

Estabilizadores Derivados da Potência Elétrica

Prof. Antonio Simões Costa

Grupo Sist. Potência - UFSC

Principais Tipos de Sinais Estabilizadores

- Sinais estabilizadores para melhoria do amortecimento de oscilações de baixa frequência em Sistemas de Potência têm sido derivado a partir das seguintes quantidades:

Principais Tipos de Sinais Estabilizadores

- Sinais estabilizadores para melhoria do amortecimento de oscilações de baixa frequência em Sistemas de Potência têm sido derivado a partir das seguintes quantidades:
 - Velocidade do eixo do gerador, ω_G ;

Principais Tipos de Sinais Estabilizadores

- Sinais estabilizadores para melhoria do amortecimento de oscilações de baixa frequência em Sistemas de Potência têm sido derivado a partir das seguintes quantidades:
 - Velocidade do eixo do gerador, ω_G ;
 - Frequência medida na barra terminal da máquina, f ;

Principais Tipos de Sinais Estabilizadores

- Sinais estabilizadores para melhoria do amortecimento de oscilações de baixa frequência em Sistemas de Potência têm sido derivado a partir das seguintes quantidades:
 - Velocidade do eixo do gerador, ω_G ;
 - Frequência medida na barra terminal da máquina, f ;
 - Potência elétrica de saída do gerador, P_e ;

Principais Tipos de Sinais Estabilizadores

- Sinais estabilizadores para melhoria do amortecimento de oscilações de baixa frequência em Sistemas de Potência têm sido derivado a partir das seguintes quantidades:
 - Velocidade do eixo do gerador, ω_G ;
 - Frequência medida na barra terminal da máquina, f ;
 - Potência elétrica de saída do gerador, P_e ;
 - Potência acelerante sintetizada a partir de ω_G e P_e .

Deficiências dos sinais derivados da Velocidade

- Para produzir o amortecimento desejado, a $FT ESP_w(s)$ deve apresentar características de *avanço de fase*;

Deficiências dos sinais derivados da Velocidade

- Para produzir o amortecimento desejado, a $FT ESP_w(s)$ deve apresentar características de *avanço de fase*;
- FTs desta natureza tendem a *amplificar sinais de frequência mais alta* que as frequências de interesse, e conseqüentemente provocar problemas do tipo:

Deficiências dos sinais derivados da Velocidade

- Para produzir o amortecimento desejado, a $FT ESP_w(s)$ deve apresentar características de *avanço de fase*;
- FTs desta natureza tendem a *amplificar sinais de frequência mais alta* que as frequências de interesse, e conseqüentemente provocar problemas do tipo:
 - Amplificação de *ruídos de medição*;

Deficiências dos sinais derivados da Velocidade

- Para produzir o amortecimento desejado, a $FT ESP_w(s)$ deve apresentar características de *avanço de fase*;
- FTs desta natureza tendem a *amplificar sinais de frequência mais alta* que as frequências de interesse, e conseqüentemente provocar problemas do tipo:
 - Amplificação de *ruídos de medição*;
 - Em turbogeradores, possibilidade de *interação torsional*, isto é, interação dos modos do estabilizador com modos associados ao eixo mecânico da unidade.

Deficiências dos sinais derivados da Velocidade

- Para produzir o amortecimento desejado, a $FT ESP_w(s)$ deve apresentar características de *avanço de fase*;
- FTs desta natureza tendem a *amplificar sinais de frequência mais alta* que as frequências de interesse, e conseqüentemente provocar problemas do tipo:
 - Amplificação de *ruídos de medição*;
 - Em turbogeradores, possibilidade de *interação torsional*, isto é, interação dos modos do estabilizador com modos associados ao eixo mecânico da unidade.
- Para prevenir estes efeitos, faz-se necessária a utilização de filtros *passa-baixas* e *passa-faixa* no canal do sinal estabilizador;

Deficiências dos sinais derivados da Velocidade

- Para produzir o amortecimento desejado, a $FT\ ESP_w(s)$ deve apresentar características de *avanço de fase*;
- FTs desta natureza tendem a *amplificar sinais de frequência mais alta* que as frequências de interesse, e conseqüentemente provocar problemas do tipo:
 - Amplificação de *ruídos de medição*;
 - Em turbogeradores, possibilidade de *interação torsional*, isto é, interação dos modos do estabilizador com modos associados ao eixo mecânico da unidade.
- Para prevenir estes efeitos, faz-se necessária a utilização de filtros *passa-baixas* e *passa-faixa* no canal do sinal estabilizador;
- O projeto e sintonia desses filtros é uma tarefa delicada adicional a ser realizada pelo projetista do ESP .

