

# Simulasi Eliminasi Harmonisa Menggunakan Teori Daya Sesaat $p$ $q$ Pada Jaringan Power Sistem Beban Tidak Seimbang Dengan Matlab Simulink

Setiyono, Kunto Wibowo

Jurusan Teknik Elektro Universitas Gunadarma Jakarta  
Jl. Margonda Raya 100 Telp. (021) 78881112 ext 444  
Email : [setiyono@staff.gunadarma.ac.id](mailto:setiyono@staff.gunadarma.ac.id)

## ABSTRAK

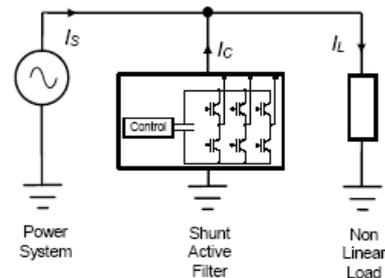
Pada suatu power system, Idealnya bentuk gelombang tegangan dan arus yang dibangkitkan berbentuk sinusoidal yang mulus ( smooth sine wave ). Akan tetapi, fakta di lapangan menunjukkan bahwa bentuk gelombang tegangan maupun arus tidak semulus yang diinginkan. Penyimpangan dari bentuk gelombang yang ideal tersebut sering dinyatakan sebagai THD ( Total Harmonic Distortion ). Atau THD bisa dipergunakan untuk menyatakan besar harmonisa yang terkandung dalam gelombang tersebut. Paper ini membicarakan masalah kualitas power system yang terjadi akibat pergeseran sifat beban dalam kuantitas besar, yaitu dari beban linier ke beban nonlinier telah menimbulkan berbagai masalah yang berkaitan dengan introduksi harmonisa, yaitu inkompatibilitas peralatan, peningkatan rugi-rugi dan penurunan efisiensi sistem, penyimpangan sistem pengukuran dan analisis sistem tenaga, penurunan keandalan serta masalah policy / tanggung jawab. Arus harmonisa ini lebih suka mengalir pada impedansi rendah, misalkan pada kapasitor, karena kapasitor memiliki impedansi rendah untuk frekuensi tinggi. Harmonisa sendiri terdiri dari 2 komponen harmonisa layaknya listrik pada umumnya. Yaitu harmonisa tegangan dan harmonisa arus, harmonisa tegangan lebih berbahaya dibandingkan harmonisa arus. Secara garis besar, penelitian ini mengulas masalah pembangkitan harmonisa, masalah yang ditimbulkannya, serta solusi yang dapat diambil, baik secara teknis maupun kebijaksanaan. Sebuah metode digunakan untuk mengeliminasi arus harmonik pada sisi pelanggan. Paper juga ini mengevaluasi metode pada perhitungan kompensasi arus yang digunakan untuk mengkompensasi system tiga fasa dengan beban tak seimbang.

Kata Kunci : Actif Filter, Kompensasi Harmonisa, Beban Tak Seimbang

## I. PENDAHULUAN

Kecenderungan penggunaan beban-beban elektronik dalam jumlah besar ini telah menimbulkan masalah yang tidak terkirakan sebelumnya. Berbeda dengan beban-beban listrik yang menarik arus sinusoidal, beban-beban elektronik menarik arus dengan bentuk nonsinusoidal, walaupun disuplai dari sumber tegangan sinusoidal. Beban yang memiliki sifat ini disebut sebagai beban nonlinier. Arus yang tidak berbentuk sinusoidal tersebut mengintroduksi komponen arus frekuensi tinggi yang terinjeksi ke jala-jala, yang dikenal dengan nama arus harmonisa (karena itu fenomena ini seringkali disebut dengan *polusi harmonisa*) Arus harmonisa ini ternyata menimbulkan sangat banyak implikasi negatif, baik bagi pelanggan maupun *power provider*. Kerugian akibat harmonisa mencakup aspek teknis, biaya dan keandalan. Pada umumnya harmonisa yang mengikut pada jala-jala banyak disebabkan oleh penggunaan perangkat elektronik yang didalamnya terdapat pembangkit gelombang (osilator) berfrekuensi tinggi atau pola switching. Sebagai contoh adalah, mesin foto kopi, mesin ketik elektronik, lampu menggunakan ballast, personal komputer, sistem komputer, terminal komputer, alat rekam, televisi, pemutar video, perlengkapan audio visual, SCR pendorong motor, SCR pendorong elevator, UPS, alat perlengkapan uji pada laboratorium, alat deteksi pada

