

## รายการอ้างอิง

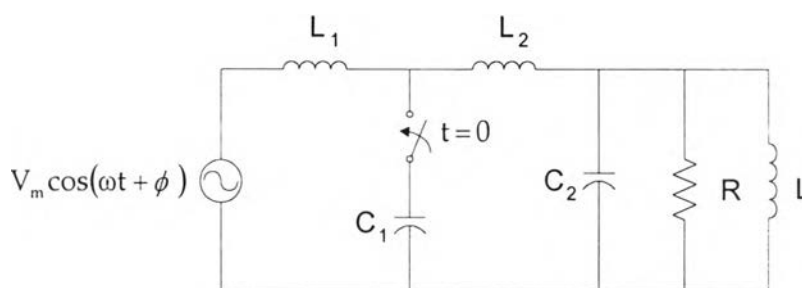
1. สุรพล ดำรงกิตติกุล, ประดิษฐ์พงษ์ สุขศิริถาวรกุล, Application of Electromagnetic Transients Program for Electrical Transients in Power System, เอกสารประกอบการอบรมทางวิชาการ, ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีไฟฟ้ากำลัง, คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พฤศจิกายน 2540.
2. Hermann W. Dommel, EMTP Theory Book, 2<sup>nd</sup> edition, Microtran Power System Analysis Corporation, 1996.
3. Electromagnetic Transients Analysis Program: Reference Manual. Microtran Power System Analysis Corporation, 1992.
4. Electrotek Concepts, Inc., Evaluation of Distribution Capacitor Switching Concerns. Final Report, EPRI TR-107332, October 1997.
5. R. W. Alexander, "Synchronous Closing Control for Shunt Capacitors", IEEE PAS, Vol. PAS-104, No. 9, September 1985, pp. 2619-2626.
6. มงคล เดชนครินทร์, คณิตศาสตร์วิศวกรรมไฟฟ้า, สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์, 2536
7. สมโชค บุญชัยศรี, การวิเคราะห์แรงดันเกินชั่วขณะเนื่องจากการต่อวงจรตัวเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 115 กิโลโวลต์, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2542.
8. Allan Greenwood, Electrical Transients in Power Systems. 2<sup>nd</sup> edition, John Wiley & Sons, 1991.
9. IEEE Surge Protective Devices Committee, WG. 3.4.17, "Impact of Shunt Capacitor Banks on Substation Surge Environment and Surge Arrester Applications", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No.4, October 1996, pp. 1798-1809.

ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## การหาสมการแรงดัน และกระแสเกินชั่วคราว

ก.1 แสดงวิธีหาสมการของแรงดัน และกระแสเกินชั่วคราว จากวงจรรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2

จากรูปที่ 2.2 และใช้กฎ KVL จะได้

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} + V_{C1} = V_m \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{A.1.1})$$

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} + V_{C2} = V_{C1} \quad (\text{A.1.2})$$

และ

$$I_2 = I_{C2} + I_R + I_L$$

$$I_2 = C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{V_{C2}}{R} + \frac{1}{L} \int V_{C2} dt \quad (\text{A.1.3})$$

$$I_1 = I_{C1} + I_2$$

$$I_1 = C_1 \frac{dV_{C1}}{dt} + C_2 \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{V_{C2}}{R} + \frac{1}{L} \int V_{C2} dt \quad (\text{A.1.4})$$

หาอนุพันธ์อันดับหนึ่งของ สมการที่ (A.1.3) และ (A.1.4)

$$\frac{dI_2}{dt} = C_2 \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{V_{C2}}{L} \quad (A.1.5)$$

$$\frac{dI_1}{dt} = C_1 \frac{d^2V_{C1}}{dt^2} + C_2 \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{V_{C2}}{L} \quad (A.1.6)$$

แทน (A.1.5) ลงใน (A.1.2) จะได้

$$L_2C_2 \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_2}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_2}{L} V_{C2} + V_{C2} = V_{C1} \quad (A.1.7)$$