Sinal derivado da Frequência

- Possui as mesmas características de fase do sinal da velocidade, e portanto o procedimento de projeto é basicamente o mesmo;

Sinal derivado da Frequência

- Possui as mesmas características de fase do sinal da velocidade, e portanto o procedimento de projeto é basicamente o mesmo;
- Apresenta algumas vantagens com respeito à velocidade, tais como:

Sinal derivado da Frequência

- Possui as mesmas características de fase do sinal da velocidade, e portanto o procedimento de projeto é basicamente o mesmo;
- Apresenta algumas vantagens com respeito à velocidade, tais como:
 - Facilidade de captação do sinal;

Sinal derivado da Freqüência

- Possui as mesmas características de fase do sinal da velocidade, e portanto o procedimento de projeto é basicamente o mesmo;
- Apresenta algumas vantagens com respeito à velocidade, tais como:
 - Facilidade de captação do sinal;
 - Maior sensibilidade a oscilações do rotor quanto o sistema de transmissão é fraco (alto x_e) \Rightarrow maior eficácia do sinal estabilizador nas condições em que mais se necessita do sinal;

Sinal derivado da Frequência

- Possui as mesmas características de fase do sinal da velocidade, e portanto o procedimento de projeto é basicamente o mesmo;
- Apresenta algumas vantagens com respeito à velocidade, tais como:
 - Facilidade de captação do sinal;
 - Maior sensibilidade a oscilações do rotor quanto o sistema de transmissão é fraco (alto x_e) \Rightarrow maior eficácia do sinal estabilizador nas condições em que mais se necessita do sinal;
 - Sendo a frequência uma quantidade sistêmica, este sinal é mais sensível modos interáreas, abrindo a possibilidade do *ESP* também contribuir para o amortecimento desses modos (em adição ao modo local).

Sinal derivado da Freqüência

- Possui as mesmas características de fase do sinal da velocidade, e portanto o procedimento de projeto é basicamente o mesmo;
- Apresenta algumas vantagens com respeito à velocidade, tais como:
 - Facilidade de captação do sinal;
 - Maior sensibilidade a oscilações do rotor quanto o sistema de transmissão é fraco (alto x_e) \Rightarrow maior eficácia do sinal estabilizador nas condições em que mais se necessita do sinal;
 - Sendo a freqüência uma quantidade sistêmica, este sinal é mais sensível modos interáreas, abrindo a possibilidade do *ESP* também contribuir para o amortecimento desses modos (em adição ao modo local).
- Por outro lado, sofre dos mesmos problemas do sinal de velocidade na faixa de freqüências mais altas que as dos modos de interesse.

Motivação para o uso de sinais derivados da Aceleração

- Para produzir torque de amortecimento, $ESP_w(s)$ deve compensar o *atraso de fase* da $FT_{GEP}(s)$ na frequência do modo local ESP_w ;
- O avanço de fase resultante dessa compensação é que produz os efeitos indesejados a altas frequências já mencionados;
- Se, alternativamente, o sinal fosse derivado da aceleração α (que está 90° *adiantada* de ω) a FT do ESP necessitaria de atraso, ao invés de avanço de fase $ESP_{acel.}$;
- É em geral mais fácil se produzir atraso de fase do que avanço de fase, sem produção de efeitos indesejáveis a altas frequências.

Dificuldades práticas para uso do ESP de Aceleração

- A captação direta de sinais derivados da aceleração com nível de ruído aceitável constitui-se em um desafio tecnológico;

- A captação direta de sinais derivados da aceleração com nível de ruído aceitável constitui-se em um desafio tecnológico;
- Por outro lado, é viável a síntese de sinais com *características similares à aceleração* a partir de

- A captação direta de sinais derivados da aceleração com nível de ruído aceitável constitui-se em um desafio tecnológico;
- Por outro lado, é viável a síntese de sinais com *características similares à aceleração* a partir de
 - medições de *potência elétrica*, ou

- A captação direta de sinais derivados da aceleração com nível de ruído aceitável constitui-se em um desafio tecnológico;
- Por outro lado, é viável a síntese de sinais com *características similares à aceleração* a partir de
 - medições de *potência elétrica*, ou
 - medições de *potência elétrica + velocidade*.

Sinal de Potência Elétrica como aproximação da Aceleração

- Da equação de balanço de potência no eixo da máquina, pode-se escrever:

$$\alpha(s) = \frac{1}{M} (\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s))$$

Sinal de Potência Elétrica como aproximação da Aceleração

- Da equação de balanço de potência no eixo da máquina, pode-se escrever:

$$\alpha(s) = \frac{1}{M} (\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s))$$

- Considerando que as variações de velocidade na faixa de frequências de interesse são desprezíveis:

$$\alpha(s) \approx \frac{1}{M} (-\Delta P_e(s))$$

Sinal de Potência Elétrica como aproximação da Aceleração

- Da equação de balanço de potência no eixo da máquina, pode-se escrever:

$$\alpha(s) = \frac{1}{M} (\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s))$$

