

ANALISIS HARMONISA *ELECTRONIC LOAD CONTROL (ELC) PADA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO (PLTMH)*

Ali Mashar¹, Dja'far Sodik¹

**Jurusan Teknik Konversi – Politeknik Negeri Bandung, Jl. Gegerkalong Hilir Ds. Ciwaruga Bandung,
Telp. 022-2013789, ekst. 150, Fax. 022-2013889, email: amashar69@yahoo,*

*** Jurusan Teknik Konversi – Politeknik Negeri Bandung*

ABSTRACT

Electronic Load Control (ELC) is a common unit used in Micro Hydro Power Plants with synchronous generator to keep network frequency at its nominal. The ELC regulates the power of dummy load as the power flowing to load (consumers) varies. Maintaining frequency is just the same as maintaining the output active power of the plant (generator). If there is change on the load the ELC regulates the power flowing to the ballast (dummy load) by chopping the voltage electronically. Such operation will generate harmonics in the system which can cause problems such as audio noisy and mal function of protection system. This paper evaluates the harmonics content of the ELC in Total Harmonic Distortion (THD) and its influences to the system voltage. Experimental evaluations have been conducted at both laboratory and plant. It gives result that there is un tolerable harmonic content generated by the control unit based on IEEE 519-1992. It gives the same results on the system voltage quality.

Keywords : Micro Hydro Power Plant, Electronic Load Control (ELC), ballast, Total Harmonic Distortion (THD).

ABSTRAK

Electronic Load Control (ELC) adalah suatu unit kontrol yang sudah sangat umum digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang menggunakan generator sinkron. Alat ini digunakan untuk menjaga frekuensi jaringan agar tetap pada harga presetnya. ELC mengatur daya dummy load ketika daya yang mengalir ke beban berubah-ubah. Menjaga frekuensi sama halnya dengan menjaga daya keluaran dari PLTMH (generator). Jika ada perubahan pada beban, ELC mengatur daya yang mengalir ke ballast (dummy load) secara elektronik, yaitu dengan melakukan pencacahan gelombang tegangannya. Operasi ini akan membangkitkan harmonisa yang bisa menimbulkan permasalahan seperti terganggunya peralatan audio dan gagalnya sistem proteksi. Paper ini mengevaluasi kandungan harmonisa yang ditimbulkan oleh ELC dalam Total Harmonic Distortion (THD) dan pengaruhnya pada tegangan sistem. Evaluasi eksperimental telah dilakukan baik di laboratorium maupun di PLTMH demikian pula dengan analisis terhadap karakteristik harmonisanya. Ternyata ELC membangkitkan harmonisa melampaui batas yang telah ditetapkan oleh IEEE 519-1992 demikian pula pengaruhnya terhadap kualitas tegangan sistem.

Kata kunci: PLTMH, Electronic Load Control (ELC), ballast, Total Harmonic Distortion (THD).

PENDAHULUAN

Pada saat ini telah banyak Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) yang telah dibangun di Indonesia seiring dengan kebijakan pemerintah di bidang konservasi dan diversifikasi energi.

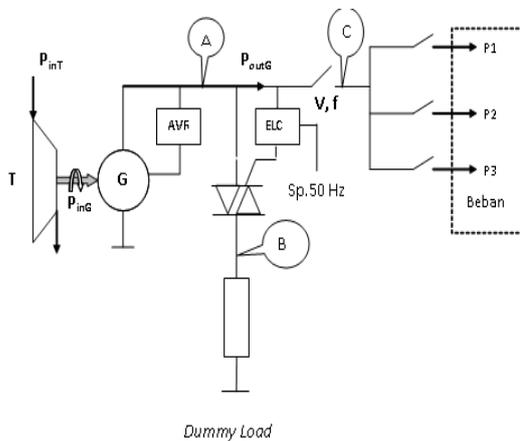
Ada sejumlah permasalahan yang dialami pada PLTMH-PLTMH tersebut,

yang salah satunya adalah terganggunya peralatan audio konsumen (Gunung Halu Kabupaten Bandung 20 kW, dan PLTMH Pesantren Suryalaya, Ciamis 60 kW). Permasalahan sistem proteksi (Sulawesi Selatan 120 kW). Permasalahan seperti ini tidak hanya terjadi pada PLTMH-PLTMH yang disebutkan, tapi pada yang lain yang menggunakan teknologi sejenis.

