

## **ESTUDO DO TRANSITÓRIO ELETROMAGNÉTICO DE REDES TRÍFASICAS UTILIZANDO A TEORIA DA POTÊNCIA COMPLEXA INSTANTÂNEA.**

**Carlos Antonio Pereira Júnior  
Marcelo Semensato**

IFG/Jataí/Engenharia Elétrica – PBIC, juniop@hotmail.com

IFG /Jataí/Indústria, semensato@ymail.com

### **Resumo**

O projeto tem por objetivo analisar o transitório eletromagnético através da Potência Complexa Instantânea. A Teoria da Potência Complexa Instantânea utiliza vetores espaciais instantâneos que fornece a potencia em qualquer instante de tempo. As análises de transitório exigem um grande detalhamento rigoroso e preciso para diferentes elementos que compõem o sistema elétrico trifásico no estudo em questão, suas formas de análise serão apresentadas, via simulação digital utilizando o software Matlab/Simulink 7.0.1. O trabalho realiza a simulação de potencias, corrente e tensões utilizando o MIT e cargas trifásicas e faz suas respectivas comparações. Com relação ao transitório de partida do motor de indução, fica evidente que este pode ser tratado como se estivesse operando em regime para cada valor de escorregamento, durante o período do transitório eletromecânico.

**Palavras-chave:** Potência, transitório eletromagnético, vetores espaciais.

## INTRODUÇÃO

A análise do transitório eletromagnético é de grande importância para os sistemas de potência, embora a maior parte do tempo o sistema opere em regime permanente, este deve ser projetado para suportar grandes oscilações, sendo essas ocasionadas no seu regime transitório. As variações ocasionadas pelo transporte de energia de um local a outro do sistema elétrico pode causar variações de tensão e correntes não previstas. Quanto maior o nível de energia envolvida no sistema maior será a intensidade do transitório.

A teoria da Potência Complexa Instantânea foi desenvolvida por Milanez. A teoria define a potência complexa a cada instante de tempo. É um conceito diferente da potência tradicional que é definida no regime permanente. A teoria baseia-se na transformação de um sistema trifásico (a-b-c) em um sistema bifásico (alfa - Beta). A figura 1.1 representa o sistema bifásico tensão e corrente no plano complexo  $\alpha\beta$  para um instante de tempo qualquer.

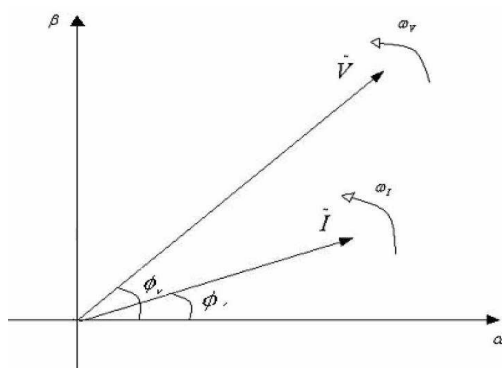


Figura 1.1: Representação gráfica dos VEI's tensão e corrente no plano complexo  $\alpha\beta$ .

A Potência Ativa é definida como sendo o valor médio da potência instantânea fornecida (ou recebida) pelos bipolos. Fisicamente, é o valor médio da taxa de energia que é transformada em calor por efeito joule, ou em trabalho mecânico nas máquinas de conversão eletromecânica de energia.