- Considerando que as variações de velocidade na faixa de frequências de interesse são desprezíveis:

$$\alpha(s) \approx \frac{1}{M} (-\Delta P_e(s))$$

- Conclui-se que *a aceleração pode ser aproximada por um sinal derivado da potência elétrica (com polaridade invertida)*;

Sinal de Potência Elétrica como aproximação da Aceleração

- Da equação de balanço de potência no eixo da máquina, pode-se escrever:

$$\alpha(s) = \frac{1}{M} (\Delta P_m(s) - \Delta P_e(s))$$

- Considerando que as variações de velocidade na faixa de frequências de interesse são desprezíveis:

$$\alpha(s) \approx \frac{1}{M} (-\Delta P_e(s))$$

- Conclui-se que a aceleração pode ser aproximada por um sinal derivado da potência elétrica (com polaridade invertida);
- Portanto, a velocidade do eixo do rotor pode ser expressa como:

$$\omega_G(s) = \left(\frac{1}{s} \right) \alpha(s) \approx \frac{1}{M s} (-\Delta P_e(s))$$

Função de Transf. ideal do ESP de Potência Elétrica (I)

- Velocidade ω_G aproximada a partir da potência elétrica:

$$\omega_G(s) \approx \frac{1}{M_s} (-\Delta P_e(s))$$

- Como foi visto, idealmente a *Função de Transferência* do ESP derivado da velocidade seria dada por

$$ESP_{\omega,ideal}(s) = \frac{D_{PSS,\omega}}{GEP(s)}$$

- Nesse caso, o torque elétrico produzido pelo sinal estabilizador é laço ω

$$T_{PSS}(s) = GEP(s) \times ESP_{\omega,ideal}(s) \times \omega_G(s)$$

- Usando a aproximação de ω_G pela potência elétrica e $ESP_{\omega,ideal}(s)$

laço P_e :

$$T_{PSS}(s) = GEP(s) \times \left(\frac{D_{PSS,\omega}}{GEP(s)} \right) \times \frac{1}{M_s} \times (-\Delta P_e(s))$$

- Torque produzido pelo *ESP* com ω_G aproximado por $(-P_e)$:

$$T_{PSS}(s) = GEP(s) \times \left(\frac{D_{PSS,\omega}}{GEP(s)} \right) \times \frac{1}{M s} \times (-\Delta P_e(s))$$

- Torque produzido pelo *ESP* com ω_G aproximado por $(-P_e)$:

$$T_{PSS}(s) = GEP(s) \times \left(\frac{D_{PSS,\omega}}{GEP(s)} \right) \times \frac{1}{M s} \times (-\Delta P_e(s))$$

- que pode ser re-escrito como

$$T_{PSS}(s) = GEP(s) \times \underbrace{\left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)}_{ESP_{P_e,ideal}(s)} \times (-\Delta P_e(s))$$

- Torque produzido pelo *ESP* com ω_G aproximado por $(-P_e)$:

$$T_{PSS}(s) = GEP(s) \times \left(\frac{D_{PSS,\omega}}{GEP(s)} \right) \times \frac{1}{M s} \times (-\Delta P_e(s))$$

- que pode ser re-escrito como

$$T_{PSS}(s) = GEP(s) \times \underbrace{\left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)}_{ESP_{P_e,ideal}(s)} \times (-\Delta P_e(s))$$

- onde $D_{PSS,P_e} = D_{PSS,\omega} / M$. Portanto

$$ESP_{P_e,ideal}(s) = \left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)$$

$$ESP_{P_e,ideal}(s) = \left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)$$

- Na prática, o integrador de $ESP_{P_e,ideal}(s)$ é inviável, pois provocaria amplificação de efeitos de baixa frequência;

$$ESP_{P_e,ideal}(s) = \left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)$$

- Na prática, o integrador de $ESP_{P_e,ideal}(s)$ é inviável, pois provocaria amplificação de efeitos de baixa frequência;
- O integrador é portanto substituído por um bloco de atraso de fase com frequência de corte adequada;

$$ESP_{P_e,ideal}(s) = \left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)$$

- Na prática, o integrador de $ESP_{P_e,ideal}(s)$ é inviável, pois provocaria amplificação de efeitos de baixa frequência;
- O integrador é portanto substituído por um bloco de atraso de fase com frequência de corte adequada;
- Para reduzir a amplificação de ruídos de alta frequência, utilizam-se blocos de avanço-atraso, mas agora com características de *atraso de fase*;

$$ESP_{P_e,ideal}(s) = \left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)$$

- Na prática, o integrador de $ESP_{P_e,ideal}(s)$ é inviável, pois provocaria amplificação de efeitos de baixa frequência;
- O integrador é portanto substituído por um bloco de atraso de fase com frequência de corte adequada;
- Para reduzir a amplificação de ruídos de alta frequência, utilizam-se blocos de avanço-atraso, mas agora com características de *atraso de fase*;
- Ainda é recomendável que a *FT* do *ESP* real contenha um zero na origem, para prevenir *offset* da referência do regulador.