Atas dasar itulah, penulis melakukan penelitian untuk mengkaji permasalahan yang terjadi sehingga bisa dicari solusinya.

1) Prinsip PLTMH

Secara skematik prinsip PLTMH ditunjukkan pada Gambar 1. PLTMH mempunyai *head* (ketinggian) dan debit air konstan, sehingga daya potensial air yang masuk ke turbin (P_{inT}) juga konstan. Dengan demikian daya masukan (poros) generator (P_{inG}) juga akan konstan. Sementara itu, besar daya keluaran generator (P_{Gen}) yang disuplai ke beban (P_{Beban}) akan selalu berubah sesuai dengan kebutuhan konsumen.



Gambar 1. Skematik PLTMH dengan ELC.

Automatic Voltage Regulator (AVR) bertindak sebagai penjaga tegangan keluaran generator, sedangkan untuk menjaga frekuensi agar tetap konstan pada PLTMH tidak menggunakan sistem governor sebagaimana pada pembangkit-pembangkit besar karena tidak ekonomis [1]. Untuk keperluan tersebut pada PLTMH yang menggunakan generator sinkron menggunakan *Electronic Load Control* (ELC) [2] dan untuk PLTMH yang menggunakan generator induksi menggunakan *Induction Generator Controller* (IGC) seperti yang dikembangkan dalam [3].

Aksi pengendali ini untuk menjaga keseimbangan antara daya beban dan daya

yang masuk ke dummy load (ballast) untuk mendapatkan daya keluaran total generator terjaga tetap. Atau dapat dituliskan:

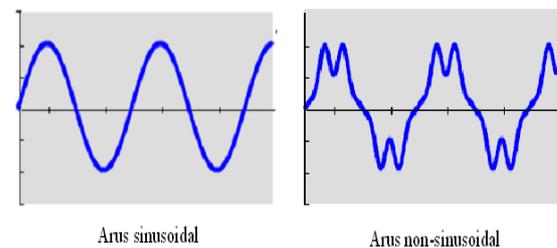
$$P_{Gen} = P_{Beban} + P_{Ballast} = \text{Konstan}$$

Dengan demikian putaran atau frekuensi generator akan terjaga konstan pula.

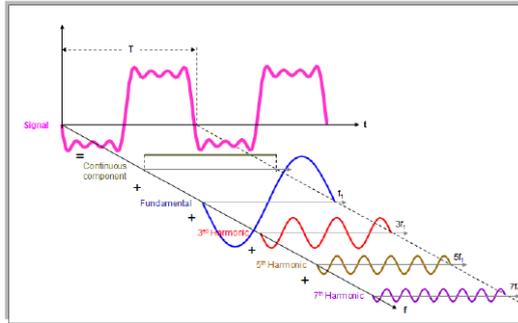
2) Harmonisa, sumber dan dampaknya

PLTMH-PLTMH yang diambil sebagai sampel informasi di atas merupakan PLTMH yang menggunakan ELC. ELC ini melakukan pengendalian daya yang mengalir ke dummy load (ballast) dengan mengatur tegangannya melalui pengaturan sudut penyalan Triac fasa-tiga (Gambar 1).

Pengendalian daya seperti ini merupakan salah bentuk rekayasa sinyal. Dalam suatu beban atau alat listrik yang dalam operasinya menggunakan prinsip rekayasa sinyal akan membangkitkan harmonisa [4]. Beban listrik yang seperti ini disebut sebagai beban non-linier, yaitu suatu beban yang bila diberi tegangan sinusoidal, arus yang mengalir ke beban tersebut tidak sinusoidal lagi yang secara tipikal seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2. Arus yang mengandung harmonisa akan menimbulkan harmonisa pada tegangannya yang fenomenanya seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 2 Bentuk gelombang arus pada beban linier dan non-linier tipikal



Gambar 3 Pengaruh spektrum harmonisa terhadap sinyal

Dampak dari harmonisa ini sangat luas di antaranya adalah pemanasan yang tidak perlu, faktor daya dan efisiensi rendah, kapasitor perbaikan daya mengalami beban lebih dan bisa pula mengakibatkan resonansi pada sistem jaringan yang bisa mengakibatkan gangguan hebat pada operasi sistem[5]. Harmonisa juga meningkatkan arus jaringan, tidak berfungsinya peralatan, pembacaan alat ukur tidak benar, gangguan pada sistem peralatan komunikasi dan telepon [6].

