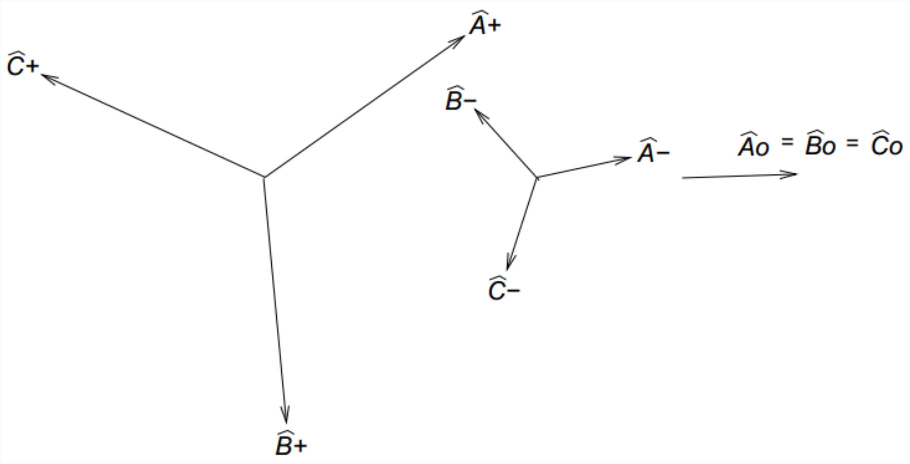
Sistemas Elétricos de Potência

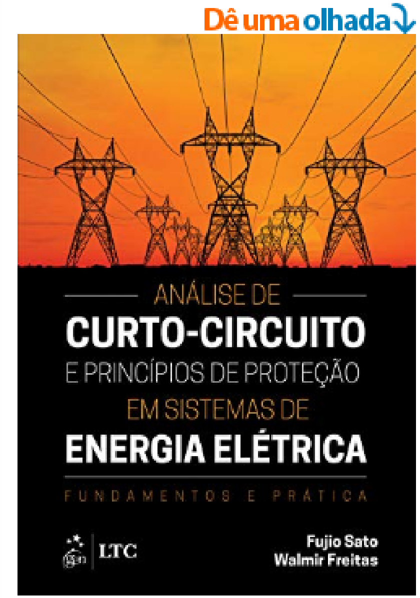
Aula 03-P1 – Método das Componentes Simétricas

Prof. Heverton Augusto Pereira
heverton.pereira@ufv.br



Tópicos abordados

- Capítulo 4
- Proposto por Charles L. Fortescue em 1918
- Trabalhava na eletrificação ferroviária
- Problema de motores sob condições desbalanceadas



Componentes Símetricas

- Trabalho intitulado: Method of Symmetrical Coordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks

- Enunciado:

" um sistema trifásico desequilibrado pode ser decomposto em três sistemas equilibrados e esta decomposição é única "

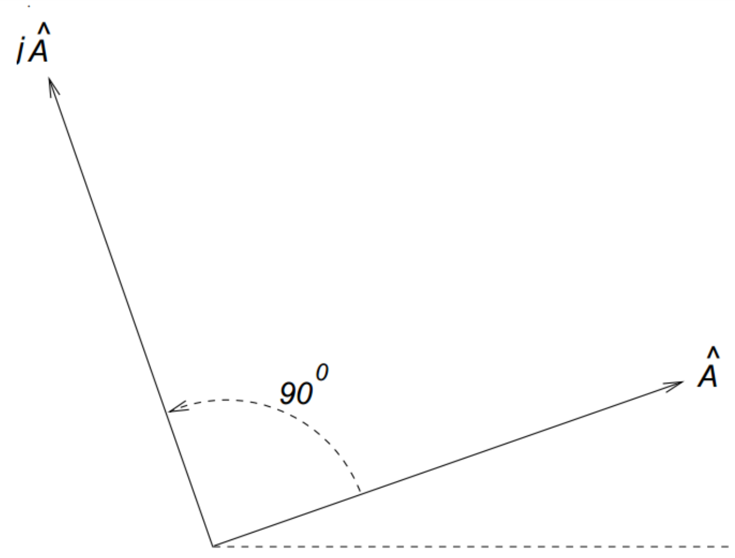
- Além disso:

Estes sistemas decompostos são denominados sequências positiva, negativa e zero

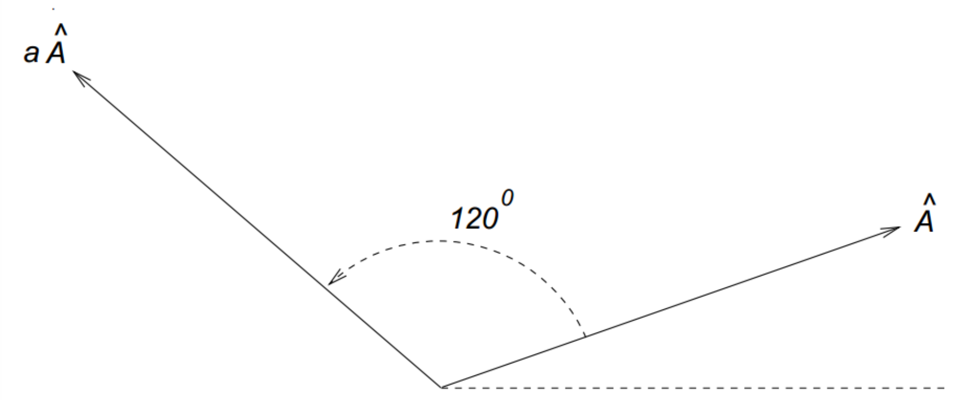
https://uwaterloo.ca/power-energy-systems-group/sites/ca.power-energy-systems-group/files/uploads/files/method_of.pdf

Operadores

Operador j

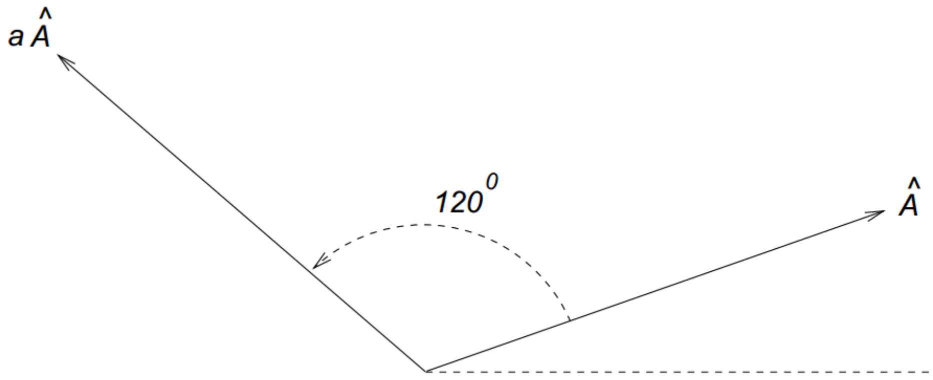


Operador a



Representação na forma complexa ou exponencial

Operador a



$$a = e^{j120^0} = \frac{-1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

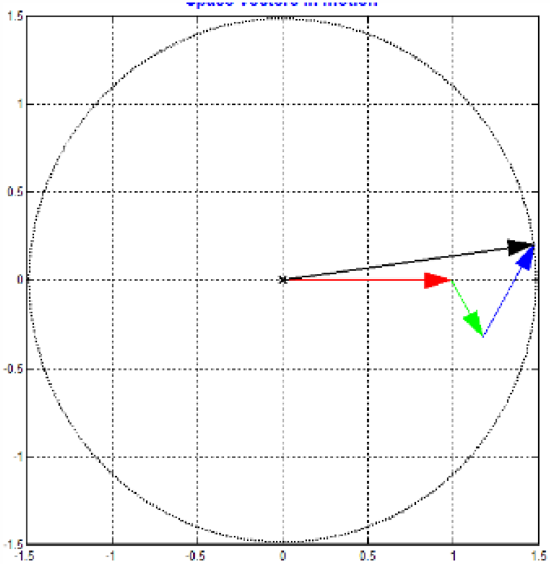
$$a^2 = e^{j240^0} = \frac{-1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$$