- A função de transferência do *ESP* real tem portanto a forma:

$$ESP_{P_e, \text{real}}(s) = K_{PSS} \times \frac{sT_w}{1 + sT_w} \times \frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \times \frac{1 + sT_3}{1 + sT_4}$$

com $T_1 < T_2$ e $T_3 < T_4$.

Características principais do ESP de Potência Elétrica

- Usa blocos que são predominantemente de *atraso de fase*, ao invés de blocos de avanço de fase usados com sinais derivados de ω_G ou f ;

Características principais do ESP de Potência Elétrica

- Usa blocos que são predominantemente de *atraso de fase*, ao invés de blocos de avanço de fase usados com sinais derivados de ω_G ou f ;
- Isto permite amortecimento similar ao produzido a partir de ω_G , porém com menores ganhos a altas frequências;

Características principais do ESP de Potência Elétrica

- Usa blocos que são predominantemente de *atraso de fase*, ao invés de blocos de avanço de fase usados com sinais derivados de ω_G ou f ;
- Isto permite amortecimento similar ao produzido a partir de ω_G , porém com menores ganhos a altas frequências;
- Conseqüência: fenômenos como amplificação de ruídos de alta frequência e interações torsionais são fortemente reduzidos;

Características principais do ESP de Potência Elétrica

- Usa blocos que são predominantemente de *atraso de fase*, ao invés de blocos de avanço de fase usados com sinais derivados de ω_G ou f ;
- Isto permite amortecimento similar ao produzido a partir de ω_G , porém com menores ganhos a altas frequências;
- Conseqüência: fenômenos como amplificação de ruídos de alta frequência e interações torsionais são fortemente reduzidos;
- Por outro lado, o sinal derivado de P_e apresenta maior sensibilidade na região de *baixas frequências*, tais como variações de potência mecânica, etc.

Exemplo (Cont. exemplo anterior)

Um gerador síncrono para o qual $H = 5,0 \text{ s}$ e $T'_{do} = 8 \text{ s}$ está ligado a um sistema infinito através de uma reatância externa $X_e = 0,4 \text{ p.u.}$ Os parâmetros do modelo linearizado de *Heffron & Phillips* para uma condição de carga $P + jQ = 1,0 + j0$ são os seguintes:

$$\begin{array}{lll} K_1 = 1,174 & K_3 = 0,36 & K_5 = -0,117 \\ K_2 = 1,47 & K_4 = 1,88 & K_6 = 0,301 \end{array}$$

Determinação da fase de um ESP derivado de P_e (I)

- k) Determinar o atraso de fase da função de transferência através da qual um sinal estabilizador derivado de $(-P_e)$ deverá ser processado a fim de produzir apenas torque de amortecimento, à frequência natural de oscilação ω_n .

Solução:

- Como no caso da velocidade, a fase do sinal estabilizador derivado de P_e deve ser ajustada para compensar o atraso de fase de $GEP(j\omega)$ na frequência ω_n ;
- Com $K_e = 100$, $T_e = 0,05$ s e $s = j\omega_n = j6,65$ rad/s, tem-se:

$$GEP(j6,65) = 2,616 \angle (-74,3^\circ)$$

Determinação da fase de um ESP derivado de P_e (II)

- Como foi visto

$$ESP_{P_e,ideal}(s) = \left(\frac{D_{PSS,P_e}}{s GEP(s)} \right)$$

- Logo:

$$\angle ESP_{P_e,ideal}(j\omega_n) = -(90^\circ + \angle GEP(j\omega_n))$$

- ou

$$\angle PSS_\omega(j\omega_n) = -(90^\circ - 74,3^\circ) = -15,7^\circ$$

Determinação do ganho de um ESP derivado de P_e

- l) Determine o ganho da função de transferência do estabilizador derivado de $(-P_e)$ para que, nas condições do item (g.3), o coeficiente de amortecimento equivalente seja igual a 1,0.

Solução:

Determinação do ganho de um ESP derivado de P_e

- l) Determine o ganho da função de transferência do estabilizador derivado de $(-P_e)$ para que, nas condições do item (g.3), o coeficiente de amortecimento equivalente seja igual a 1,0.

Solução:

- Nas mesmas condições, verificou-se que o coeficiente de amortecimento de um sinal derivado de ω_G deveria ser:

$$D_{PSS,\omega} = 14,3 \text{ pu/ pu}$$

Determinação do ganho de um ESP derivado de P_e

- l) Determine o ganho da função de transferência do estabilizador derivado de $(-P_e)$ para que, nas condições do item (g.3), o coeficiente de amortecimento equivalente seja igual a 1,0.