rumah sakit dan sebagainya. Selain hal tersebut diatas, masih terdapat masalah-masalah yang berhubungan dengan harmonisa yang terjadi di dalam suatu bangunan/ gedung. Sebagai contoh adalah, panas lebih (*overheating*) dan kerusakan/ kegagalan penghantar netral, panas lebih dan kerusakan/ kegagalan terhadap saluran penghubung papan penampil (*panel board*), distorsi saluran jala-jala, tegangan bermuara sama (*common mode*) yang lebih tinggi, gangguan *tripping* pada *circuit breaker*, panas lebih dan kegagalan prematur pada trafo distribusi, dan sebagainya. Pada aktif filter mengandung teknik pengaturan perhitungan bagi pengaruh harmonisa yang akan dihilangkan. Biasanya aktif filter ini dibangun bersama dengan inverter tiga fasa yang digunakan untuk menginjeksi arus,  $I_c$  pada jaringan jala jala seperti tampak pada gambar 1.



Gambar 1. Sebuah Rangkaian Shunt Active Filter

## 2. METODE KENDALI PADA AKTIF FILTER

### A. Metode FBD (Frize- Buchholz-Depenbrock)

Diajukan oleh Depenbrock yaitu memisahkan atau mengurai arus beban di dalam komponen daya dan komponen rugi rugi daya. Tujuannya adalah mengkompensasi semua komponen yang tidak dihasilkan oleh power system, tetapi memberikan factor daya yang kurang dari 1. Metode ini mengatakan bahwa rasio daya rata rata yang dikonsumsi oleh beban dan nilai tegangan RMS diberikan pernyataan sebagai <sup>(78)</sup>:

$$G = \frac{\bar{P}_3}{V_\Sigma^2} \text{ dimana } V_\Sigma^2 \text{ adalah tegangan rms}$$

$$V_\Sigma^2 = \sqrt{V_a^2 + V_b^2 + V_c^2} \text{ dan } V_a, V_b, V_c$$

adalah nilai tegangan rms pada fasa a, b dan c.  $\bar{P}_3$  adalah nilai rata rata daya sesaat tiga fasa yang dihitung dari daya aktif. Besarnya arus referensi dapat dihitung dengan :

$$i_{ca}(t) = G.v_a(t) - i_a(t)$$

$$i_{cb}(t) = G.v_b(t) - i_b(t)$$

$$i_{cc}(t) = G.v_c(t) - i_c(t)$$

### B. Metode Referensi Sinkron

Metode ini menggunakan Transformasi Park. Komponen arus injeksi Park sebuah sistem tiga fasa dapat ditemukan melalui penerapan Clark Transform yang menyebabkan arus  $i_a, i_b, i_c$  direpresentasikan kedalam dua koordinat  $i_\alpha$  dan  $i_\beta$  kemudian dengan rotasi referensi sistem sudut  $\theta$  dimasukan kedalam koordinat  $i_d$  dan  $i_q$ . Kemudian dengan adanya komponen nol, maka nilai arus pada koordina  $0 - d - q$  dapat diperoleh :

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_d \\ i_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ \cos\theta & \cos\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & \cos\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \\ -\sin\theta & -\sin\left(\theta - \frac{2\pi}{3}\right) & -\sin\left(\theta + \frac{2\pi}{3}\right) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

Daya sesaat dapat dihitung dengan :

$$p(t) = v_0.i_0 + v_d.i_d + v_q.i_q$$

Untuk meminimalkan daya reaktif yang hilang , harus dikompensasikan daya reaktif sebesar :

$$\vec{q}(t) = \begin{bmatrix} v_q.i_0 - v_0.i_q \\ v_0.i_d - v_d.i_0 \\ v_d.i_q - v_q.i_d \end{bmatrix}$$