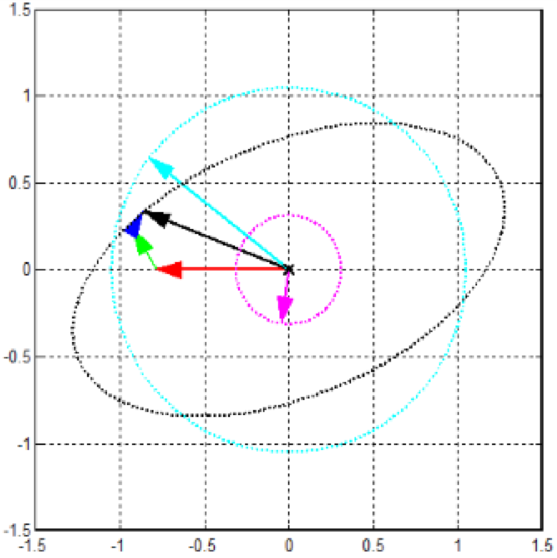
$$a^3 = e^{j0^0} = 1$$

Sistema Equilibrado x Desequilibrado

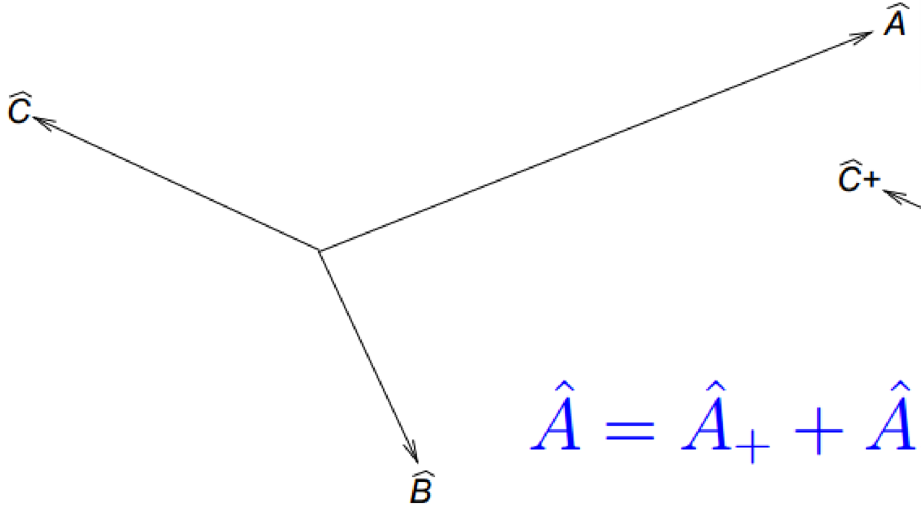
- http://people.ece.umn.edu/users/riaz/animations/spacevecmovie.html

