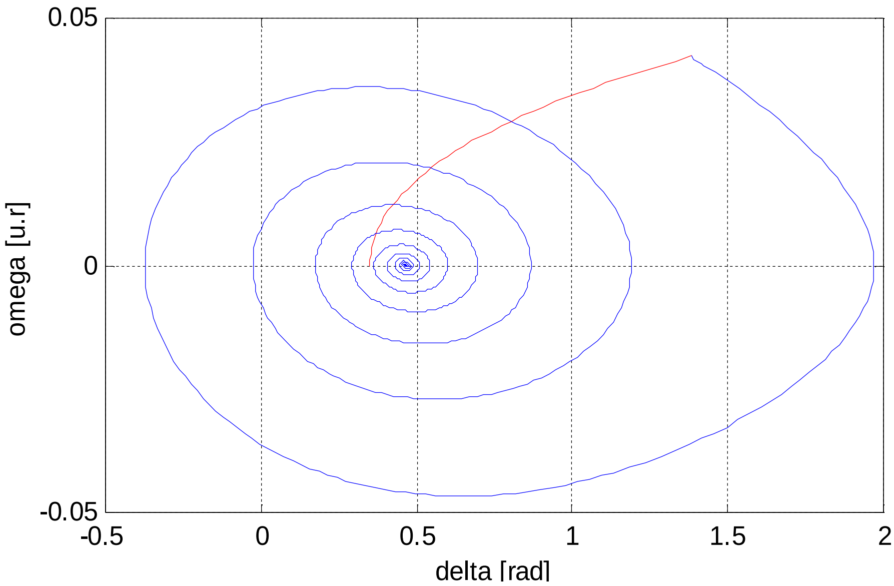
$$P_{mec}(\delta_{cr} - 0.4454) = \frac{E^{'}U}{x^{pa}}\cos\delta\Big|_{\delta_{cr}}^{\delta_{b}} - P_{mec}\Big|_{\delta_{cr}}^{\delta_{b}}$$

$$P_{mec}2.2492 + \frac{E^{'}U}{x^{pa}}\cos 2.6946 = \frac{E^{'}U}{x^{pa}}\delta_{cr}$$

$$\delta_{cr} = \arccos\frac{0,7397}{4,4429} = 1,4055$$







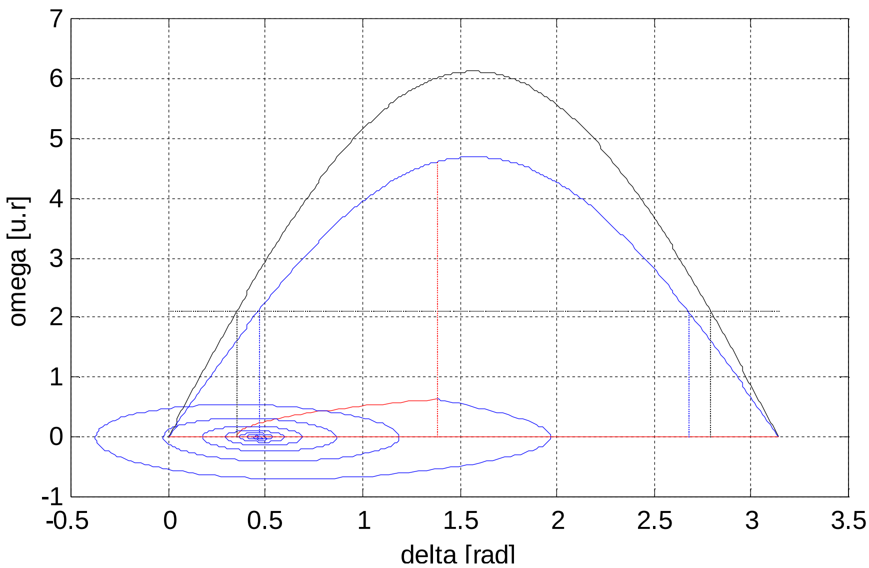
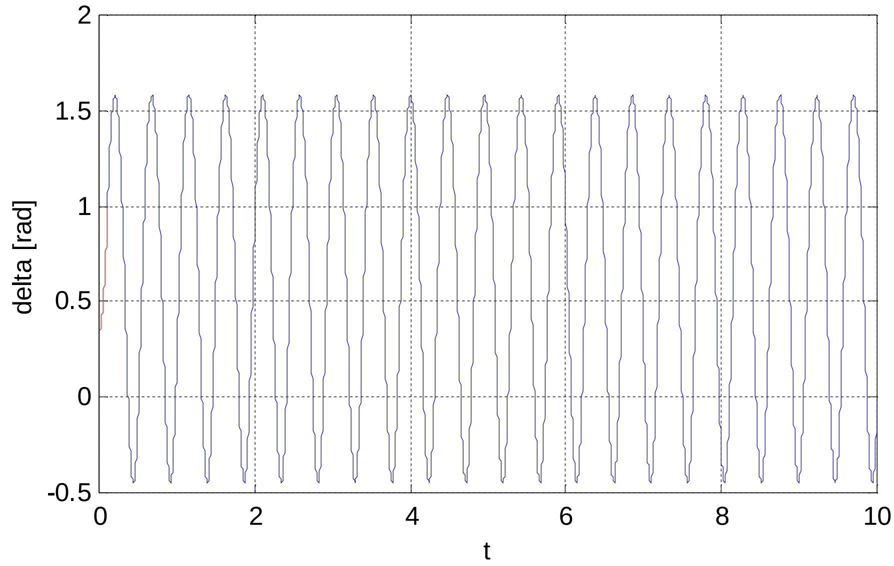
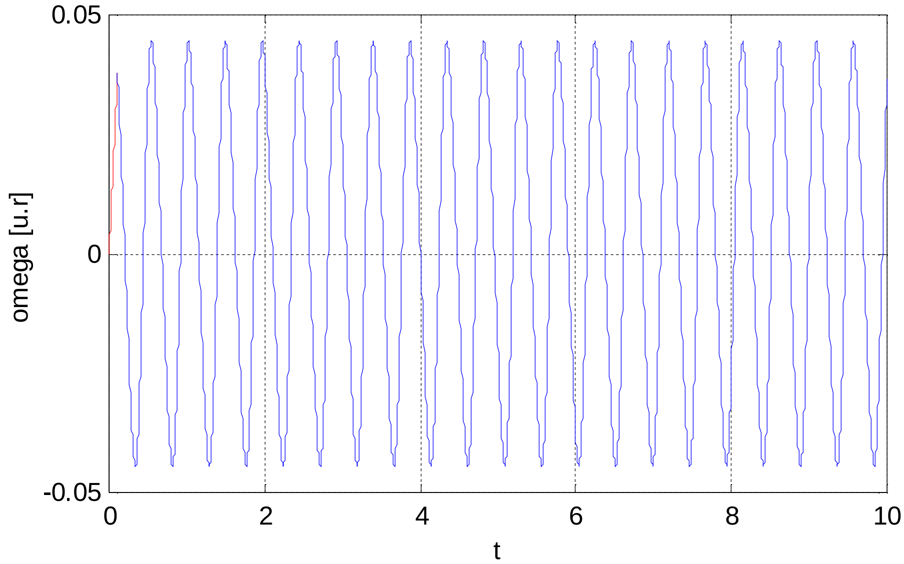
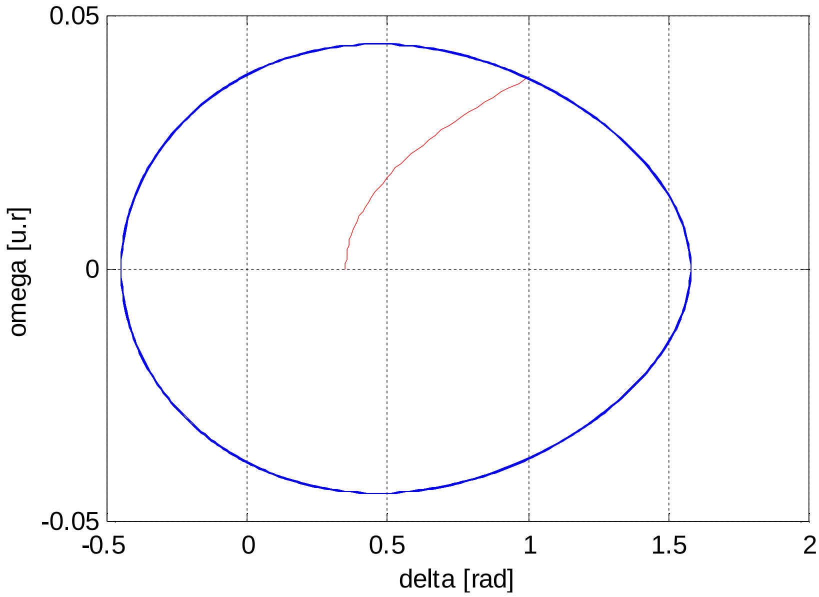