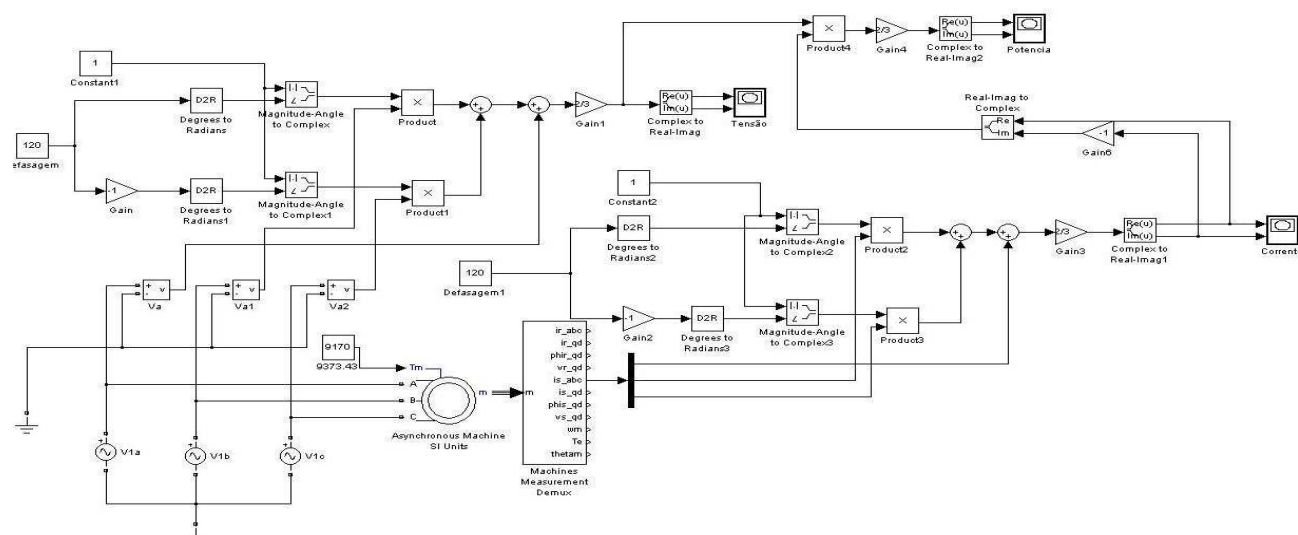
As primeiras citações sobre Potência Reativa datam da década de 1888. Levou mais de 40 anos para o pleno reconhecimento da potência reativa e do fator de potência. Nas últimas décadas a teoria de Akagi sobre a Potência Reativa Instantânea vem sendo aceita. Em circuitos elétricos de corrente alternada, as definições de potência ativa e reativa usuais se aplicam aos casos de regime permanente senoidal. Tratando-se de regime permanente não-senoidal, decompõem-se as ondas de tensão e corrente em série de Fourier.

## Simulações

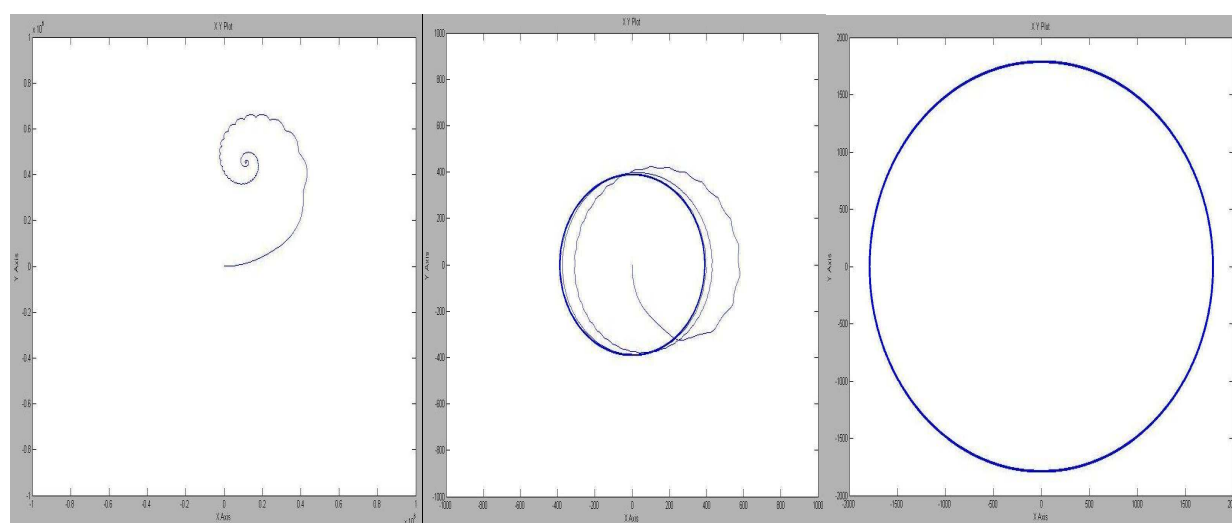
### MIT

O motor de indução trifásico (MIT) é uma máquina que converte energia elétrica em energia mecânica. Essa conversão é possível pela indução do fluxo no rotor curto-circuitado. O MIT será simulado no ambiente do Software Matlab/Simulink 7.0.1. No ambiente já possui o bloco "Asynchronous Machine SI Units" que corresponde ao motor de indução trifásico.

Fazendo as referências dos VEI's obtemos os gráficos de corrente, tensão e potência da figura 2.2.