Untuk tujuan membuat nol pada daya reaktif maka diperoleh hubungan :

$$\begin{aligned} \vec{q}(t) = \vec{0} &\Rightarrow v_q.i_0 - v_0.i_q = 0 \\ &v_0.i_d - v_d.i_0 = 0 \\ &v_d.i_q - v_q.i_d = 0 \end{aligned}$$

### C. Metode p - q Theory

Teori ini juga dikenal dengan "instantaneous power theory" yang ditulis oleh Akagi pada tahun 1983 untuk mengontrol aktif filter. p - q teori mengandung transformasi aljabar tegangan dan arus sistem tiga fasa dari koordinat  $a - b - c$  ke koordinat  $\alpha - \beta - 0$  yang diikuti oleh perhitungan komponen teori daya sesaat sebagai berikut <sup>(12378)</sup>:

$$\begin{bmatrix} v_0 \\ v_\alpha \\ v_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_a \\ v_b \\ v_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} i_0 \\ i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} & 1/\sqrt{2} \\ 1 & -1/2 & -1/2 \\ 0 & \sqrt{3}/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_c \end{bmatrix}$$

$p_0 = v_0.i_0$  adalah daya sesaat urutan nol

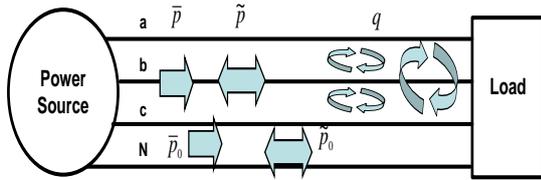
$P = v_\alpha.i_\alpha + v_\beta.i_\beta$  adalah daya nyata

$q = v_\alpha.i_\beta - v_\beta.i_\alpha$  adalah daya imajinaer (Reaktif power)

Hubungan nilai tegangan dan arus komponen p dan q pada koordinat  $\alpha - \beta$  adalah

$$\begin{bmatrix} p \\ q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} v_\alpha & v_\beta \\ -v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_\alpha \\ i_\beta \end{bmatrix}$$

Nilai nilai ini diilustrasikan pada gambar 2 berikut ini



Gambar 2 Komponen Daya Teori p q

$\bar{p}_0$  = Nilai rata rata dari daya sesaat urutan nol, yaitu yang berkaitan dengan energi persatuan waktu yang ditransfer dari power suply ke beban melalui komponen tegangan dan arus urutan nol.

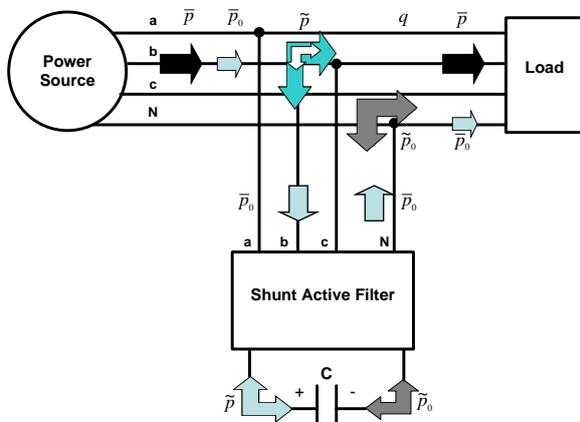
$\tilde{p}_0$  = Nilai bolak balik dari daya sesaat urutan nol, yaitu energi persatuan waktu yang diubah diantara power suply dengan beban melalui komponen urutan nol.

$\bar{p}$  = Nilai rata rata daya sesaat , yaitu energi persatuan waktu yang ditransfer dari power suply ke beban melalui kawat atau koordinat a b c.

$\tilde{p}$  = Nilai bolak balik dari daya sesaat , yaitu energi persatuan waktu yang diubah diantara power suply dan beban melalui kawat atau koordinat a b c.

$q$  = Nilai daya sesaat imajiner, yaitu daya yang diubah diantara fasa ke beban.