หาอนุพันธ์อันดับที่ 2 สมการที่ (A.1.7)

$$L_2C_2 \frac{d^4V_{C2}}{dt^4} + \frac{L_2}{R} \frac{d^3V_{C2}}{dt^3} + \frac{L_2}{L} \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} = \frac{d^2V_{C1}}{dt^2} \quad (A.1.8)$$

แทน (A.1.6), (A.1.7) และ (A.1.8) ลงใน (A.1.1) ได้

$$\begin{aligned} & L_1C_1L_2C_2 \frac{d^4V_{C2}}{dt^4} + \frac{L_1L_2C_1}{R} \frac{d^3V_{C2}}{dt^3} + \frac{L_1L_2C_1}{L} \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + L_1C_1 \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + \\ & L_1C_2 \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_1}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_1}{L} V_{C2} + L_2C_2 \frac{d^2V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_2}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_2}{L} V_{C2} + V_{C2} \\ & = V_m \cos(\omega t + \phi) \quad (A.1.9) \end{aligned}$$

กำหนดให้  $D = \frac{d}{dt}$  ดังนั้นจะได้

$$\begin{aligned} & \left\{ [L_1L_2C_1C_2]D^4 + \frac{L_1L_2C_1}{R}D^3 + \left[ \frac{L_1L_2C_1}{L} + L_1C_1 + L_1C_2 + L_2C_2 \right]D^2 + \right. \\ & \left. \left[ \frac{L_1}{R} + \frac{L_2}{R} \right]D + \left[ \frac{L_1}{L} + \frac{L_2}{L} + 1 \right] \right\} V_{C2} = V_m \cos(\omega t + \phi) \end{aligned}$$

ทำการจัดรูปสมการใหม่

$$\left\{ D^4 + \frac{1}{RC_2} D^3 + \left[ \frac{1}{LC_2} + \frac{1}{L_2 C_2} + \frac{1}{L_2 C_1} + \frac{1}{L_1 C_1} \right] D^2 + \left[ \frac{1}{L_1 C_1 C_2 R} + \frac{1}{L_2 C_1 C_2 R} \right] D + \left[ \frac{1}{L_1 L C_1 C_2} + \frac{1}{L_2 L C_1 C_2} + \frac{1}{L_1 L_2 C_1 C_2} \right] \right\} \cdot V_{C_2} = \frac{V_m \cos(\omega t + \phi)}{L_1 L_2 C_1 C_2}$$

หรือ

$$\{ AD^4 + BD^3 + CD^2 + ED + F \} \cdot V_{C_2} = G \cdot V_m \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{A.1.10})$$

โดยมีสมการเอกพันธ์ที่เกี่ยวข้องเป็น

$$[ AD^4 + BD^3 + CD^2 + ED + F ] \cdot V_{C_2} = 0 \quad (\text{A.1.11})$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A &= 1 \\ B &= \frac{1}{RC_2} \\ C &= \frac{1}{LC_2} + \frac{1}{L_2 C_2} + \frac{1}{L_2 C_1} + \frac{1}{L_1 C_1} \\ E &= \frac{1}{L_1 C_1 C_2 R} + \frac{1}{L_2 C_1 C_2 R} \\ F &= \frac{1}{L_1 L C_1 C_2} + \frac{1}{L_2 L C_1 C_2} + \frac{1}{L_1 L_2 C_1 C_2} \\ G &= \frac{1}{L_1 L_2 C_1 C_2} \end{aligned}$$

สมการที่ (11) มีสมการ ลักษณะเฉพาะ เป็น

$$Am^4 + Bm^3 + Cm^2 + Em + F = 0 \quad (\text{A.1.12})$$

โดยที่ผลเฉลยของสมการ (A.1.12) จะเป็น ฟังก์ชันเต็มเต็ม  $y_c$  ของสมการที่ (A.1.10)

สมมติให้ มีผลเฉลยเป็น  $m_1, m_2, m_3$  และ  $m_4$  โดยที่  $m$  อาจเป็นจำนวนจริง หรือจำนวนเชิงซ้อน ก็ได้