Fig 6.1.1Pentru cazul 1 (λ=0), amortizare pozitiva (D>0), timpul de rulare 10 s, $t_{dec}=t_{cr}$.


delta [rad]
t
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
0
2
4
6
8
10


omega [u.r]
t
0.05
0
-0.05
0
2
4
6
8
10


omega [u.r]
delta [rad]
0.05
0
-0.05
-0.5
0
0.5
1
1.5
2

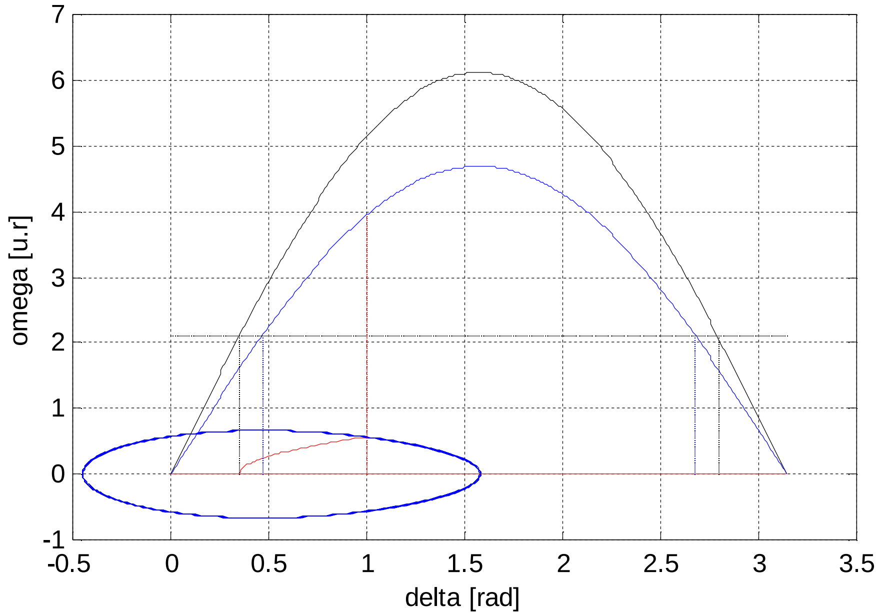
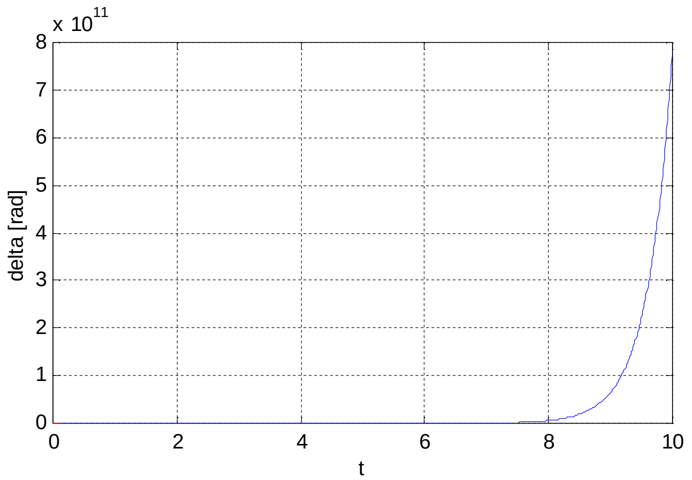
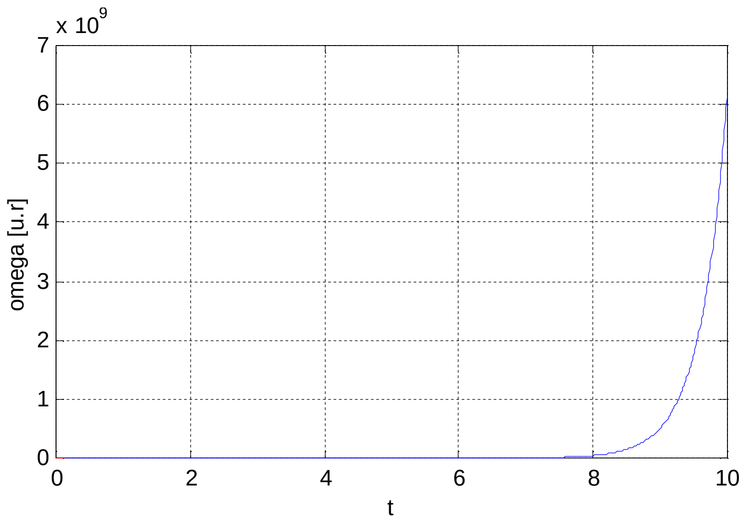
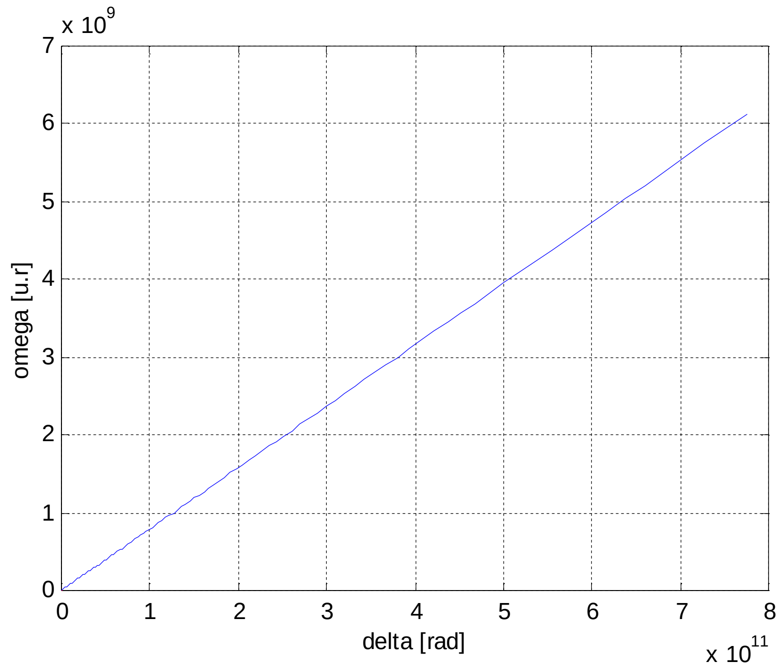