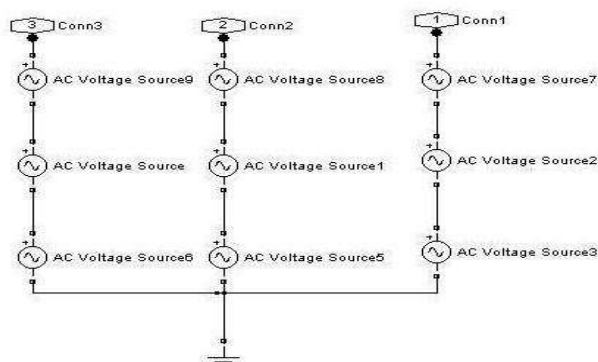


**Figura 2.1: Ambiente de simulação dos VEI's de potência, corrente, e tensão com o MIT. Mudar nº da figuras.**



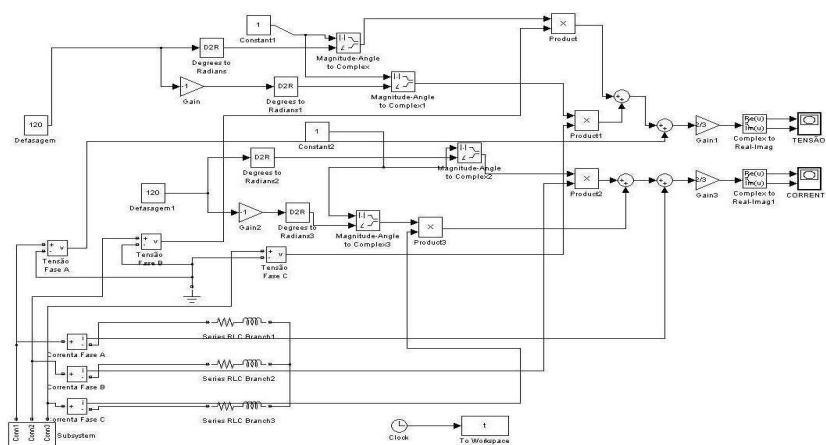
**Figura 2.2: Leitura dos gráficos de potência, corrente, e tensão respectivamente.**

Nos tópicos a seguir serão citadas as simulações realizadas no software Matlab/Simulink 7.0.1 na maioria das simulações será realizada com a fonte de tensão de corrente alternada utilizada como mostrada na figura 2.3.



**Figura 2.3: Fontes AC em paralelo**

Utilizando a fonte de tensão da figura 2.3 aplicada a Teoria da Potência Complexa Instantânea, onde obtemos os vetores espaciais instantâneos de corrente e tensão, como mencionado na figura 2.4 da simulação.



**Figura 2.4: Ambiente de simulação dos VEI's de tensão e corrente no Software Matlab/Simulink.**

As leituras dos gráficos de tensão e corrente foram obtidas conforme mostrada na figura 2.5. A simulação foi realizada no intervalo de tempo de 0 a 3 segundos.

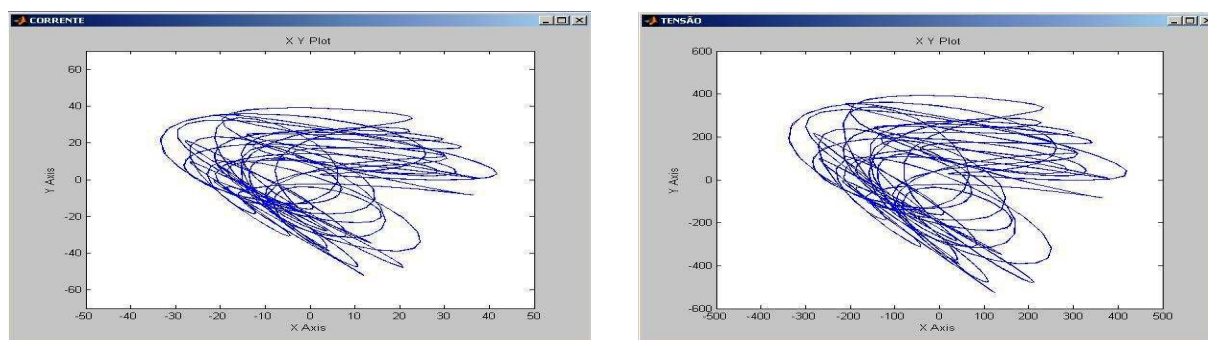


Figura 2.5: Leitura dos gráficos de corrente e tensão respectivamente.