Seperti telah dijelaskan sebelumnya,  $\bar{p}$  adalah komponen daya p q yang selalu diharapkan. Kuantitas ini dapat dikompensasi menggunakan paralel aktif filter seperti tampak pada gambar 3.  $\bar{p}_0$  dapat dikompensasi tanpa memerlukan banyak power suply pada paralel aktif filter. kuantitas ini dikirimkan dari power suply ke beban melalui aktif filter. Ini artinya bahwa energi yang sebelumnya ditransfer dari sumber ke beban melalui komponen tegangan dan arus urutan nol, sekarang dikirimkan melalui sebuah jalan yang seimbang pada sumber kawat fasa <sup>(7 8)</sup>.



Gambar 3. Kompensasi Komponen Daya  $\tilde{p}$  ,  $q$  ,  $\tilde{p}_0$  dan  $\bar{p}_0$

Pada gambar 3 kapasitor hanya perlu mengkompensasi  $\tilde{p}$  dan  $\tilde{p}_0$ , selama nilai ini harus disimpan pada komponen tersebut pada beberapa saat untuk kemudian dikirimkan ke beban. Untuk kalkulasi arus kompensasi referensi ke dalam koordinat  $\alpha - \beta$  persamaan dibalik dan daya dikompensasi menggunakan persamaan :

$$\begin{bmatrix} i_{c\alpha^*} \\ i_{c\beta^*} \end{bmatrix} = \frac{1}{v_\alpha^2 + v_\beta^2} \begin{bmatrix} v_\alpha & -v_\beta \\ v_\beta & v_\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \tilde{p} - \bar{p}_0 \\ q \end{bmatrix}$$

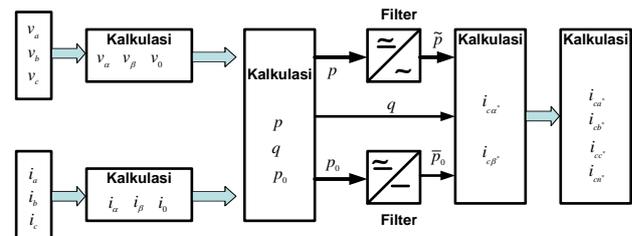
Selama arus urutan nol dikompensasi, arus referensi pada koordinat 0 adalah  $i_{0^*} = i_0$ , dan untuk memperoleh arus kompensasi referensi koordinat  $abc$  transformasi balik diberikan dala persamaan :

$$\begin{bmatrix} i_{ca^*} \\ i_{cb^*} \\ i_{cc^*} \end{bmatrix} = \sqrt{\frac{2}{3}} \begin{bmatrix} 1/\sqrt{2} & 1 & 0 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & \sqrt{3}/2 \\ 1/\sqrt{2} & -1/2 & -\sqrt{3}/2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_{c0^*} \\ i_{c\alpha^*} \\ i_{c\beta^*} \end{bmatrix}$$

Dan  $i_{cn^*} = -(i_{ca^*} + i_{cb^*} + i_{cc^*})$

### 3. ALGORITMA KALKULASI TEORI p q

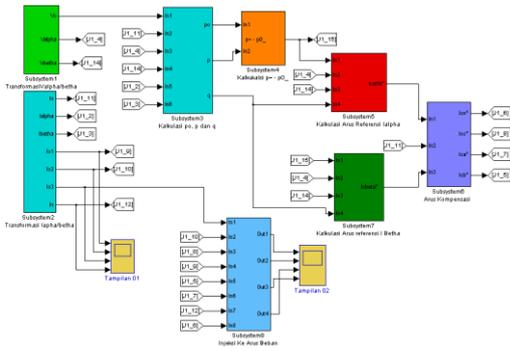
Strategi kontrol untuk mendapatkan arus referensi kompensasi seperti tampak pada gambar 4 dari algoritma perhitungan komponen p q dibawah ini <sup>(1234)</sup>:



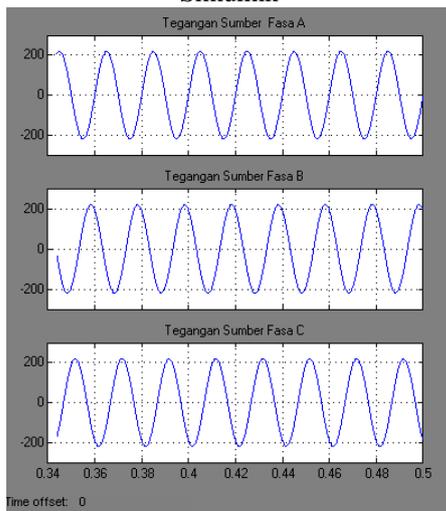
Gambar 4. Algoritma Kalkulasi Teori p q

### 4. SIMULASI , HASIL DAN ANALISA

Penelitian ini menggunakan tools Matlab Simulink, yang digunakan untuk membangun simulasi algoritma teori pq diatas, adapun blok diagram simulasi tampak pada gambar 5 seperti dibawah ini :

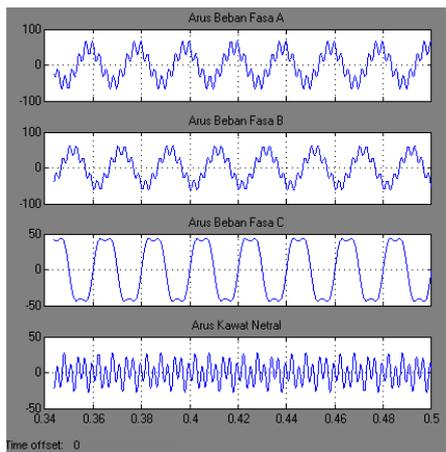


Gambar 5. Diagram Simulasi Dengan Matlab Simulink



Gambar 6. Tegangan Sumber Fasa a b c

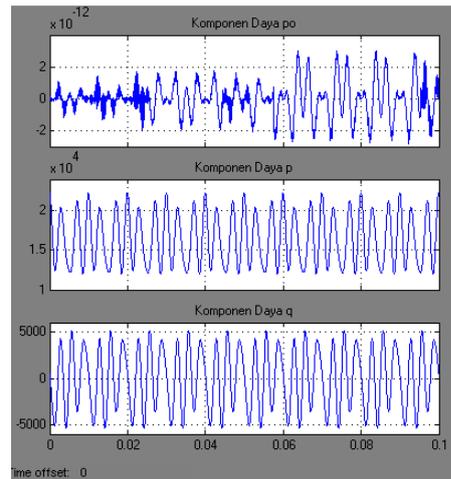
Tegangan masukan masing masing fasa berbentuk sinusoidal murni dengan amplitude 220V beda fasa 120°.



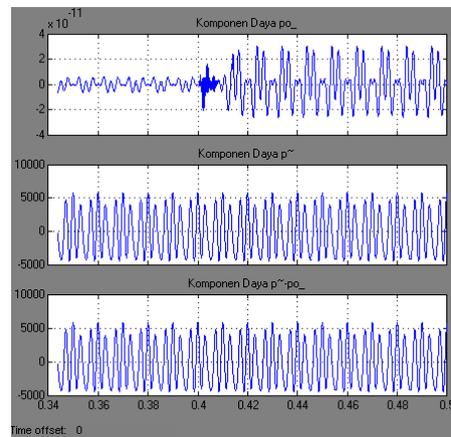
Gambar 7 Arus Beban fasa a b c n yang terdistorsi

Simulasi kuantitas arus fasa a b c yang terdistorsi dengan menambahkan gelombang harmonic dengan amplitude 10 V frekuensi 350 Hz untuk fasa a, 15 V frekuensi 350 Hz untuk fasa b dan 5 V frekuensi 150 Hz pada fasa c. Arus netral diperoleh dengan menjumlahkan Ia, Ib dan Ic. Hasil

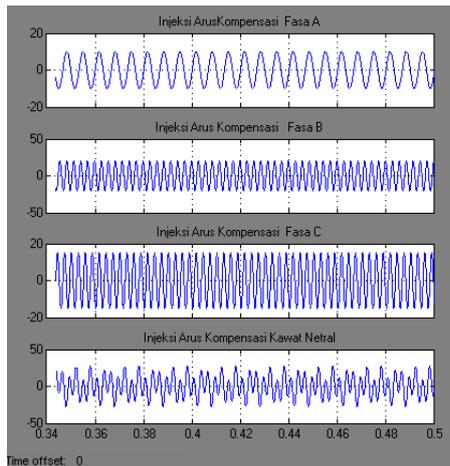
simulasi arus netral ini menunjukkan arus yang besar sekali dan ini sangat membahayakan, sehingga diperlukan usaha untuk meredamnya. Usaha itu dengan mengkompensasi atau menginjeksikan arus kompensasi kepada masing masing fasa untuk memperoleh bentuk keluaran arus pada sisi beban yang diharapkan sinusoidal murni. Sehingga arus netral mempunyai nilai yang mendekati nol (40 mA).