ถ้ารากเป็นจำนวนจริง (กรณี *หน่วงเกิน* (Overdamped)) จะได้ผลเฉลยเป็น  $y = \exp(mt)$  เมื่อ  $m$  คือรากของสมการ

แต่ถ้าราก เป็นจำนวนเชิงซ้อนสังยุค 2 ราก คือ  $a + jb$  และ  $a - jb$  ผลเฉลยของรากคู่นี้จะเป็น  $y_1 = e^{at} \cos(bt)$  และ  $y_2 = e^{at} \sin(bt)$  นั่นคือกรณี *หน่วงขาด* (Underdamped)

โดยทั่วไปในระบบไฟฟ้าจริงๆ นั้นผลเฉลยจะเป็นกรณี *หน่วงขาด* และ  $a$  จะเป็นค่าลบ ฉะนั้นรากของสมการ (A.1.12) คือ  $a \pm jb$  กับ  $c \pm jd$  และฟังก์ชันเต็มเต็มจะอยู่ในรูป

$$k_1 e^{at} \cos(bt) + k_2 e^{at} \sin(bt) + k_3 e^{ct} \cos(dt) + k_4 e^{ct} \sin(dt)$$

ในการหา อินทิกรัลเฉพาะราย  $Y_p$  ของสมการ (A.1.10) จะสมมติให้ อินทิกรัลเฉพาะราย เป็น

$$Y_p = X \cos(\omega t + \phi) + Y \sin(\omega t + \phi)$$

ทำการหาอนุพันธ์ ลำดับต่างๆ ของ  $Y_p$  เพื่อนำไปแทนใน สมการ (A.1.10) เมื่อแก้สมการ เราจะได้ ค่าของ  $X$  และ  $Y$  ดังนี้

$$X = \frac{G \cdot V_m \cdot (A\omega^4 - C\omega^2 + F)}{(A\omega^4 - C\omega^2 + F)^2 + (E\omega^3 - B\omega)^2} \quad (\text{A.1.13})$$

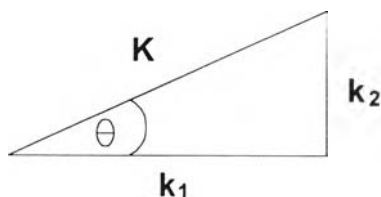
$$Y = \frac{E\omega^3 - B\omega}{A\omega^4 - C\omega^2 + F} \cdot X \quad (\text{A.1.14})$$

ผลเฉลยบริบูรณ์ของสมการ (A.1.10) คือ  $y_c + Y_p$  ซึ่งจากผลเฉลยบริบูรณ์นี้ จะเป็นคำตอบของสมการเชิงอนุพันธ์ของแรงดัน  $V_{C2}$  ที่เวลา  $t$  ใดๆ นั่นคือ

$$\begin{aligned} V_{C2}(t) &= y_c + Y_p \\ &= k_1 e^{at} \cos(bt) + k_2 e^{at} \sin(bt) \\ &\quad + k_3 e^{ct} \cos(dt) + k_4 e^{ct} \sin(dt) \\ &\quad + X \cos(\omega t + \phi) + Y \sin(\omega t + \phi) \end{aligned} \quad (\text{A.1.15})$$

กำหนดให้

$$K = \sqrt{k_1^2 + k_2^2}$$



$$\begin{aligned} k_1 e^{at} \cos(bt) + k_2 e^{at} \sin(bt) &= Ke^{at} \left( \frac{k_1}{K} e^{at} \cos(bt) + \frac{k_2}{K} e^{at} \sin(bt) \right) \\ &= Ke^{at} (\cos(\theta) \cos(bt) + \sin(\theta) \sin(bt)) \\ &= Ke^{at} (\cos(\theta - bt)) \end{aligned}$$

ในทำนองเดียวกันกับอีก 4 พจน์ที่เหลือ สมการ (A.1.15) อาจเขียนใหม่ได้ เป็น (A.1.15.a)

$$V_{C_2}(t) = Ke^{at} (\cos(\theta - bt)) + K_1 e^{ct} (\cos(\alpha - dt)) + K_2 (\cos(\beta - \omega t - \phi)) \quad (\text{A.1.15.a})$$