## Potência Ativa

No ambiente anterior de simulação da figura 2.4, onde obtivemos a leitura dos gráficos de corrente e tensão, acrescentamos os vetores como mencionado na formula da figura 3.1 para obtenção da potência ativa. Fazendo o somatório de tensão por corrente obtemos a potencia ativa (P).

$$p = v_{\alpha} i_{\alpha} + v_{\beta} i_{\beta}$$

Figura 3.1: Potência Ativa

A figura 3.2 mostra o ambiente de simulação da potência ativa. Na figura 3.3 obtemos a leitura do gráfico desta potência. A simulação foi realizada no intervalo de 0 a 3 segundos. Na simulação trifásica fizemos o somatório da fase A, fase B, e fase C.

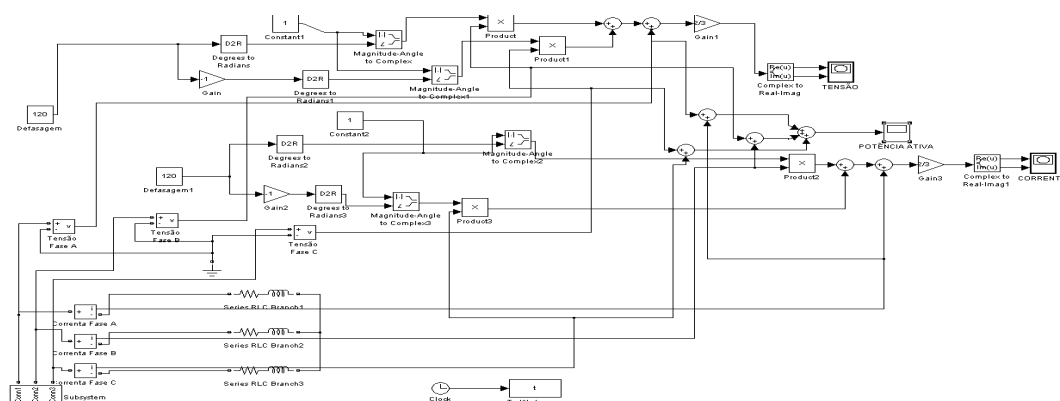


Figura 3.2: Ambiente de simulação dos VEI's da Potência Ativa no Software Matlab/Simulink.

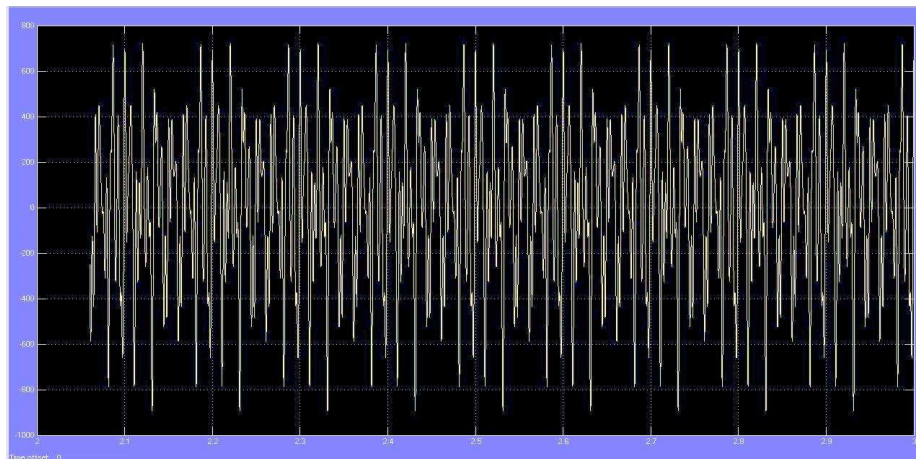


Figura 3.3: Leitura do gráfico da Potência Ativa

### Potência $Q_{\alpha}$ e $Q_{\beta}$

A Potência Reativa Instantâneas das fases  $\alpha\beta$ , como ilustra o plano cartesiano da figura 1.1, é obtida através da projeção da potência reativa nos eixos  $\alpha$  e  $\beta$ . Portanto, a potência reativa instantânea ( $q$ ) tem sua projeção no eixo real e no imaginário.