Solução:

- Nas mesmas condições, verificou-se que o coeficiente de amortecimento de um sinal derivado de ω_G deveria ser:

$$D_{PSS,\omega} = 14,3 \text{ pu/pu}$$

- No caso da potência elétrica, foi visto que

$$D_{PSS,P_e} = \frac{D_{PSS,\omega}}{2H} = \frac{14,3}{2 \times 5} = 1,43$$

Determinação do ganho de um ESP derivado de P_e

- l) Determine o ganho da função de transferência do estabilizador derivado de $(-P_e)$ para que, nas condições do item (g.3), o coeficiente de amortecimento equivalente seja igual a 1,0.

Solução:

- Nas mesmas condições, verificou-se que o coeficiente de amortecimento de um sinal derivado de ω_G deveria ser:

$$D_{PSS,\omega} = 14,3 \text{ pu/pu}$$

- No caso da potência elétrica, foi visto que

$$D_{PSS,P_e} = \frac{D_{PSS,\omega}}{2H} = \frac{14,3}{2 \times 5} = 1,43$$

- Logo:

$$|ESP_{P_e,ideal}(j\omega_n)| = \frac{D_{PSS,P_e}}{\omega_n \times |GEP(j\omega_n)|} = \frac{1,43}{6,65 \times 2,616} = 0,082$$

Características do ESP derivado de P_e na frequência do modo local

- Como conclusão dos itens anteriores, temos que:

$$ESP_{P_e, ideal}(j\omega_n) = 0,082 \angle -15,7^\circ$$

Características do ESP derivado de P_e na frequência do modo local

- Como conclusão dos itens anteriores, temos que:

$$ESP_{P_e, ideal}(j\omega_n) = 0,082 \angle -15,7^\circ$$

- Observe que:

Características do ESP derivado de P_e na frequência do modo local

- Como conclusão dos itens anteriores, temos que:

$$ESP_{P_e, ideal}(j\omega_n) = 0,082 \angle -15,7^\circ$$

- Observe que:
 - O ganho do ESP de potência elétrica na frequência de interesse é sensivelmente menor do que o do ESP de velocidade;

Características do ESP derivado de P_e na frequência do modo local

- Como conclusão dos itens anteriores, temos que:

$$ESP_{P_e, ideal}(j\omega_n) = 0,082 \angle -15,7^\circ$$

- Observe que:
 - O ganho do ESP de potência elétrica na frequência de interesse é sensivelmente menor do que o do ESP de velocidade;
 - A característica do sinal é de atraso de fase.

Determinação da função de transf. real do ESP derivado de P_e (I)

- m) Determine a função de transferência de um estabilizador real que forneça o amortecimento especificado no item anterior.

Solução:

Determinação da função de transf. real do ESP derivado de P_e (I)

- m) Determine a função de transferência de um estabilizador real que forneça o amortecimento especificado no item anterior.

Solução:

- Considere: a FT real do *ESP* dada por:

$$ESP_{P_e, \text{real}}(s) = K_{PSS, P_e} \times \frac{sT_w}{1 + sT_w} \times \left(\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \right)^2$$

onde $T_w = 1,6 \text{ s}$ e $T_1 = 0,2 \text{ s}$;

Determinação da função de transf. real do ESP derivado de P_e (I)

- m) Determine a função de transferência de um estabilizador real que forneça o amortecimento especificado no item anterior.

Solução:

- Considere: a FT real do ESP dada por:

$$ESP_{P_e, \text{real}}(s) = K_{PSS, P_e} \times \frac{sT_w}{1 + sT_w} \times \left(\frac{1 + sT_1}{1 + sT_2} \right)^2$$

onde $T_w = 1,6 \text{ s}$ e $T_1 = 0,2 \text{ s}$;

- Incógnitas a determinar: K_{PSS, P_e} e T_2 .

- Na frequência do modo local, devemos ter:

$$ESP_{P_e, ideal}(j\omega_n) = 0,082 \angle -15,7^\circ$$

com $\omega_n = 6,65 \text{ rad/s}$;

- Na frequência do modo local, devemos ter:

$$ESP_{P_e, ideal}(j\omega_n) = 0,082 \angle -15,7^\circ$$

com $\omega_n = 6,65 \text{ rad/s}$;

- Equacionando a fase e usando T_w e T_1 dados, temos:

$$\angle \left(\frac{j\omega_n T_w}{1 + j\omega_n T_w} \right) + 2 \angle \left(\frac{1 + j\omega_n T_1}{1 + j\omega_n T_2} \right) = -15,7^\circ$$

$$T_2 = 0,243 \text{ s}$$

- Usando o valor determinado de T_2 , podemos equacionar os ganhos na frequência ω_n :

$$K_{PSS,Pe} \times \left| \frac{j\omega_n T_w}{1 + j\omega_n T_w} \right| \times \left| \frac{1 + j\omega_n T_1}{1 + j\omega_n T_2} \right|^2 = 0,082$$