โดยที่ 2 พจน์แรกนั้น เป็นส่วนของสภาวะชั่วคราว ซึ่งจะหมดไปเมื่อเวลายาวมากขึ้น (เพราะค่า  $a$  และ  $c$  เป็นลบ) ส่วนพจน์สุดท้ายแทนสภาวะคงตัว

การหาสมการแรงดัน  $V_{C_1}(t)$  ทำได้โดยการแทนค่า  $V_{C_2}(t)$  ลงในสมการ (A.1.7)

$$\begin{aligned} V_{C_1}(t) &= [\dots] \cdot k_1 + [\dots] \cdot k_2 + [\dots] \cdot k_3 + [\dots] \cdot k_4 \\ &\quad + [\dots] \cos(\omega t + \phi) + [\dots] \sin(\omega t + \phi) \end{aligned} \quad (\text{A.1.16})$$

และ  $I_{C_1}(t)$  กับ  $I_{C_2}(t)$  คือ  $C_1 \frac{dV_{C_1}(t)}{dt}$  กับ  $C_2 \frac{dV_{C_2}(t)}{dt}$  ตามลำดับ

$$\begin{aligned} I_{C_2}(t) &= [\dots] \cdot k_1 + [\dots] \cdot k_2 + [\dots] \cdot k_3 + [\dots] \cdot k_4 \\ &\quad + [\dots] \cos(\omega t + \phi) + [\dots] \sin(\omega t + \phi) \end{aligned} \quad (\text{A.1.17})$$

$$\begin{aligned} I_{C_1}(t) &= [\dots] \cdot k_1 + [\dots] \cdot k_2 + [\dots] \cdot k_3 + [\dots] \cdot k_4 \\ &\quad + [\dots] \cos(\omega t + \phi) + [\dots] \sin(\omega t + \phi) \end{aligned} \quad (\text{A.1.18})$$

การหาค่าคงที่  $k_1 - k_4$  ทำได้โดยแก้สมการ 4 สมการ ดังนี้

1.  $V_{C2}(0) = V_{C2}(0)$  โดยที่ ค่าทางด้านซ้ายของสมการ หาได้จาก (A.1.13) และ ทางขวาหาจาก กฎการแบ่งแรงดันของวงจรในรูปที่ 2.2 นั่นคือ

$$k_1 + k_2 + k_3 + k_4 = (V_m \cdot \text{abs}(Z/Z_1)) \cdot \cos(\phi + \text{angle}(Z/Z_1)) - X \cos(\phi) + Y \sin(\phi)$$

โดยที่  $Y = 1/R + 1/(i \cdot \omega \cdot L) + j \cdot \omega \cdot C_2$

$$Z = Y^{-1}$$

$$Z_1 = j \cdot \omega \cdot (L_1 + L_2) + Z$$

2.  $V_{C1}(0) = 0$

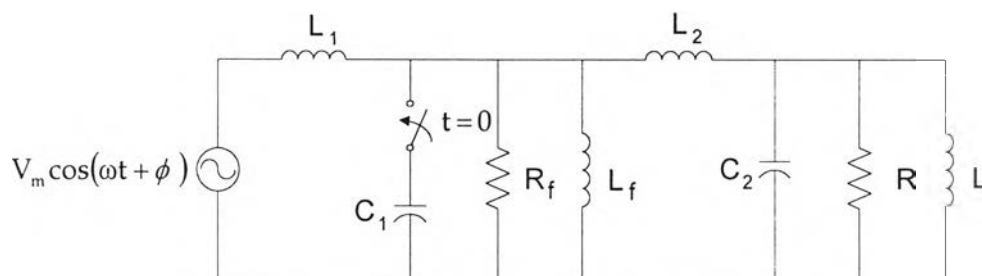
3.  $I_{C2}(0) = I_{C2}(0) = (j \cdot \omega \cdot C_2) \cdot V_{C2}(0)$