- http://people.ece.umn.edu/users/riaz/animations/spacevecunbalanced.html

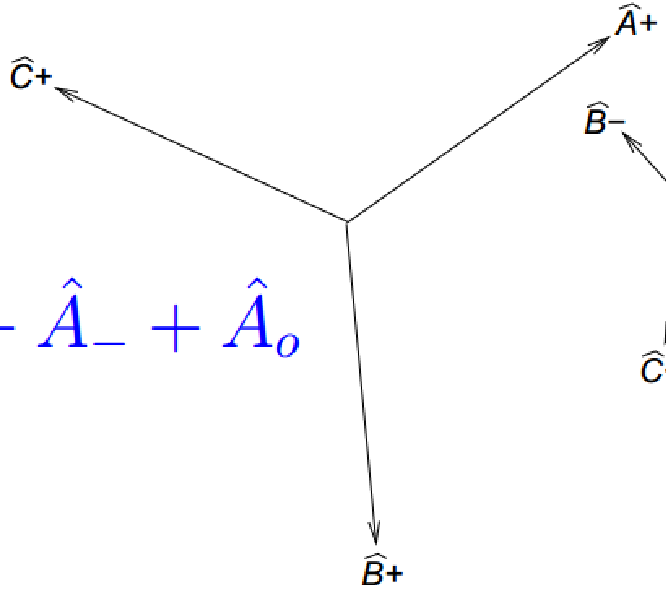


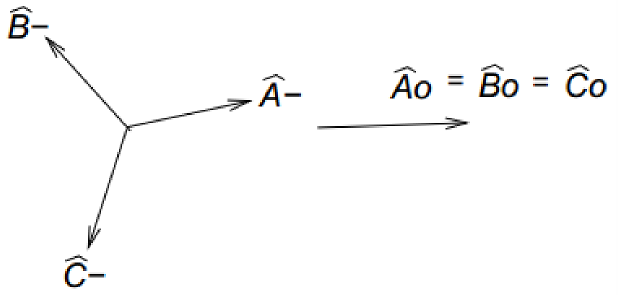


Método das Componentes Simétricas

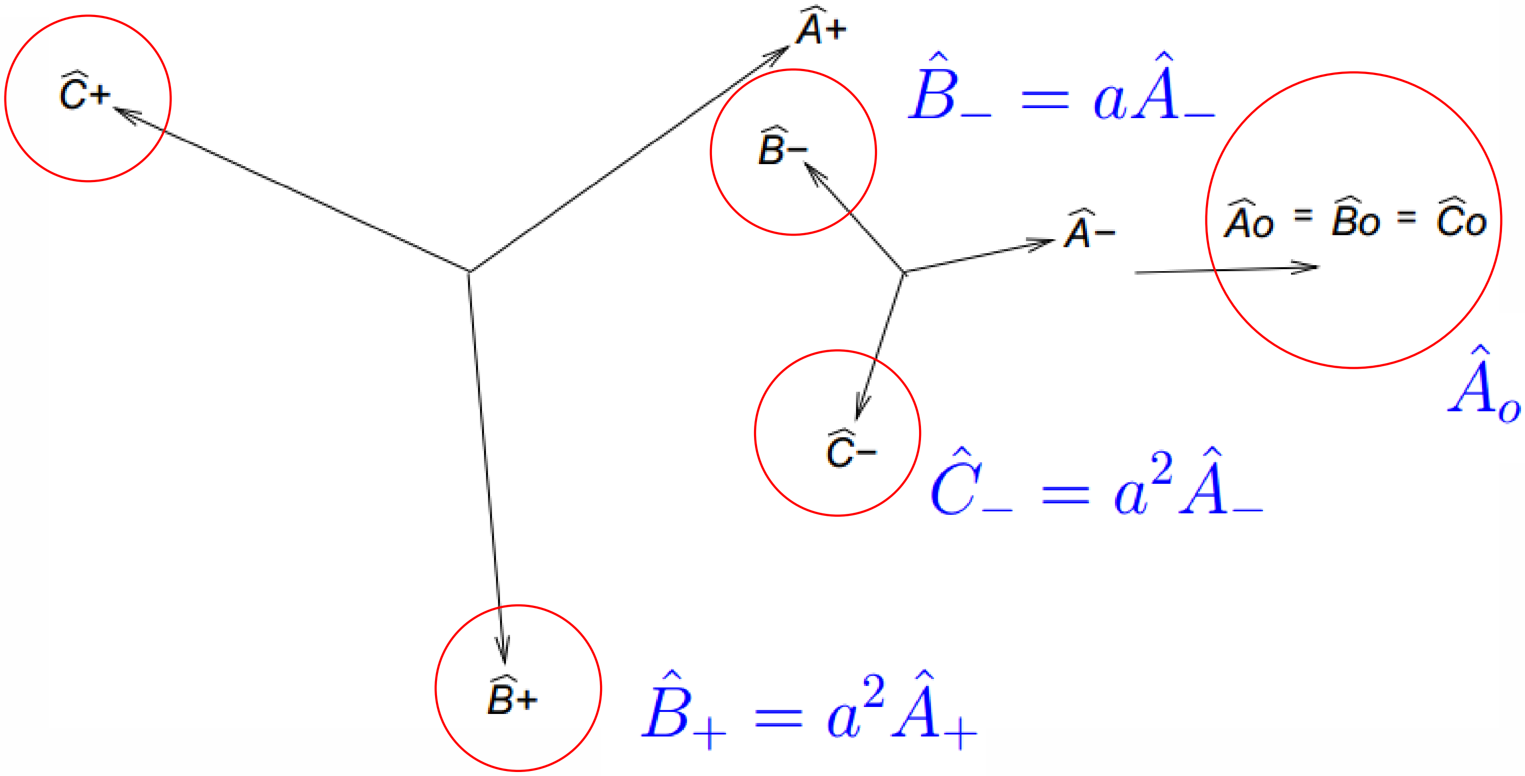


$$\hat{A} = \hat{A}_{+} + \hat{A}_{-} + \hat{A}_{o}$$





Método das Componentes Simétricas



$$\hat{C}_+ = a\hat{A}_+$$

$$\hat{B}_- = a\hat{A}_-$$

$$\hat{A}_o = \hat{B}_o = \hat{C}_o$$

$$\hat{C}_- = a^2\hat{A}_-$$

$$\hat{B}_+ = a^2\hat{A}_+$$

Método das Componentes Simétricas

$$\hat{A} = \hat{A}_+ + \hat{A}_- + \hat{A}_o$$

$$\hat{B} = \hat{B}_+ + \hat{B}_- + \hat{B}_o$$

$$\hat{C} = \hat{C}_+ + \hat{C}_- + \hat{C}_o$$

$$\hat{A} = \hat{A}_+ + \hat{A}_- + \hat{A}_o$$

$$\hat{B} = a^2\hat{A}_+ + aA_- + \hat{A}_o$$

$$\hat{C} = a\hat{A}_+ + a^2\hat{A}_- + \hat{A}_o$$

Método das Componentes Simétricas

$$\hat{A} = \hat{A}_+ + \hat{A}_- + \hat{A}_o$$

$$\hat{B} = a^2\hat{A}_+ + aA_- + \hat{A}_o$$

$$\hat{C} = a\hat{A}_+ + a^2\hat{A}_- + \hat{A}_o$$

$$\begin{bmatrix} \hat{A} \\ \hat{B} \\ \hat{C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{A}_+ \\ \hat{A}_- \\ \hat{A}_o \end{bmatrix}$$

$$\underline{P} = T\underline{S}$$

T é a matriz de transformação de Componentes Simétricas

Método das Componentes Simétricas

$$\underline{P} = T\underline{S}$$

$$\underline{S} = T^{-1}\underline{P}$$