Fig 6.1.0 Pentru cazul 1 (λ=0), amortizare D=0, timpul de rulare 10 s, $t_{dec}=t_{cr}$.







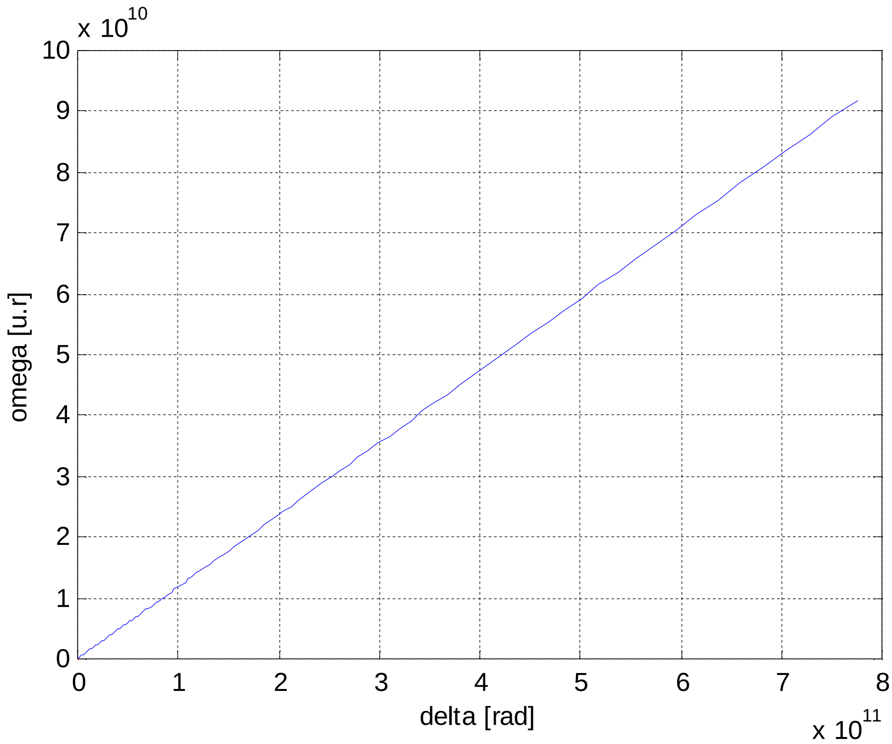


Fig 6.1.-1.Pentru cazul 1 (λ=0), amortizare D<0, timpul de rulare 10 s, $t_{dec}=t_{cr}$.

Locul scurtcircuitului trifazat se gaseste intre bornele de inalta tensiune ale centralei electrice si locul determinat de λ_1**($\lambda = \lambda_1/2$)**

Punand conditia ca maximul puterii electrice debitata de generatorul sincron in timpul avariei sa fie cel mult egala cu P_m la arborele generatorului, se determina distanta pina la locul de defect notata cu $\lambda_1 x$. Valoarea lui λ_1 se determina astfel:

$$P_{mec} = \frac{E' U_2}{x^a} = P^{a\max}$$

$$\frac{E' U_2}{x'_d + x_T + x_L + \dfrac{(x'_d + x_T) x_L}{\lambda_1 \cdot x_L}} - P_{mec} = 0$$

$\lambda_1 = 0.4323$

In acest caz reactanta echivalenta nu mai este infinita:

$$x^a = x'_d + x_T + x_L + \frac{(x'_d + x_T) x_L}{\lambda \cdot x_L}$$

$$P^a = \frac{E' U_2}{x^a} \sin\delta \quad \text{,expresia caracteristii de avarie}$$

$\delta_{cr} = 1{,}6401$ $t_{dec} = 0{,}2176$

Unghiul critic de deconectare este mai mare decat in cazul 1, ceea ce inseamna ca stabilitatea se imbunatateste.

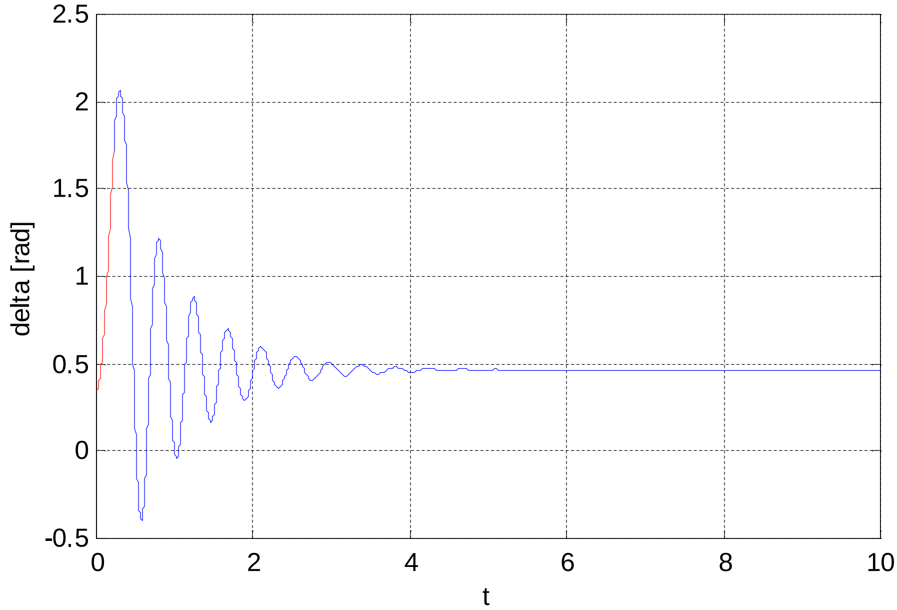
$P^n_{max} = 6{,}1172$ u.r.