4.  $I_{C1} = 0$

ข้อ 2. ถึงข้อ 4. ทำเหมือนกับในข้อ 1. คือค่าทางซ้ายของสมการหาได้จาก สมการ (A.1.16) ถึง (A.1.18) ตามลำดับ



ก.2 แสดงวิธีหาสมการของแรงดัน และกระแสเกินชั่วคราว จากวงจรรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3

จากรูป และกฎของ KVL ได้

$$L_1 \frac{dI_1}{dt} + V_{C_1} = V_m \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{A.2.1})$$

$$L_2 \frac{dI_2}{dt} + V_{C_2} = V_{C_1} \quad (\text{A.2.2})$$

และ

$$I_2 = I_{C_2} + I_R + I_L$$

$$I_2 = C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt} + \frac{V_{C_2}}{R} + \frac{1}{L} \int V_{C_2} dt \quad (\text{A.2.3})$$

$$I_1 = I_{C_1} + I_{R_f} + I_{L_f} + I_2$$

$$I_1 = C_1 \frac{dV_{C_1}}{dt} + \frac{V_{C_1}}{R_f} + \frac{1}{L_f} \int V_{C_1} dt + C_2 \frac{dV_{C_2}}{dt} + \frac{V_{C_2}}{R} + \frac{1}{L} \int V_{C_2} dt \quad (\text{A.2.4})$$

$$\frac{dI_2}{dt} = C_2 \frac{d^2 V_{C_2}}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{dV_{C_2}}{dt} + \frac{V_{C_2}}{L} \quad (\text{A.2.5})$$

$$\frac{dI_1}{dt} = C_1 \frac{d^2 V_{C_1}}{dt^2} + \frac{1}{R_f} \frac{dV_{C_1}}{dt} + \frac{V_{C_1}}{L_f} + C_2 \frac{d^2 V_{C_2}}{dt^2} + \frac{1}{R} \frac{dV_{C_2}}{dt} + \frac{V_{C_2}}{L} \quad (\text{A.2.6})$$

แทน (A.2.6) ใน (A.2.1) จะได้

$$L_1 C_1 \frac{d^2 V_{C1}}{dt} + L_1 C_2 \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_1}{R_f} \frac{dV_{C1}}{dt} + \frac{L_1}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_1}{L_f} V_{C1} + \frac{L_1}{L} V_{C2} + V_{C1} = V_m \cos(\omega t + \phi) \quad (A.2.7)$$

แทน (A.2.5) ใน (A.2.2) ได้

$$L_2 C_2 \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_2}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_2}{L} V_{C2} + V_{C2} = V_{C1} \quad (A.2.8)$$

หาอนุพันธ์อันดับที่ 1 และ 2 ของสมการ (A.2.8)

$$L_2 C_2 \frac{d^3 V_{C2}}{dt^3} + \frac{L_2}{R} \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_2}{L} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{dV_{C2}}{dt} = \frac{dV_{C1}}{dt} \quad (A.2.9)$$

$$L_2 C_2 \frac{d^4 V_{C2}}{dt^4} + \frac{L_2}{R} \frac{d^3 V_{C2}}{dt^3} + \frac{L_2}{L} \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} = \frac{d^2 V_{C1}}{dt^2} \quad (A.2.10)$$

แทน (A.2.8), (A.2.9) และ (A.2.10) ลงใน (A.2.7)

$$\begin{aligned} & L_1 C_1 L_2 C_2 \frac{d^4 V_{C2}}{dt^4} + \frac{L_1 C_1 L_2}{R} \frac{d^3 V_{C2}}{dt^3} + \frac{L_1 C_1 L_2}{L} \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + L_1 C_1 \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \\ & L_1 C_2 \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_1 L_2 C_2}{R_f} \frac{d^3 V_{C2}}{dt^3} + \frac{L_1 L_2}{R_f R} \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_1 L_2}{R_f L} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_1}{R_f} \frac{dV_{C2}}{dt} + \\ & \frac{L_1}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_1}{L} V_{C2} + \frac{L_1 L_2 C_2}{L_f} \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_1 L_2}{L_f R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_1 L_2}{L_f L} V_{C2} + \frac{L_1}{L_f} V_{C2} + \\ & L_2 C_2 \frac{d^2 V_{C2}}{dt^2} + \frac{L_2}{R} \frac{dV_{C2}}{dt} + \frac{L_2}{L} V_{C2} + V_{C2} = V_m \cos(\omega t + \phi) \end{aligned} \quad (A.2.11)$$