Atas dasar itulah evaluasi harmonisa pada sistem kelistrikan pada saat ini sangat penting guna menentukan tindak lanjut untuk mengatasinya.

3) Perhitungan Harmonisa

Salah satu metoda perhitungan harmonisa adalah dengan menggunakan Deret Fourier (*Fourier Series*). Berdasarkan konsep Deret Fourier bahwa setiap sinyal yang mempunyai bentuk periodik dapat dibuat dengan menggunakan sederetan fungsi sinus dan cosines. Berikut ini adalah rumus-rumus penting terkait dengan harmonisa [7]

a) Deret Fourier:

$$v(t) = V_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} (V_{(n)s} \sin(n\omega t) + V_{(n)c} \cos(n\omega t)) \quad (2.1)$$

Berdasarkan persamaan, diperoleh koefisiennya:

$$V_{(n)s} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v(t) \sin(n\omega t) d\omega t \quad (2.2)$$

$$V_{(n)c} = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} v(t) \cos(n\omega t) d\omega t \quad (2.3)$$

di mana: n adalah bilangan bulat dan $\omega = 2\pi/T$ dan T adalah waktu perioda fundamental.

b) Total Harmonic Distortion (THD)

Total harmonic distortion merupakan ukuran dari semua komponen harmonisa yang menyebabkan terdistorsinya suatu bentuk gelombang sinyal. Besaran ini dihitung dengan dua cara, yaitu: *total harmonic distortion* dihitung sebagai jumlah semua komponen harmonisa (kecuali fundamental) (secara vektoris) dibagi dengan besar harga fundamentalnya yang kemudian direpresentasikan sebagai THD atau TDD (*Total Demand Distortion*) yang hanya berlaku untuk arus, di mana yang menjadi denominator bukan arus fundamentalnya, tapi arus total nominalnya (I_n) (jumlah arus fundamental dan jumlah harmonisanya).

c) Total Harmonic Distortion Tegangan (THD-V)

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_{(n)}^2}}{V_{(1)}} \quad (2.4)$$

d) Total Harmonic Distortion Arus (THD-I):

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}} \quad (2.5)$$

e) Total Demand Distortion (TDD), hanya untuk Arus:

$$TDD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{rated}} \quad (2.6)$$

f) Harga Efektif (rms):

$$V_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt} = V_{(1)} \sqrt{1 + THD_V^2} \quad (2.7)$$

$$I_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i(t)^2 dt} = I_{(1)} \sqrt{1 + THD_I^2} \quad (2.8)$$

g) Daya Aktif, Daya Aktif Total

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t)i(t) dt = P_{dc} + \sum_{n=1}^{\infty} P_{(n)} \quad (2.9)$$

di mana:

$$P_{(n)} = V_{(n)} I_{(n)} \cos(\varphi_{(n)})$$

h) Daya Reaktif:

$$Q = Q_{(1)} + \sum_{n=2}^{\infty} Q_{(n)} \quad (2.10)$$

di mana:

$$Q_{(n)} = V_{(n)} I_{(n)} \sin(\varphi_{(n)})$$

i) Daya Semu:

$$S = V_{RMS} I_{RMS} \quad (2.11)$$

j) Daya Distorsi:

$$D = \sqrt{S^2 - P^2 - Q^2} \quad (2.12)$$

METODOLOGI

Metode penelitian yang digunakan adalah:

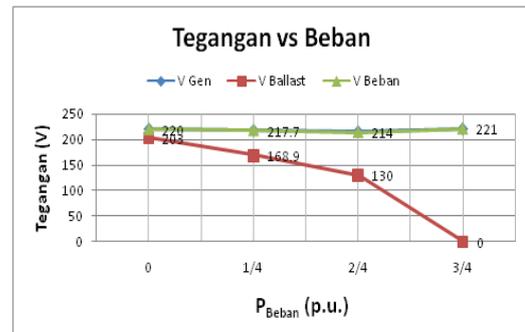
- Observasi lapangan. Langkah ini dilakukan untuk mempelajari sistem PLTMH yang digunakan sebagai obyek.
- Uji coba laboratorium. Pada langkah ini dilakukan uji laboratorium untuk mendapatkan gambaran tentang operasi kerja sistem ELC secara riil dan akurat. Selain itu, uji ini untuk menentukan titik pengukuran, memastikan teknik pengambilan data dan variabel-variabel yang diperlukan.
- Pengukuran langsung pada PLTMH yang menjadi obyek penelitian.
- Analisis tentang gejala yang terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

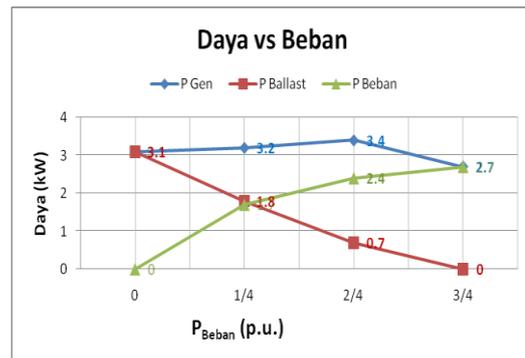
Pengukuran dilakukan pada 2 (dua) titik, yaitu pada keluaran generator (Titik A) dan pada keluaran ELC (Titik B).

1) Kerja ELC pada Sistem

Gambar 4 dan 5 menunjukkan kerja ELC pada sistem PLTMH. Dengan daya beban yang berubah-ubah, tegangan generator terjaga konstan oleh AVR (Gbr. 4), sedangkan daya ballast selalu mengimbangi perubahan daya yang mengalir ke beban (Gbr. 5) sehingga daya total yang dikeluarkan generator selalu tetap. Dengan demikian frekuensi tegangan juga akan terjaga sesuai dengan presetnya.



Gambar 4 Tegangan sebagai fungsi dari daya yang mengalir ke beban

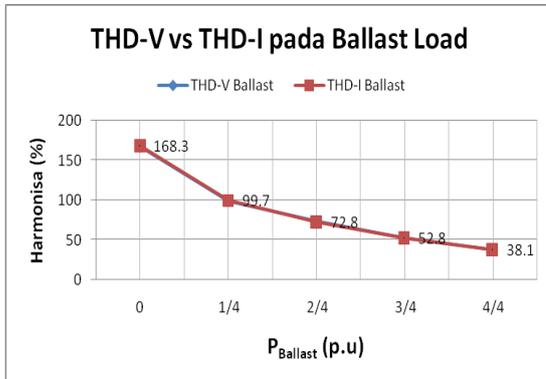


Gambar 5 Daya Generator, Ballast dan Beban sebagai fungsi P_{Beban} (p.u.)

2) Harmonisa Ballast ELC

Untuk menemukenali karakteristik harmonisa perlu pengkajian terhadap hubungan antara harmonisa tegangan dan harmonisa arus pada Titik keluaran ballast (Titik B) dan hubungan antara THD-V dan THD-I sebagai fungsi daya

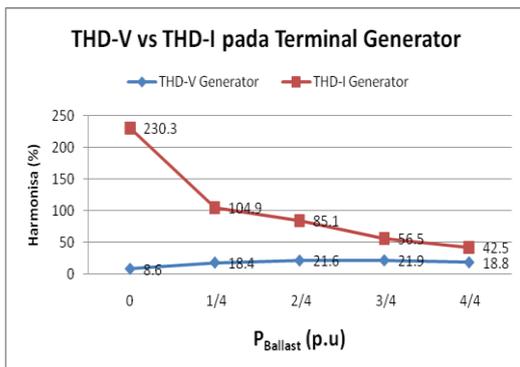
ballast ($P_{Ballast}$). Di samping itu akan direview pula spektrum harmonisanya. Gambar 6 menunjukkan harmonisa tegangan dan arus pada ballast



Gambar 6 Kurva THD-V, THD-I sebagai fungsi $P_{Ballast}$ (p.u.)