$$T^{-1} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{A}_+ \\ \hat{A}_- \\ \hat{A}_o \end{bmatrix} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{A} \\ \hat{B} \\ \hat{C} \end{bmatrix}$$

Método das Componentes Simétricas

$$\begin{bmatrix} \hat{A}_+ \\ \hat{A}_- \\ \hat{A}_o \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{A} \\ \hat{B} \\ \hat{C} \end{bmatrix}$$

$$\hat{A}_+ = \frac{1}{3}(\hat{A} + a\hat{B} + a^2\hat{C})$$

$$\hat{A}_- = \frac{1}{3}(\hat{A} + a^2\hat{B} + a\hat{C})$$

$$\hat{A}_o = \frac{1}{3}(\hat{A} + \hat{B} + \hat{C})$$

Operações com a matriz T

$$T^T = \begin{bmatrix} 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T^* = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a & a^2 & 1 \\ a^2 & a & 1 \end{bmatrix}$$

$$T^T T^* = 3 \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T^{-1} T = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Exemplo de Aplicação

As tensões de fase de um circuito trifásico são:

VA = 100∠0°

VB = 50∠90°

VC = 50∠-90°

O módulo da componente de sequência zero vale, em volt, aproximadamente:

$$\begin{bmatrix} \hat{A} \\ \hat{B} \\ \hat{C} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ a^2 & a & 1 \\ a & a^2 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{A}_+ \\ \hat{A}_- \\ \hat{A}_o \end{bmatrix}$$