$P^{PA}_{max} = 4{,}6882$ u.r.

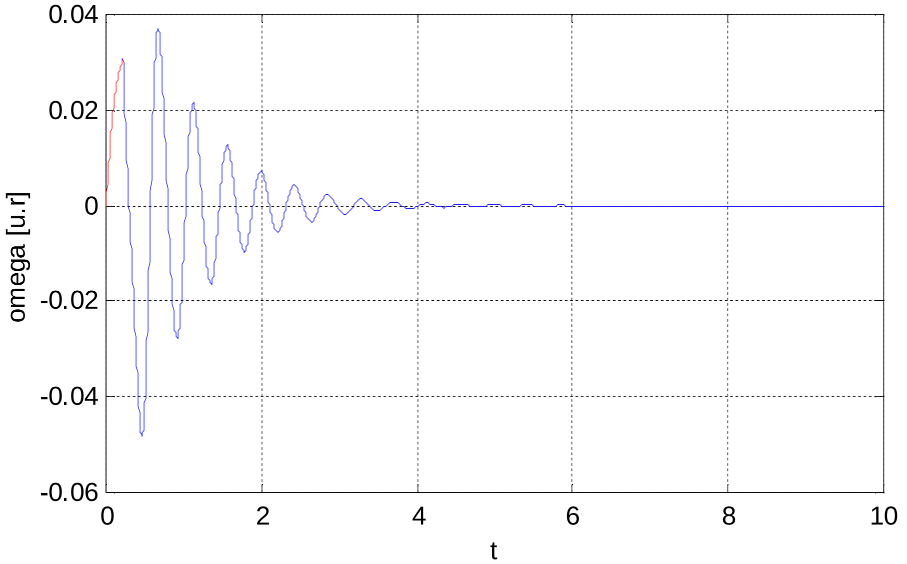
$P^N = 2{,}1$ u.r.

$P^a = 1{,}3006$ u.r

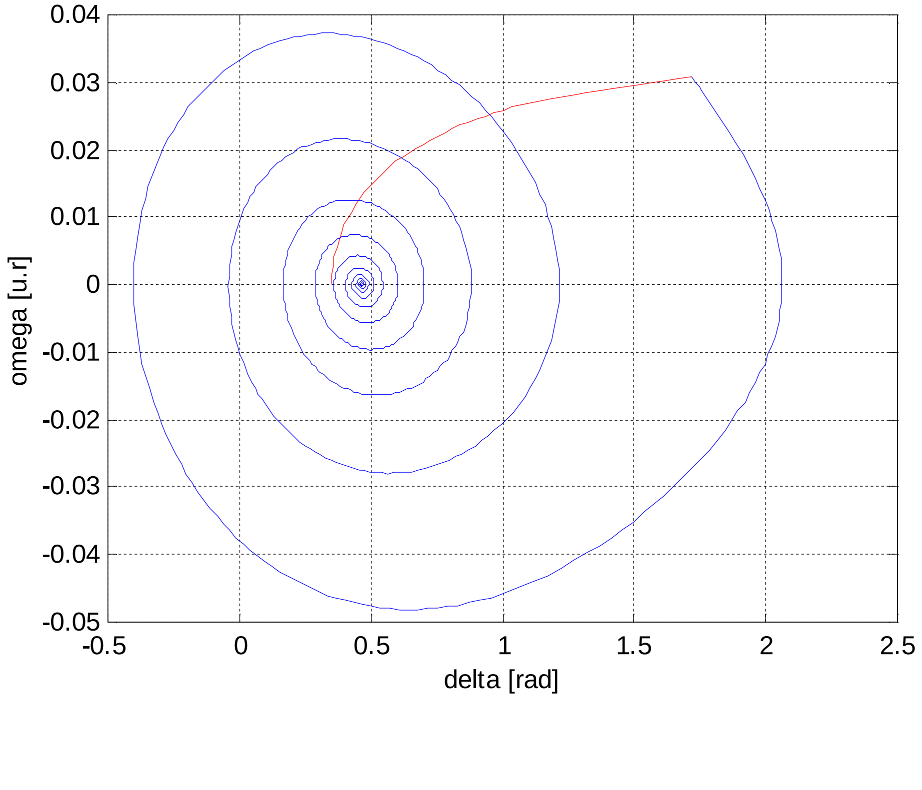
a)



b)


0.04
0.02
0
-0.02
-0.04
-0.06
omega [u.r]
0
2
4
6
8
10
t

c)


0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
-0.02
-0.03
-0.04
-0.05
omega [u.r]
-0.5
0
0.5
1
1.5
2
2.5
delta [rad]

d)