O bloco denominado Qinst simulado no ambiente do Software Matlab/Simulink 7.0.1 fornece a leitura do gráfico da potência reativa instantânea obedecendo à equação correspondente da figura 3.1.

$$\frac{3}{2} \text{Real}\{\tilde{V} \tilde{I}_q^*\} = q_{\alpha}$$

$$\frac{3}{2} \text{Imag}\{\tilde{V} \tilde{I}_q^*\} = q_{\beta}$$

Figura 4.1: Projeção da potência reativa instantânea no eixo real e imaginário.

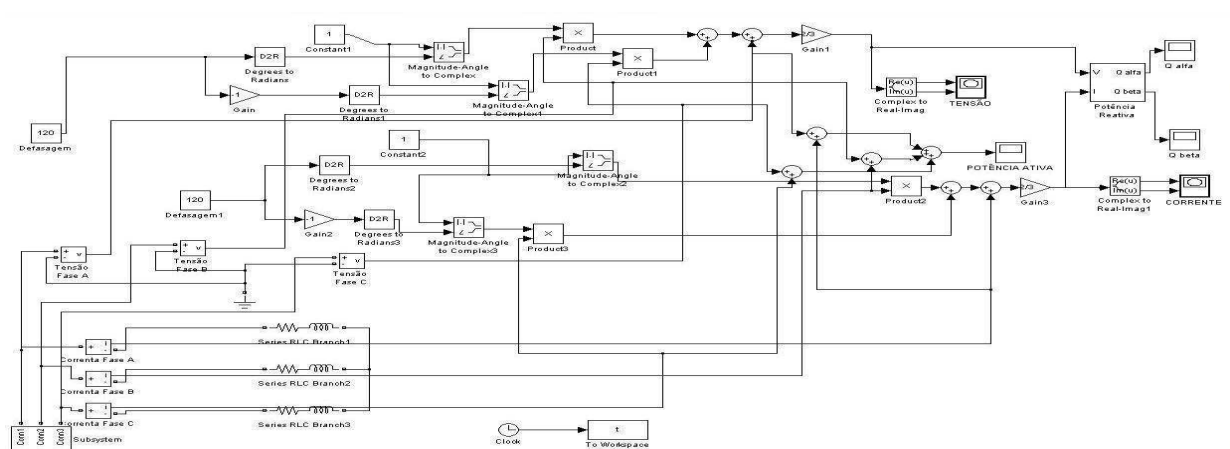
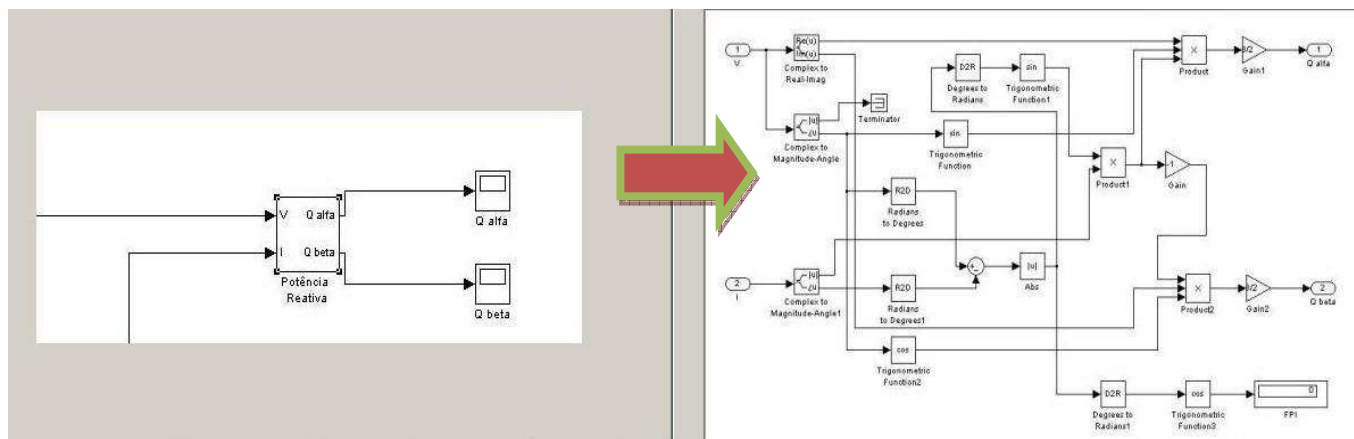


Figura 4.2: Ambiente de simulação dos VEI's das Potências reativa instantânea  $Q_{\alpha}$  e  $Q_{\beta}$ .