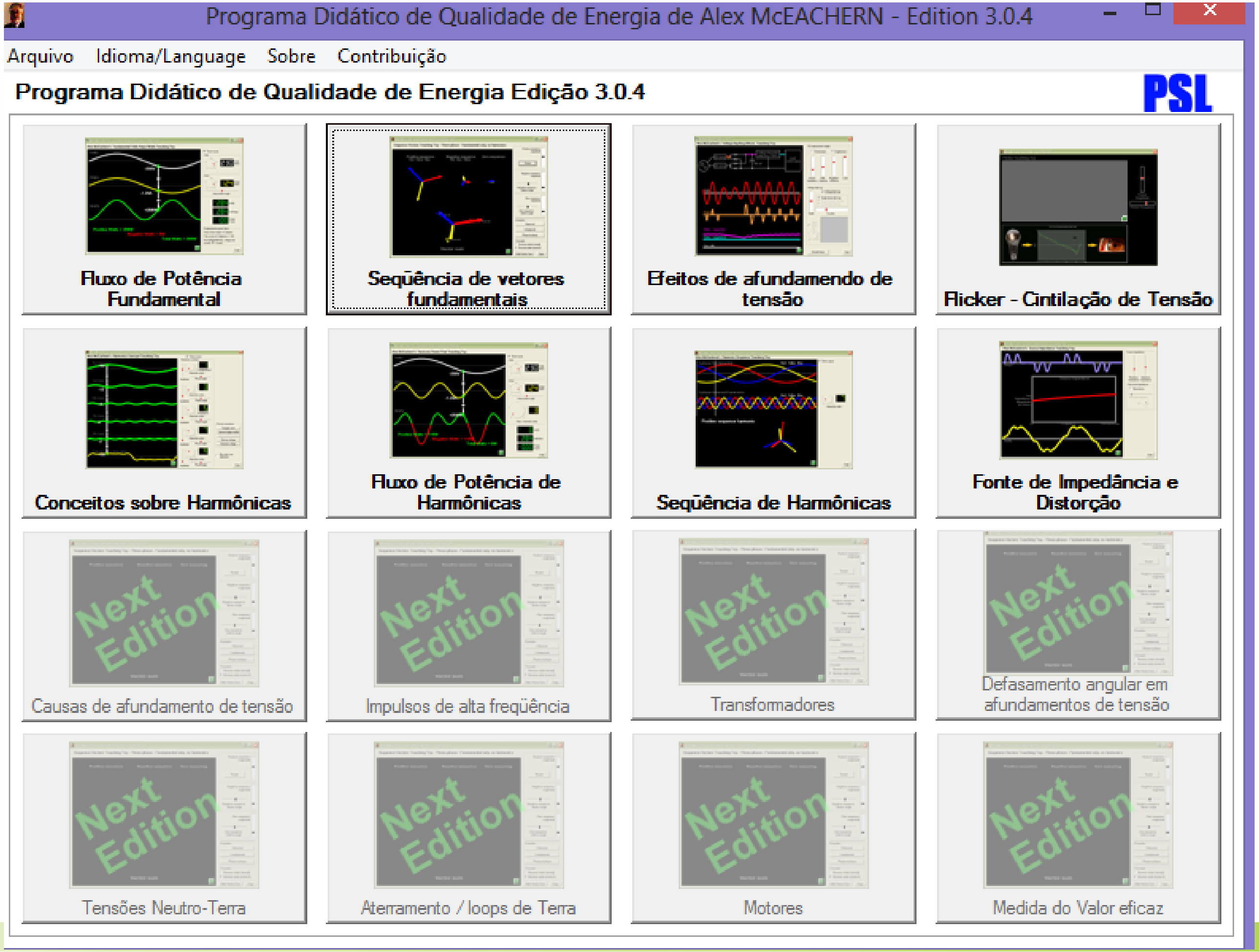
$$\begin{bmatrix} \widehat{A_+} \\ \widehat{A_-} \\ \widehat{A_0} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 100\angle 0° \\ 50\angle 90° \\ 50\angle -90° \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \hat{A}_+ \\ \hat{A}_- \\ \hat{A}_o \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{A} \\ \hat{B} \\ \hat{C} \end{bmatrix}$$

$$\widehat{A_0} = \frac{1}{3}(100\angle 0° + 50\angle 90° + 50\angle -90°)$$

$$\widehat{A_0} = 33{,}33\angle 0° \qquad |A_0| = 33{,}33\ V$$

Software PSL



Software PSL

www.gesep.ufv.br

Gesep

gesep_vicosa

Gesep UFV

EStimate - Sistemas Fotovoltaicos

Google Play

https://play.google.com/store/apps/details?id=br.developer.gesep.estimate

Obrigado!

Heverton Augusto Pereira
Prof. Departamento de Engenheira Eletrica | UFV
Coordenador da Gerência de Especialistas em Sistemas Elétricos de Potência |Gesep
Membro do Programa de Pós-Graduaçao em Engenharia Elétrica | PPGEL/CEFET-MG
E-mail: heverton.pereira@ufv.br