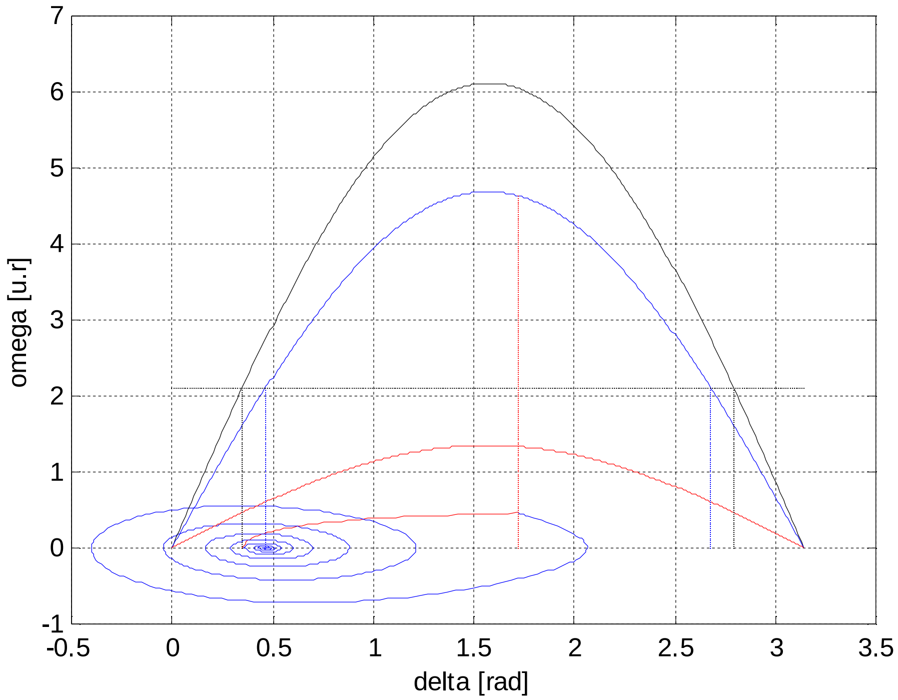


Fig. 6.2.1 Caracteristicile putere-unghi de regim normal, de avarie, de postavarie si ariile de accelerare, respectiv franare pentru cazul 2, amortizare pozitiva (D>0)

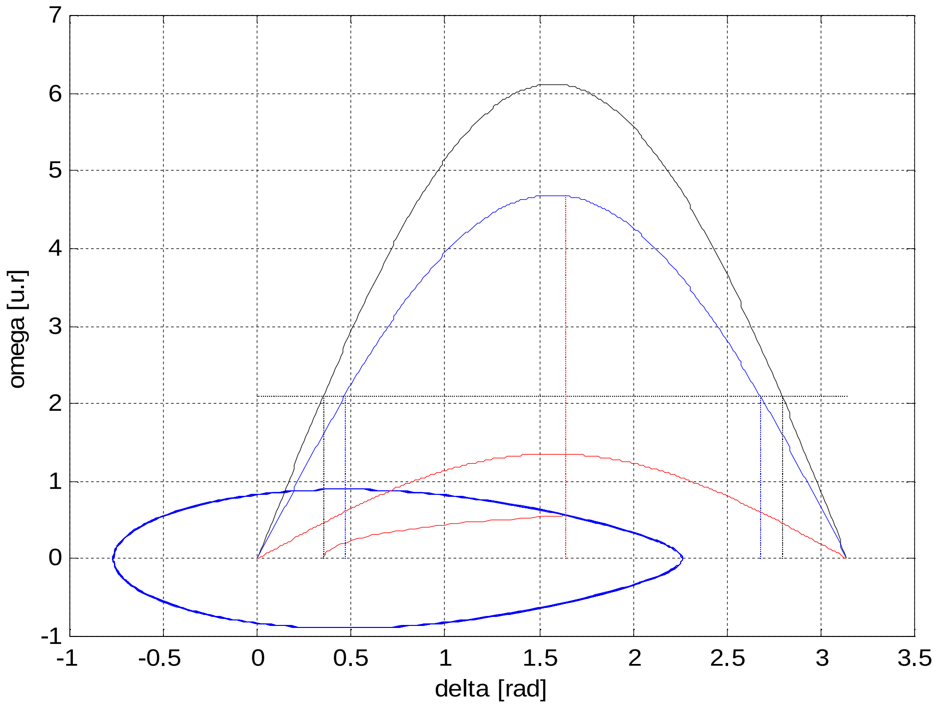


Fig. 6.2.0 Caracteristicile putere-unghi de regim normal, de avarie, de postavarie si ariile de accelerare, respectiv franare pentru cazul 2, fara amortizare (D=0)

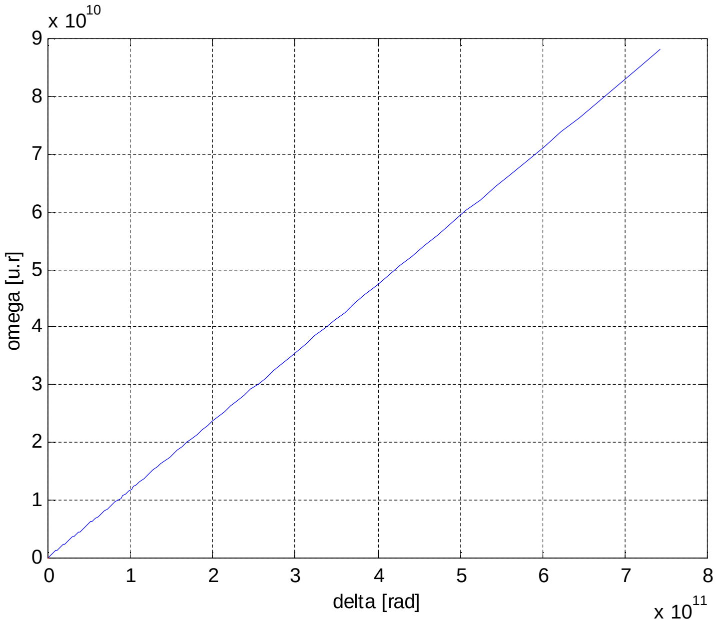


Fig. 6.2.-1 Caracteristicile putere-unghi pentru cazul 2, amortizare negativa (D<0)

Locul scurtcircuitului trifazat se gaseste in locul determinat de λ_1(**λ= λ_1**)

Punand conditia ca maximul puterii electrice debitata de generatorul sincron in timpul avariei sa fie cel mult egala cu P_m la arborele generatorului, se determina distanta pina la locul de defect notata cu λ_1x. Valoarea lui λ_1 se determina astfel:

λ_1=0.4323

$$x^a = x'_d + x_T + x_L + \frac{(x'_d + x_T)x_L}{\lambda \cdot x_L} = 0{,}5406$$

$$\frac{E'U_2}{x'_d + x_T + x_L + \frac{(x'_d + x_T)x_L}{\lambda_1 \cdot x_L}} - P_{mec} = 0$$

$$P^a = \frac{E'U_2}{x^a}\sin\delta$$,expresia caracteristii de avarie

δ_{cr}=2,1 este mai mare decat in cazul 2

t_{dec}=0,3581 este mai buna, creste implicit si timpul critic de deconectare.

Cu cat locul de defect este mai indepartat de barele centralei cu atat unghiul maxim necesar indepartarii defectului pentru pastrarea stabilitatii este mai mare.