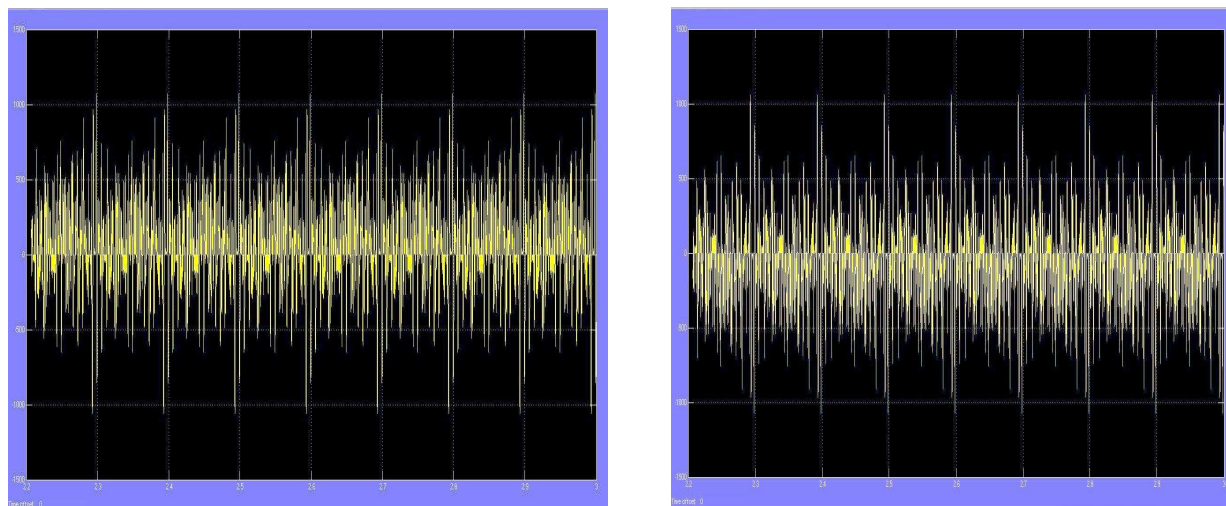


O bloco da potencia reativa instantânea foi construído manipulando as funções do software em questão para uma melhor compreensão da simulação. O seu desmembramento do bloco resulta em uma simulação como a da figura 4.3.



**Figura 4.3: Desmembramento do bloco da potencia reativa instantânea.**

As entradas do bloco da potencia reativa instantânea são os vetores espaciais instantâneos de tensão e corrente. A necessidade é demonstrar que para o sistema analisado as potências reativas instantâneas se anulam.