กำหนดให้  $D = \frac{d}{dt}$  และทำการจัดรูปสมการ (A.2.11) ใหม่ จะได้

$$\{ AD^4 + BD^3 + CD^2 + ED + F \} \cdot V_{C_2} = G \cdot V_m \cos(\omega t + \phi) \quad (\text{A.2.12})$$

โดยที่

$$A = L_1 L_2 C_1 C_2$$

$$B = \frac{L_1 L_2 C_1}{R} + \frac{L_1 L_2 C_2}{R_f}$$

$$C = \frac{L_1 L_2 C_1}{L} + L_1 C_1 + L_2 C_2 + \frac{L_1 L_2}{R_f R} + \frac{L_1 L_2 C_2}{L_f} + L_1 C_2$$

$$E = \frac{L_1 L_2}{R_f L} + \frac{L_1}{R_f} + \frac{L_1}{R} + \frac{L_1 L_2}{L_f R} + \frac{L_2}{R}$$

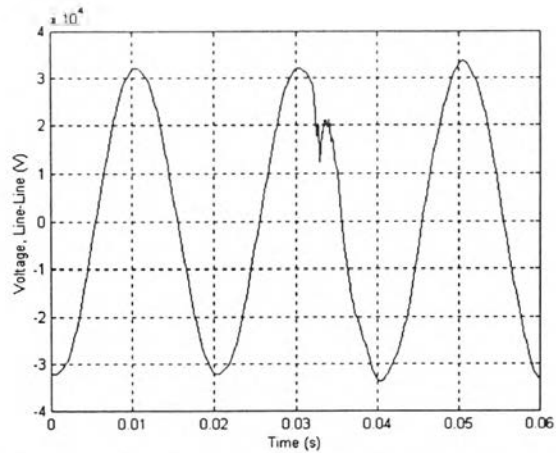
$$F = \frac{L_1}{L} + \frac{L_1 L_2}{L_f L} + \frac{L_1}{L_f} + \frac{L_2}{L} + 1$$

$$G = 1$$

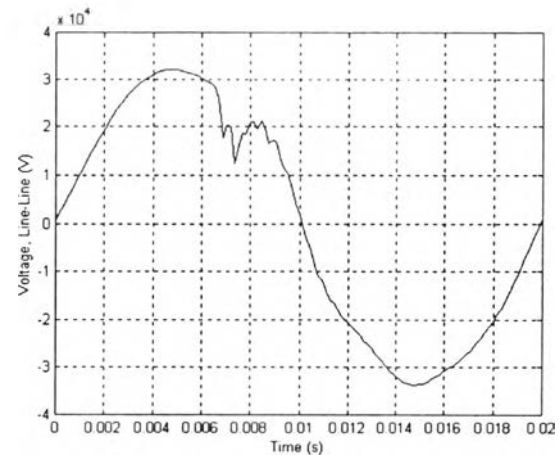
จากนี้ไปทำเหมือนกับข้อ 1. เพื่อหาสมการ  $V_{C_2}(t)$ ,  $V_{C_1}(t)$ ,  $I_{C_2}(t)$  และ  $I_{C_1}(t)$

## ภาคผนวก ข

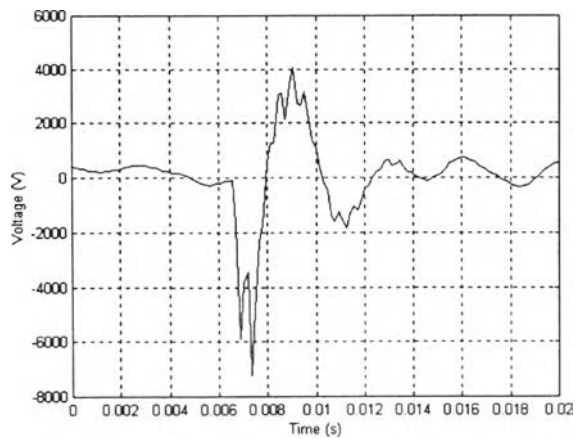
การวิเคราะห์ความถี่อุปคลื่นแรงดันที่เกิดแรงดันเกินชั่วคราว