P^n_{max}=6,1172 u.r.; P^{PA}_{max}=4,6882 u.r.; P^N=2,1 u.r.; P^a=2,1 u.r

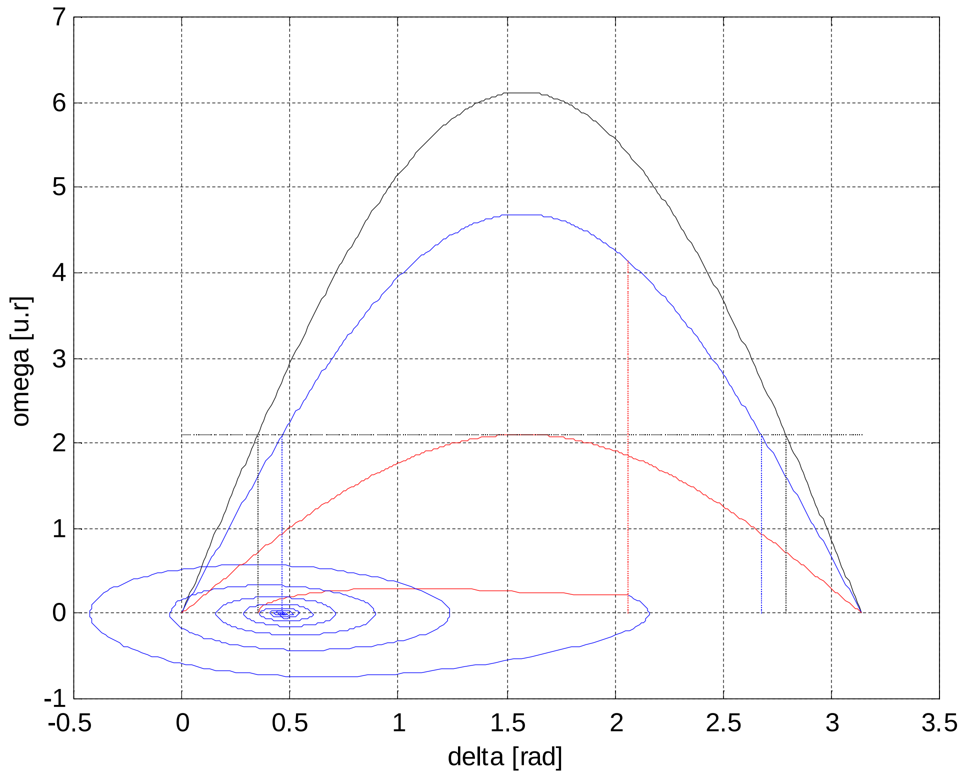


Fig. 6.3.1 Caracteristicile putere-unghi de regim normal, de avarie, de postavarie si ariile de accelerare, respectiv franare pentru cazul 3, amortizare pozitiva (D>0)

Locul scurtcircuitului trifazat se gaseste intre punctul determinat de λ_1 si locul determinat de λ_2 ($\lambda = \dfrac{\lambda_1 + \lambda_2}{2}$)

In aceasta situatie se observa prezenta ariei de decelerare in timpul avariei. Conditia cu care se determina acest interval se refera la egalitate ariei de accelerare si a ariei de decelerare in timpul avariei. Aceasta noua distanta este reflectat prin valoarea λ_2 si se determina punand conditiile:

$$\int_{\delta_{an}}^{\delta_{aa}} \left(P_{mec} - \frac{E^{'}U_2}{x'_d + x_T + x_L + \dfrac{(x'_d + x_T)x_L}{\lambda_2 \cdot x_L}} \sin\delta \right) d\delta - \int_{\delta_{aa}}^{\delta_{ba}} \left(\frac{E^{'}U_2}{x'_d + x_T + x_L + \dfrac{(x'_d + x_T)x_L}{\lambda_1 \cdot x_L}} \sin\delta - P_{mec} \right) d\delta = 0$$

$$P_{mec} = \frac{E^{'}U_2}{x'_d + x_T + x_L + \dfrac{(x'_d + x_T)x_L}{\lambda_2 \cdot x_L}} \sin\delta_{aa}$$

λ_2 =0.6310

δ_{cr}=2,3 este mai mare decat in cazul 3

Cu cat locul de defect este mai indepartat de barele de inalta tensiune, scade reactanta echivalenta in timpul avariei, puterea electrica debitata in timpul avariei creste, creste si stabilitatea generatorului la mari perturbatii.

P^n_{max}=6,1172 u.r.; P^{PA}_{max}=4,6882 u.r.; P^N=2,1 u.r.; P^a=2,4431 u.r

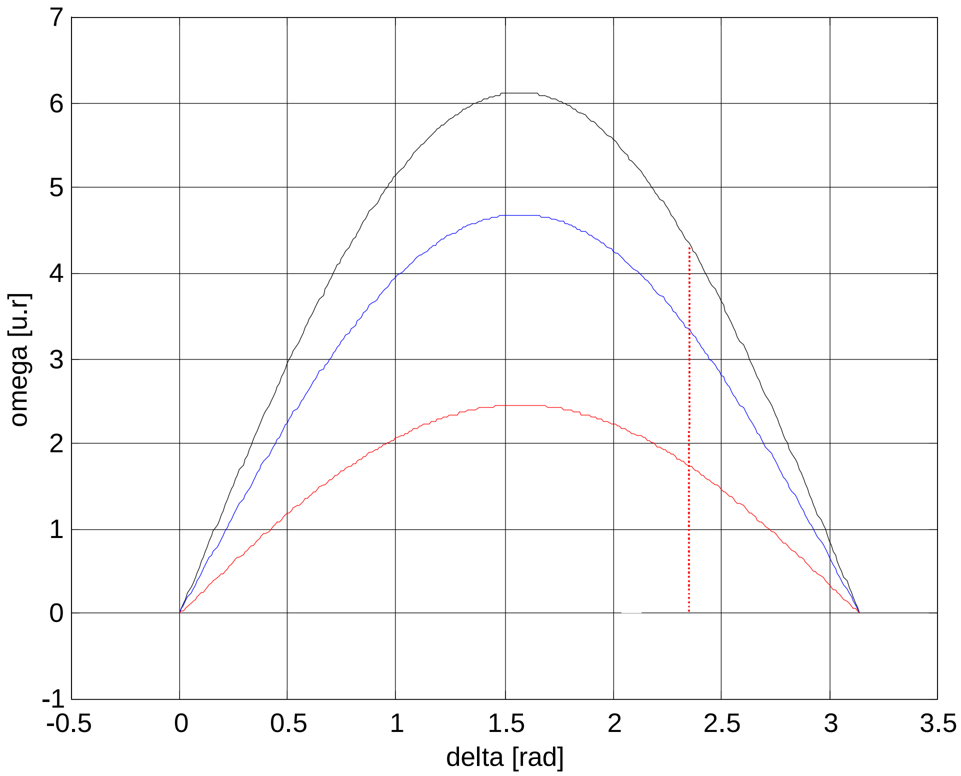


Fig. 6.4.1 Caracteristicile putere-unghi de regim normal, de avarie, de postavarie si ariile de accelerare, respectiv franare pentru cazul 4, amortizare pozitiva (D>0)

<u>Legea ariilor pentru $\lambda=\lambda_2$</u>

In cazul in care aria de accelerare cuprinsa intre caracteristica de putere mecanica si caracteristica de avarie este egala cu aria de franare, cuprinsa intre caracteristica de avarie si putere mecanica (cazul de fata), pentru a pastra stabilitatea generatorului nu mai este necesara deconectarea defectului de pe linia de transport – indepartarea defectului se va face din alte considerente cum ar fi: nivelul de tensiune; securitatea instlatiilor electrice si functionarea consumatorilor.