Dari kurva pada Gambar 6 terlihat jelas bahwa kurva THD-V dan THD-I berimpit. Hal ini sangat beralasan karena ballast merupakan beban resistif murni (heater). Trend harmonisanya adalah menurun dengan semakin meningkatnya daya ke ballast. Jika serapan daya mendekati penuh THD-V/I 38,1%, dan dengan serapan daya ke ballast mendekati nol THD-V/I meningkat menjadi 168,3%. Data ini menunjukkan demikian tinggi harmonisa yang dibangkitkan oleh ELC ini.

3). Pengaruh harmonisa ballast terhadap keluaran generator



Gambar 7 Kurva THD-V, THD-I Generator sebagai fungsi $P_{Ballast}$ (p.u.)

Gambar 7 menunjukkan kurva THD-V dan THD-I pada sisi generator sebagai fungsi $P_{Ballast}$ di mana semakin tinggi daya yang diserap oleh ballast semakin

menurun THD arusnya tetapi tidak demikian dengan THD tegangannya yang cenderung naik. Kalau diperhatikan kontur dari THD-I generator ini similar dengan THD-I pada keluaran ELC. Hal ini sangat beralasan karena THD-I pada generator merupakan akibat langsung dari THD-I ballast. Begitu juga dengan THD-V generator, terjadinya harmonisa ini adalah karena adanya THD-I pada ballast ELC yang mengalir ke impedansi generator dan saluran antara ballast dan generator sehingga THD-V= 18 – 22 %. (Spesifikasi generator: THD-V <2% tanpa beban).

Standard IEEE 519-1992: untuk general system: THD-V=5% dan TDD=5% (untuk $I_{SC} < 20 I_n$). Dari sini terlihat jelas bahwa ELC ini menimbulkan harmonisa yang jauh melampaui batas yang diperbolehkan. Sedangkan untuk TDD perlu dilakukan konversi dari THD-I ke TDD seperti yang disajikan berikut ini.

3.1 Konversi THD-I ke TDD

Standar harmonisa arus menggunakan ukuran TDD sedangkan hasil pengukuran menggunakan ukuran THD. Oleh karena itu perlu dilakukan konversiya.

Seperti yang dituliskan pada Pers. 2.5 bahwa THD-I merupakan hasil bagi antara harga rms harmonisa total dan arus fundamentalnya:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)}}$$

Sedangkan TDD (Total Demand Distortion) dihitung berdasarkan hasil bagi antara harga rms harmonisa totalnya dan arus nominal (rated)nya, seperti yang ditulis pada Pers. 2.6

$$TDD_I = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{(n)}^2}}{I_{(1)rated}}$$

Dengan menggunakan Pers. 2.8, dengan diketahuinya harga THD-I, maka harga

rms arus fundamentalnya dapat diketahui, yaitu:

$$I_{RMS} = I_{(1)} \sqrt{1 + THD_I^2}$$

Sehingga:

$$TDD = \frac{I_{RMS} THD_I}{I_{(1)rated} \sqrt{1 + THD_I^2}}$$

Dengan demikian konversi bisa dilakukan. Bila Irated = 30 A diperoleh hasil konversi seperti dalam tabel.

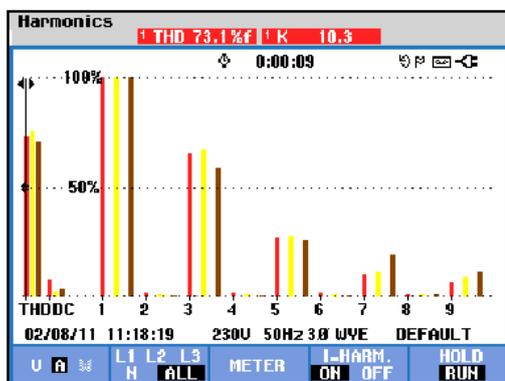
Tabel 1. Hasil Konversi THD-I menjadi TDD

| Daya Ballast Load (p.u) | 1/4 | 2/4 | 3/4 | 4/4 |
|-------------------------|------|------|------|-------|
| THD-I Ballast (%) | 81.3 | 97.5 | 76.9 | 63.2 |
| I-Ballast (A) | 3.7 | 10 | 14 | 17.33 |
| TDD Ballast (%) | 8.6 | 27.4 | 31.1 | 32.3 |