- Usando o valor determinado de T_2 , podemos equacionar os ganhos na frequência ω_n :

$$K_{PSS,Pe} \times \left| \frac{j\omega_n T_w}{1 + j\omega_n T_w} \right| \times \left| \frac{1 + j\omega_n T_1}{1 + j\omega_n T_2} \right|^2 = 0,082$$

- o que fornece

$$K_{PSS} = 0,128$$

- Usando o valor determinado de T_2 , podemos equacionar os ganhos na frequência ω_n :

$$K_{PSS,Pe} \times \left| \frac{j\omega_n T_w}{1 + j\omega_n T_w} \right| \times \left| \frac{1 + j\omega_n T_1}{1 + j\omega_n T_2} \right|^2 = 0,082$$

- o que fornece

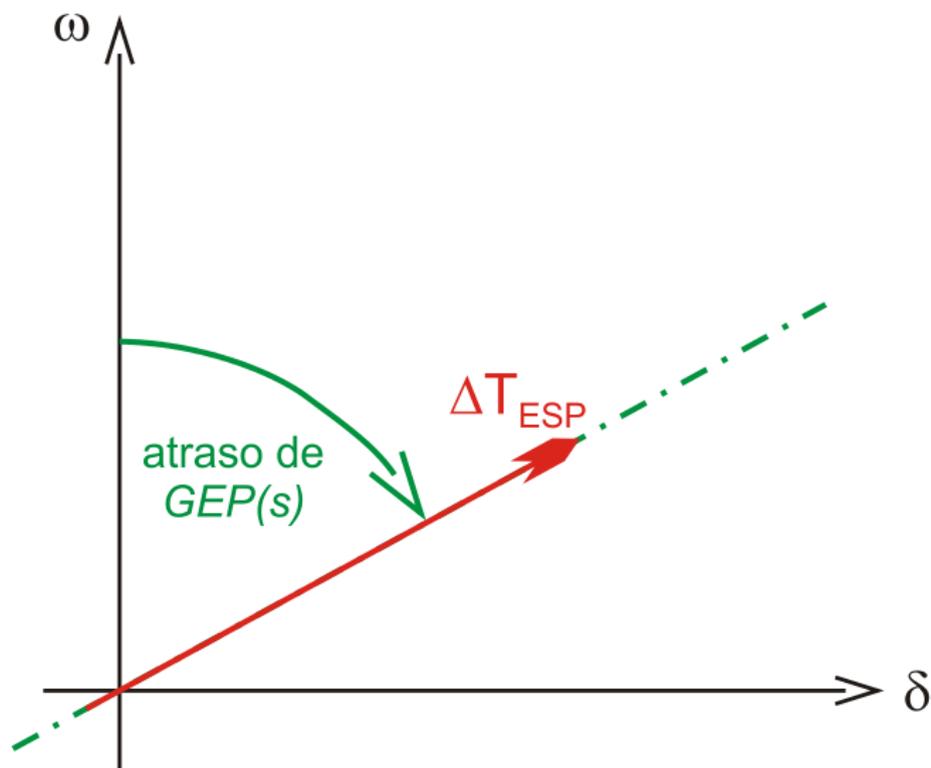
$$K_{PSS} = 0,128$$

- Portanto, a FT do *ESP* real é dada por

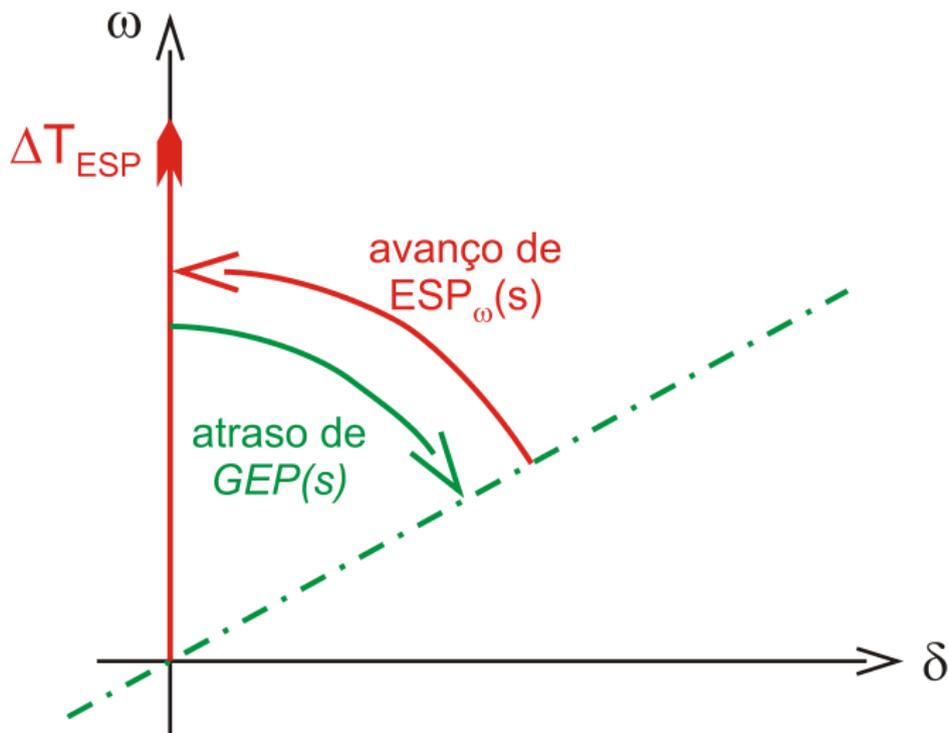
$$ESP_{Pe,real}(s) = 0,128 \times \frac{s1,60}{1 + s1,60} \times \left(\frac{1 + s0,2}{1 + s0,243} \right)^2$$