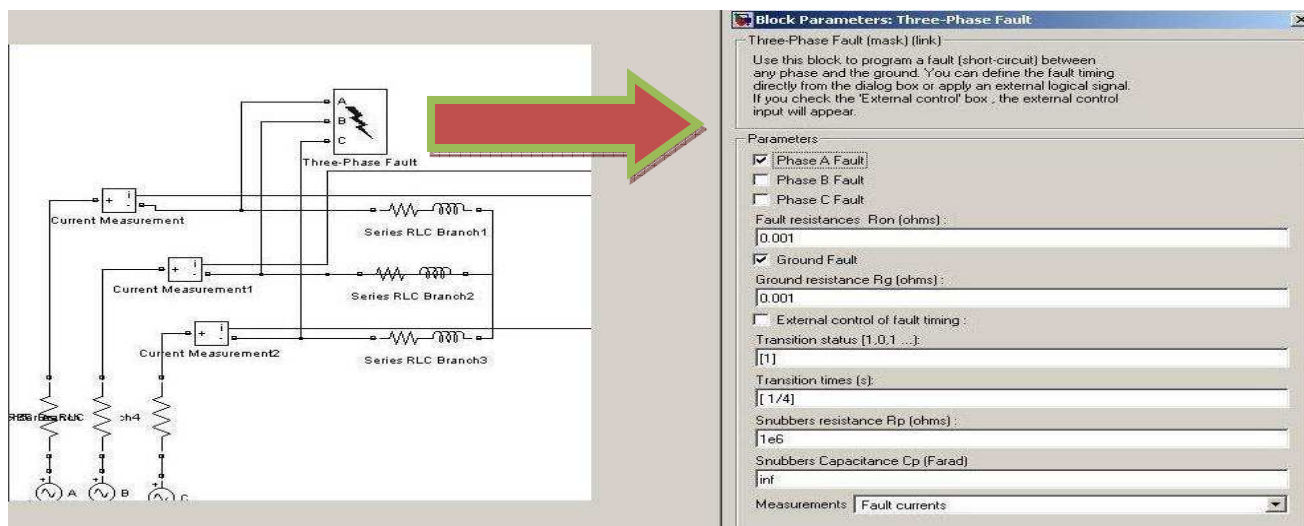


**Figura 4.4: Leitura dos gráficos das potências  $Q_{\alpha}$  e  $Q_{\beta}$  respectivamente.**

## Simulação de faltas

Analisando as faltas que podem vir a ocorrer através do bloco “Three-Phase Fault” do software Matlab/Simulink 7.0.1. No bloco podemos definir qual falta a serem analisadas falta monofásica, falta bifásica, ou falta trifásica.

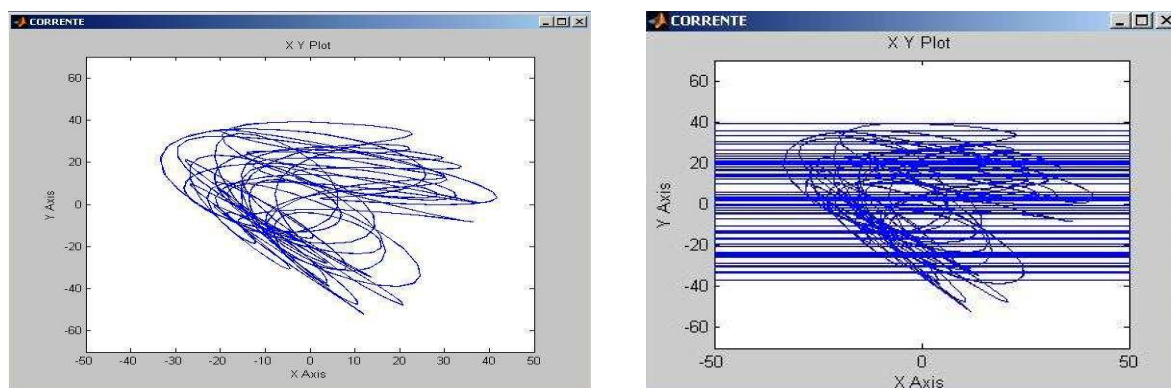
O bloco “Three-Phase Fault”, do software responsável por realizar as faltas no sistema, esta ilustrado na figura 5.1. O bloco possui os campos para definir o tipo de falta que ira ocorrer e em qual instante da simulação ira ocorrer a falta.



**Figura 5.1: Bloco do software Matlab/Simulink 7.0.1 Three-Phase Fault**

## Falta monofásica

Nesta etapa do trabalho foram simuladas as faltas que podem vim a ocorrer em um sistema trifásico. Analisando o transitorio da corrente na simulação realizada de 0 a 3 segundos foi definida uma falta monofasica no tempo de 2 segundos. Obtemos a leitura do gráfico conforme a comparação da figura 5.2.