λ_2=0.6310

$$x^a = x'_d + x_T + x_L + \frac{(x'_d + x_T)x_L}{\lambda \cdot x_L} = 0{,}4466$$

$P_m = P^a = \frac{E^{'}U_2}{x^a}\sin\delta_{max}$,expresia caracteristii de avarie

$=>\delta_{max}=2,2103$

$P^n_{max}=6,1172$ u.r.; $P^{PA}_{max}=4,6882$ u.r.; $P^N=2,1$ u.r.; $P^a=2,5110$ u.r

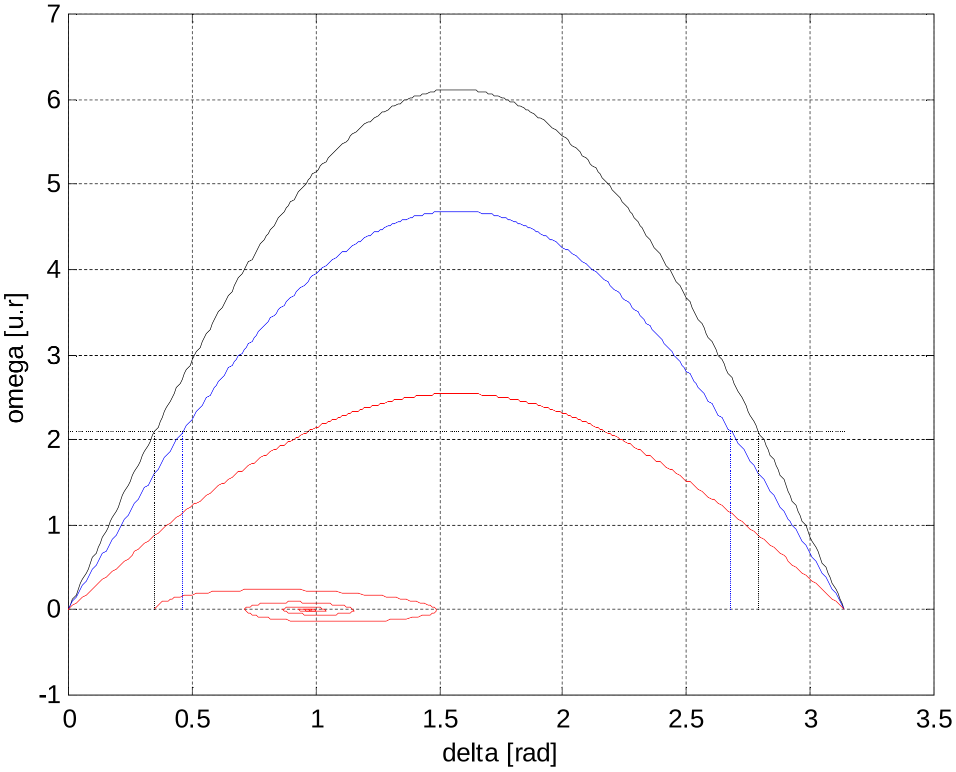


Fig. 6.5.1 Caracteristicile putere-unghi de regim normal, de avarie, de postavarie si ariile de accelerare, respectiv franare pentru cazul 5, amortizare pozitiva (D>0)

Legea ariilor pentru $\lambda>\lambda_2$

In acest caz avem situatia in care aria de accelerare cuprinsa sub caracteristica de putere mecanica si caracteristica de avarie este mai mica decat aria de franare, cuprinsa intre caracteristica de avarie si putere mecanica. Acest caz corespunde lui $\lambda>\lambda_2$, $\lambda = \frac{\lambda_2 + 1}{2}$=0,8155.

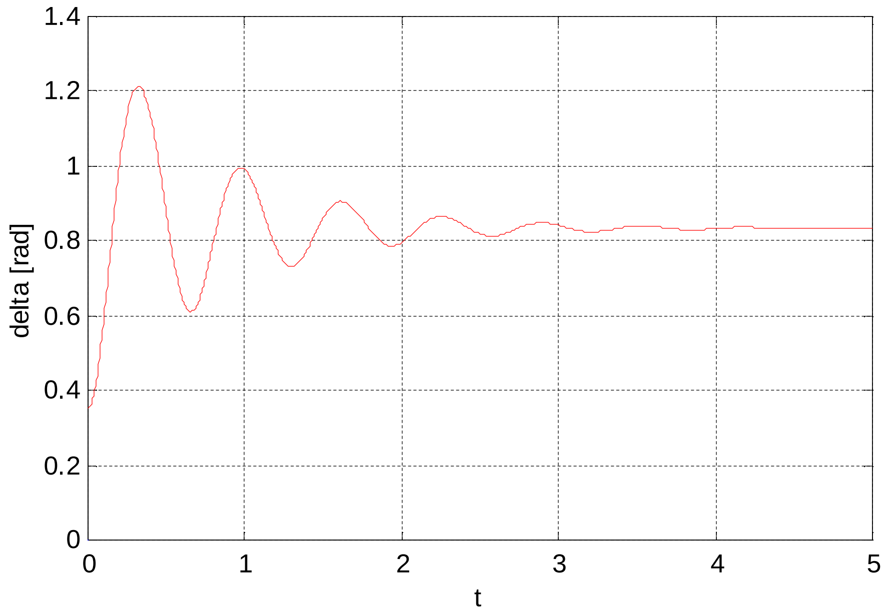
Nu se mai impune deconectarea deoarece generatorul este stabil, putind functiona in continuare cu defectul pe linie