FIM

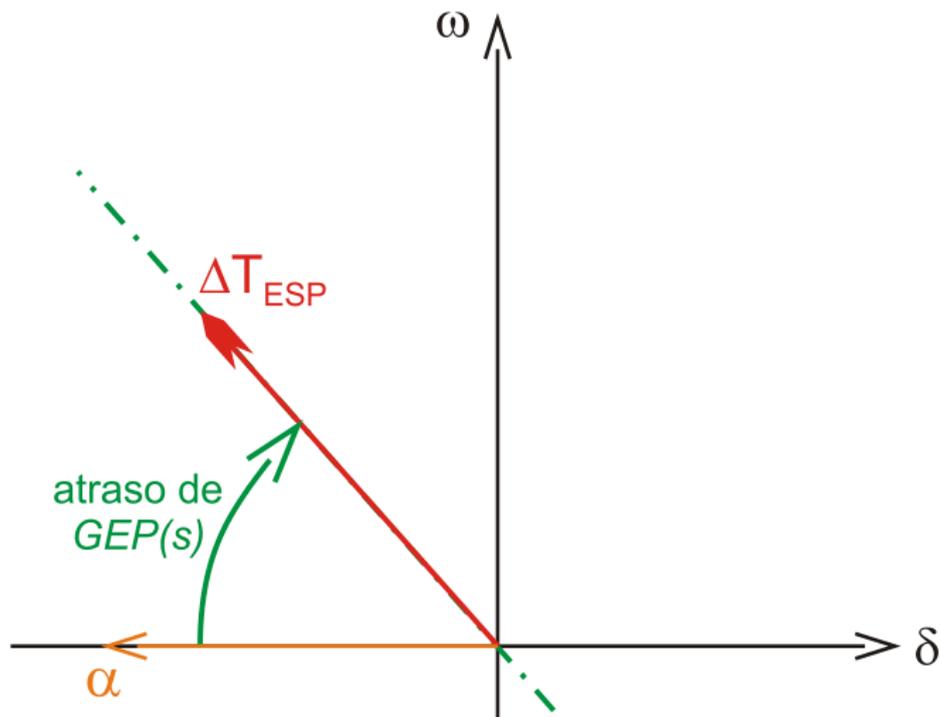
Compensação de fase do ESP derivado da velocidade (I)



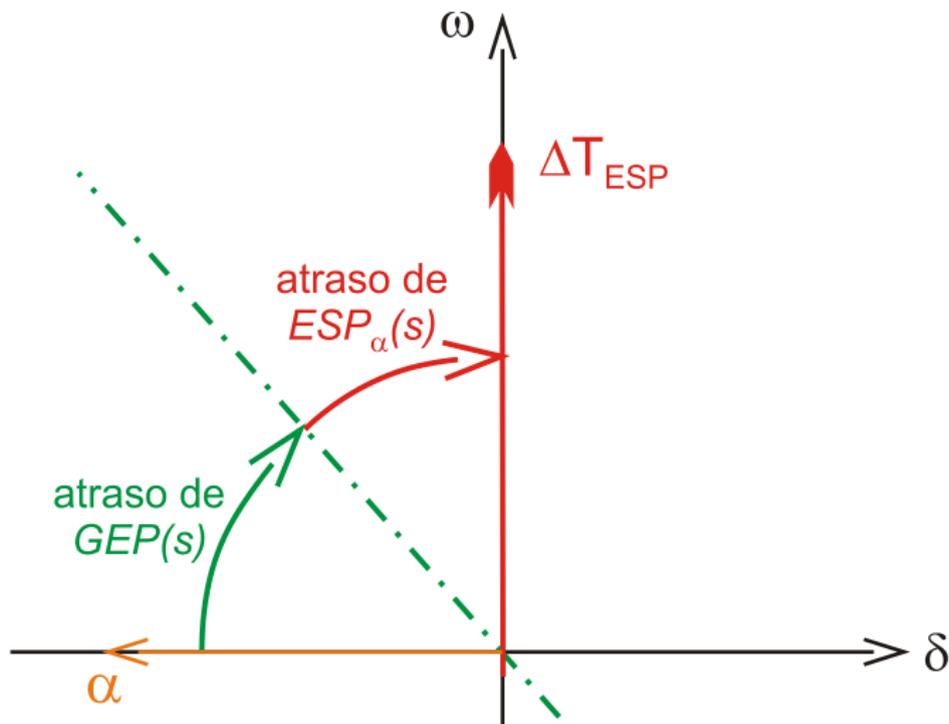
Compensação de fase do ESP derivado da velocidade (II)