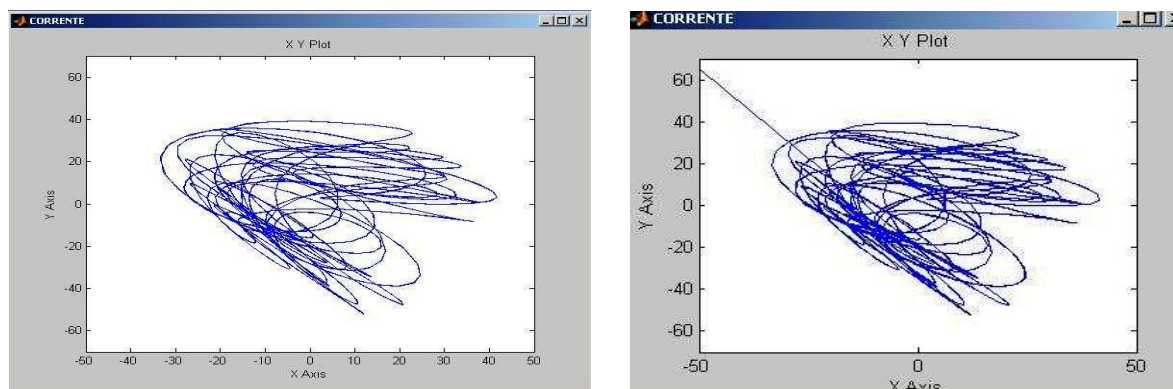


**Figura 5.2: Comparação entre as leituras do gráfico de corrente sem falta e com a falta monofásica respectivamente.**



## FALTA BIFÁSICA

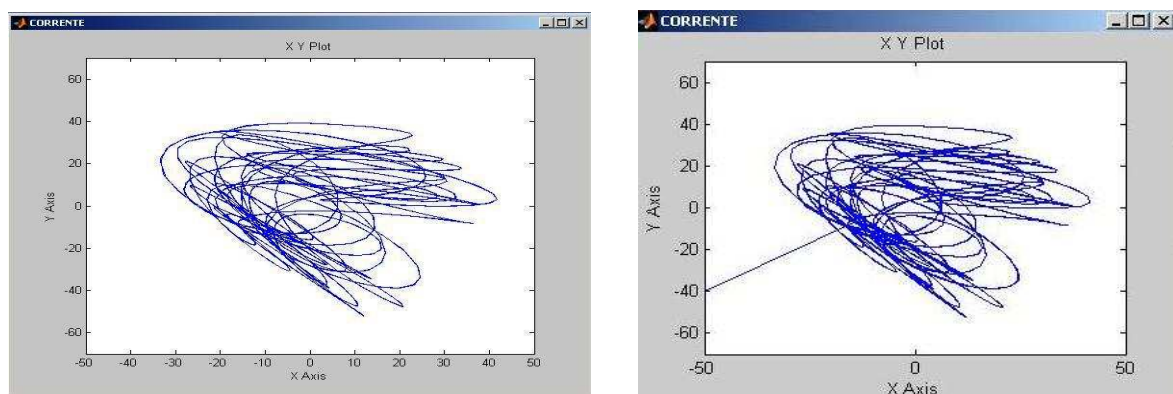
Na simulação de 0 a 3 segundos foi provocada a falta bifásica no instante de 2 segundos.



**Figura 5.3:** Comparação entre as leituras do gráfico de corrente sem falta e com a falta bifásica respectivamente.

## FALTA TRIFÁSICA

Na simulação de 0 a 3 segundos foi provocada a falta trifásica no instante de 2 segundos.



**Figura 5.4:** Comparação entre as leituras do gráfico de corrente sem falta bifásica e com a falta trifásica respectivamente.

## CONCLUSÃO

O trabalho teve um estudo detalhado do transitório eletromagnético de motores elétricos trifásicos, graças a Teoria da Potência Complexa Instantânea, que fornece a potência com seus vetores espaciais instantâneos em cada intervalo de tempo. Diferentemente da teoria convencional que fornece a potência somente em seu regime permanente.

Os resultados que conseguimos ao longo do projeto são passos fundamentais para elaboração do filtro ativo para correção do fator de potência.

Fica como sugestões para trabalhos futuros a proteção do transitório eletromagnético utilizando o rele digital para realização do seu monitoramento, a implementação de filtros ativos, e um maior disseminação dos novos conceitos da Teoria da Potência Complexa Instantânea na graduação.

## Referências

MILANEZ, D.L.; MISKULIM, M.S. The instantaneous complex power applied to three-phase machines, 28IAS, 1993, Toronto. **In: INTERNATIONAL ANNUAL MEETING IEEE.** Annual Meeting... Toronto: IEEE, 1993. p. 171-176.

AKAGI, H.; KANAZAWA, Y.; NABAE, A. (1983). Generalized theory of the instantaneous reactive power in three-phase circuits. **In: PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL POWER ELECTRONICS CONFERENCE**, 1983. Proceedings of the IPEC'83... Tokio: IEEE, 1983. p. 1375-1386.

MILANEZ, D. L.; ESTEVAM, G. P. Análise de um retificador trifásico de onda completa a tiristor aplicando a teoria da potência complexa instantânea. **In: III CONGRESSO LATINO AMERICANO DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, CONLADIS**, 3, 1998, São Paulo. Anais... São Paulo: S.n., 1998. p. 419-423.

DUGAN, R. C.; MCGRANAGHAN, M. F.; BEATY, W. H. **Electrical power systems quality**. New York: McGraw-Hill, 1996. 256 p.

SEMENSATO, M.; **Aplicações da Teoria da Potência Complexa Instantânea no Cálculo das Grandezas de Buchholz-Goodhue**. 2007. 121 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

AKAGI, H.; WATANABE, E. H.; AREDES, M. **Instantaneous Power Theory and Applications to Power Conditioning**. IEEE Press, 2007. 379p.

TORO, V. D. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Editora LTC, 1999. 550 p.