λ_2=0.6310

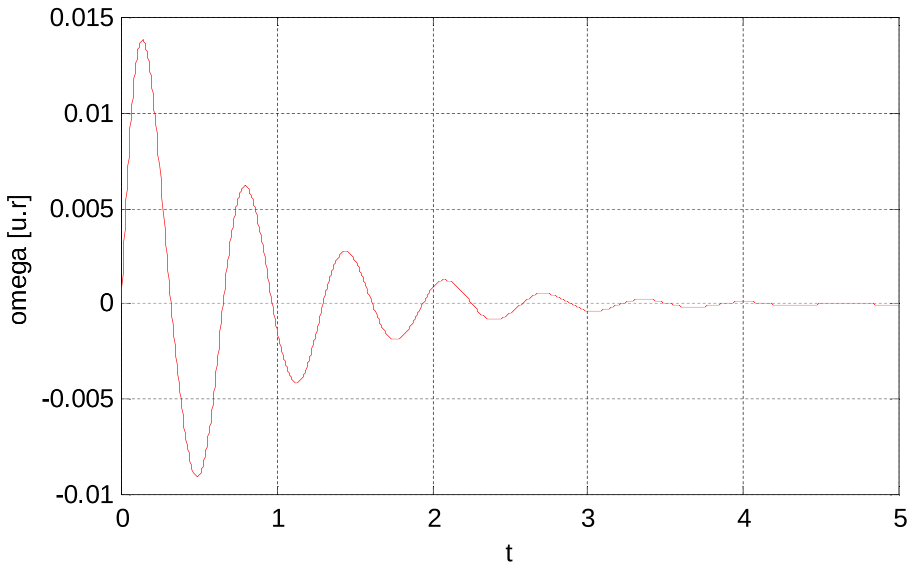
$$x^{a} = x'_{d} + x_{T} + x_{L} + \frac{(x'_{d} + x_{T})x_{L}}{\lambda \cdot x_{L}} = 0{,}4003$$

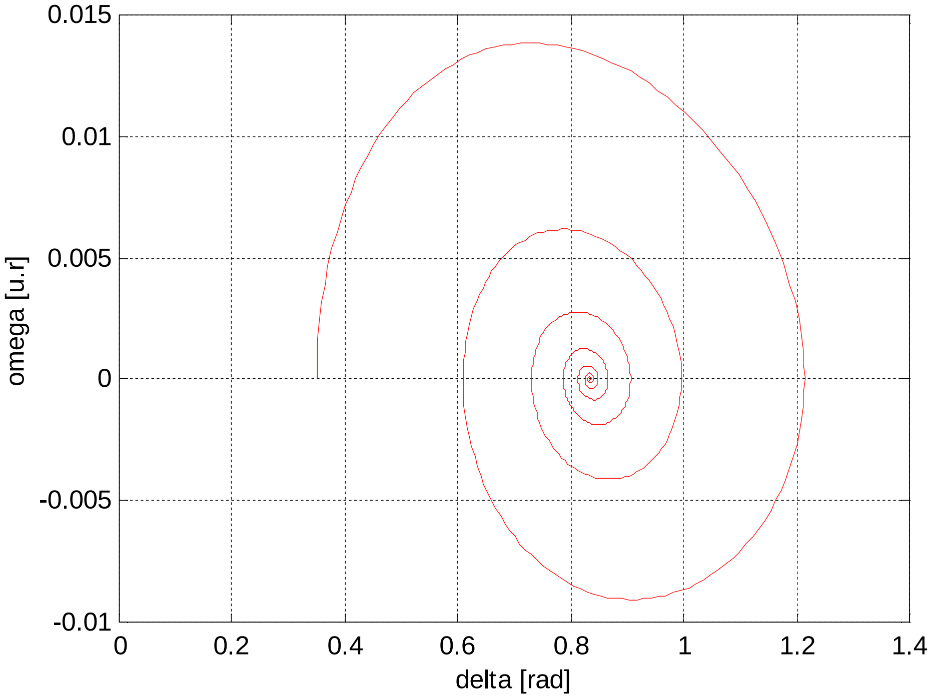
P^{n}_{max}=6,1172 u.r.; P^{PA}_{max}=4,6882 u.r.; P^{N}=2,1 u.r.; P^{a}=2,8012 u.r

a)

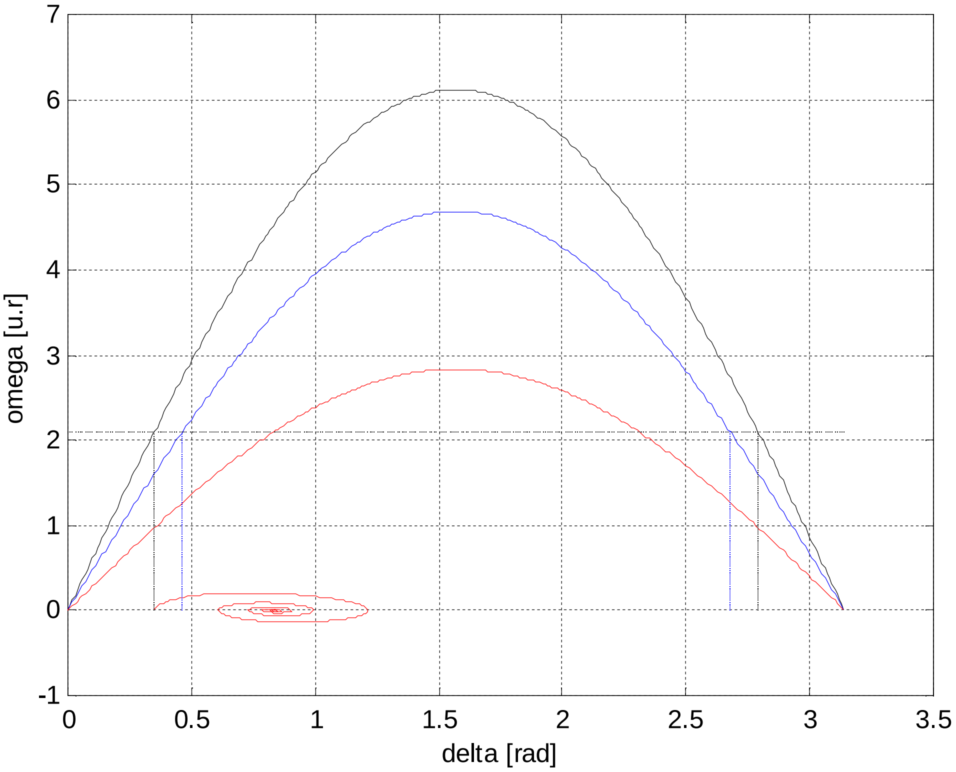


b)





c)



d)

Fig. 6.6.1 Caracteristicile putere-unghi de regim normal, de avarie, de postavarie si ariile de accelerare, respectiv franare pentru cazul 6, amortizare pozitiva (D>0)

In concluzie, legea ariilor ofera posibilitatea aprecierii caliative a fenomenului de stabilitate tranzitorie la schimbarea configuratiei retelei, daca generatorul este stabil cu defectul pe linie sau este instabil si atunci defectul trebuie eliminat, situatie in care se poate calcula unghiul critic de deconectare $\delta_{dec}=\delta_{cr}$.