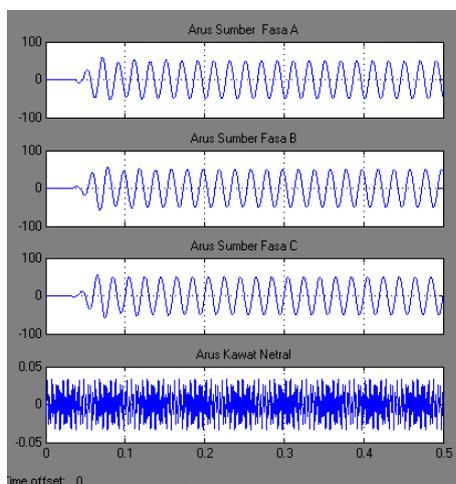
Gambar 8 Komponen Daya p dan q



Gambar 9. Komponen Daya  $\bar{p}_0, \tilde{p}$  dan  $\tilde{p} - \bar{p}_0$



Gambar 10 Injeksi Arus Kompensasi fasa a b c



Gambar 11. Arus Sumber Yang Diharapkan Sinusoidal

## 5. KESIMPULAN

Paper ini menjelaskan tentang perhitungan teori komponen daya sesaat  $p$   $q$  yang digunakan untuk meminimalisasi pengaruh harmonisa pada system jala jala untuk beban tidak seimbang. Pengaruh harmonisa dapat diredam atau dihilangkan dengan sebuah tapis filter sejajar yang didasarkan pada teori  $p$   $q$ . Injeksi atau kompensasi dari beberapa komponen daya  $p$  maupun  $po$  memperlihatkan pengaruh yang terjadi pada kawat urutan nol sehingga nampak pada kawat urutan nol arus netral menjadi mendekati nol. Dengan arus netral yang mendekati nol maka rugi rugi daya dapat ditekan semaksimal mungkin dan efisiensi akan lebih baik .

## REFERENCES

1. H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae. "Generalized Theory of the Instantaneous Reactive Power in Three-phase Circuits", *IEC'83 - Intr. Power Electronics Conf.* Tokyo, Japan. 1983. pp. 1375-1386.

2. H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae, "Instantaneous Reactive Power Compensator Comprising Switching Devices without Energy Storage Components". *IEEE Trans. Industry. Applic.*, vol. 20, June 1984.
3. E. H. Watanabe, R. M. Stephan, M. Aredes. "New Concepts of Instantaneous Active and Reactive Powers in Electrical Systems with Generic Loads". *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 8, no. 2. April 1993. pp. 697-703.
4. M. Aredes, E. H. Watanabe, "New Control Algorithm for Series and Shunt Three-phase Four-Wire Active Power Filters". *IEEE Trans. Power. Delivery*, vol 10, no. 3, July 1995. pp. 1619-1656.
5. E. Clarke, *Circuit Analysis of A-C Power Systems, Vol I – Symmetrical and Related Componentes*, John Wiley and Sons, 1943.
6. Fortescue. "Method of Symmetrical Co-ordinates Applied to the Solution of Polyphase Networks". *A.I.E.E. Trans.*, vol. 37, June 1918. pp. 1027-1140.
7. Joso Afonso, Carlos Couto, Julio Martins. "Active Filters with Control Based on the  $p$ - $q$  Theory". *IEEE Industrial Electronics SocieIJa Newsletter* vol. 47. 3. Sept. 2000.
8. Afonso, H. R. Silva, J. S. Martins, "Active Filters for Power Quality Improvement". *IEEE Portugal 2001*, Porto, Portugal. 10-13 Sept. 2001.