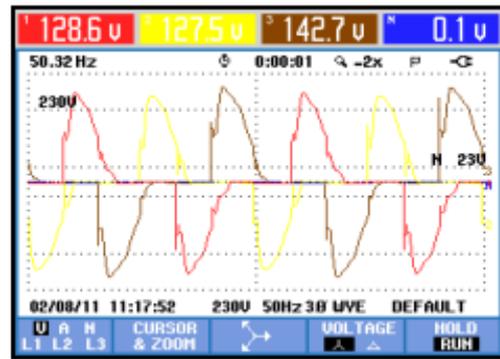
Tabel 1 memberikan informasi bahwa ELC menimbulkan harmonisa arus sampai lebih dari 30% atau 6 kali lipat dari standard.

4). Spektrum Harmonisa pada Ballast

Spektrum harmonisa sangat penting diketahui untuk mengidentifikasi pada frekuensi-frekuensi kelipatan frekuensi fundamental yang dominan dalam menimbulkan harmonisa. Berikut ini diambil satu contoh spectrum yang cukup dapat mewakili, yaitu untuk P_{Ballast} = 2/4 p.u. seperti yang disajikan pada Gambar 8.



Gambar 8. Spektrum harmonisa arus ballast pada P_{Ballast} = 2/4 p.u.



Gambar 9. Bentuk gelombang tegangan ballast pada P_{Ballast} = 2/4 p.u.

Dari gambar ini terlihat bahwa frekuensi yang membangkitkan harmonisa ada pada frekuensi kelipatan 3, 5, 7 dan 9. Ini merupakan informasi yang sangat penting untuk melakukan tindak lanjut mengatasinya. Gambar bentuk gelombang tegangan ballast ELC disajikan pada Gambar 9. Ini memperkuat tingginya kandungan harmonisa yang ditunjukkan demikian tingginya perbedaannya dengan gelombang sinusoidalnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis di atas dapat disimpulkan bahwa, ELC yang menggunakan triac dalam pengaturan daya ballast-nya menjadi sumber harmonisa pada sistem PLTMH. Kandungan harmonisa pada ELC ini berubah-ubah sesuai dengan tegangan keluaran (sudut penyalaan), semakin besar sudut penyalaannya semakin besar pula harmonisanya dan akan berdampak langsung pada tingginya harmonisa tegangan keluaran generator.

DAFTAR ACUAN

- [1] Hearn, I.R. et al, 1992, A rugged Simplistic Reliable Micro Hydro Generation System, IEEE Proc. of 3rd AFRICON Conference, 22-24 Sep 1992.
- [2] Hasan, A., 2007, Pengontrol Beban Elektronik pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro, Jurnal Teltron,

- Universitas Budiluhur, Vol. 4, No. 2 Juli 2007.
- [3] Wibowo, Cahyo Tri, Suharyanto, dan M. Isnaeni B.S., 2010, Aplikasi Programmable Logic Controller dan Microcontroller sebagai Induction Generator Controller pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro, Proceedings of CITEE, UGM, Juli 2010.
- [4] Ray, Larry, Louis Hapeshis, 2005, Power System Harmonics Considerations: Tips and Tools for Reducing Harmonic Distortion In Electronic Drive Application
- [5] Swamy, Mahesh M, 2007, Understanding Input Harmonics and Techniques to Mitigate Them, Yaskawa Electric America, USA.
- [6] Hurdle, Kelvin J, 2009, Harmonic Mitigation Techniques for Low and Medium Voltage Drives, ISA Chapter Meeting January 20th 2009
- [7] Lundquist, Johan, 2001, Thesis: On System Harmonics in Power System, Chalmers University of Technology, Sweden.