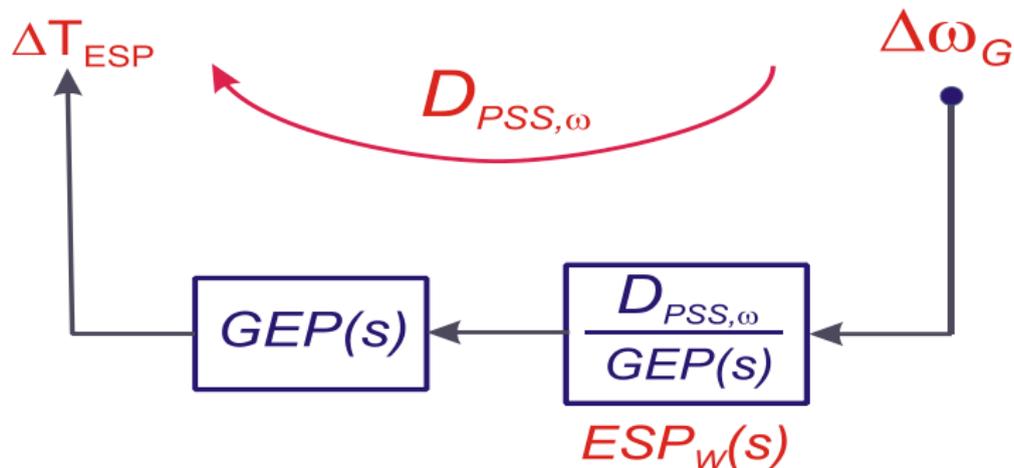
Compensação de fase do ESP derivado da aceleração (I)



Compensação de fase do ESP derivado da aceleração (II)

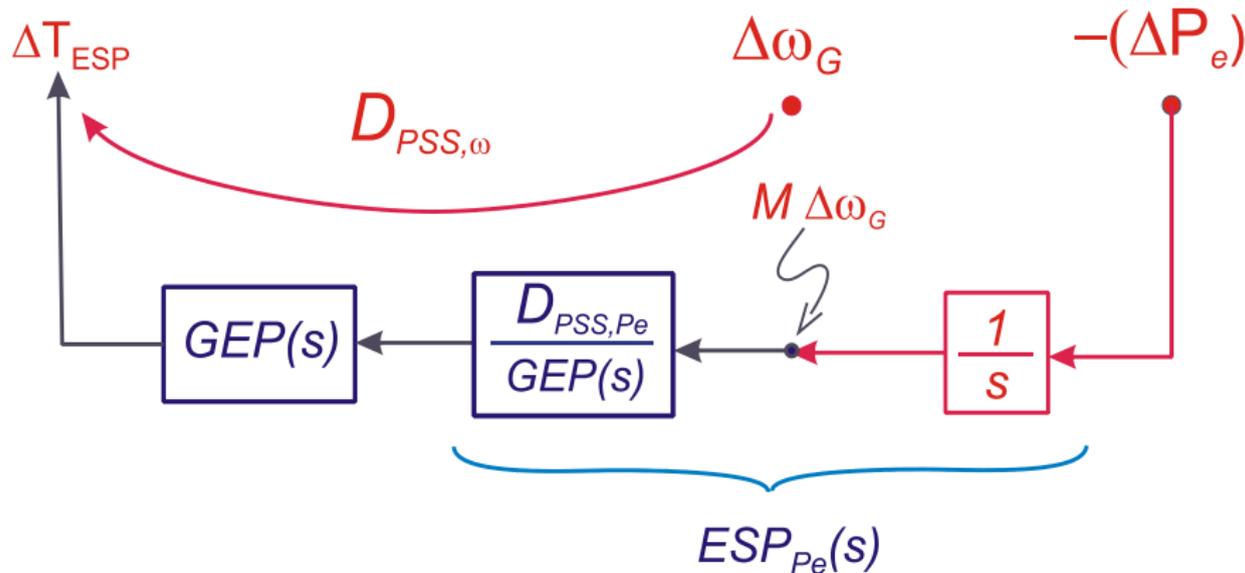


Torque produzido pelo ESP derivado da velocidade



Retorna

Torque produzido pelo ESP derivado da Potência Elétrica



Retorna