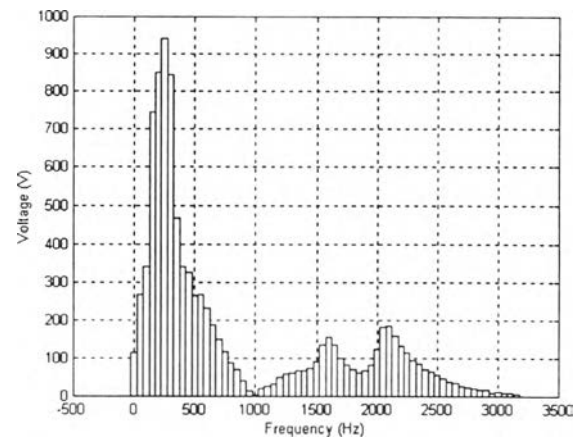
รูปที่ 5.7 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส C-A



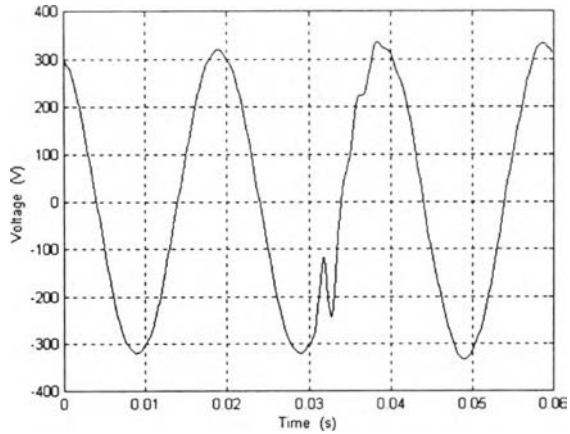
รูปที่ ข.1 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



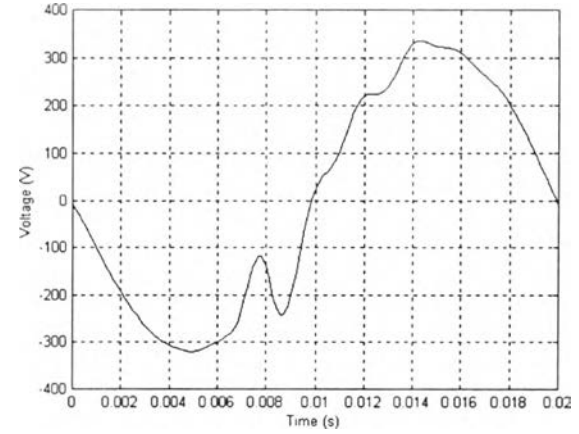
รูปที่ ข.1 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



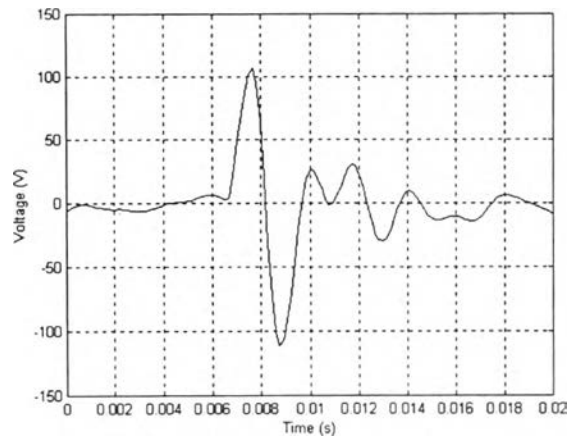
รูปที่ ข.1 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



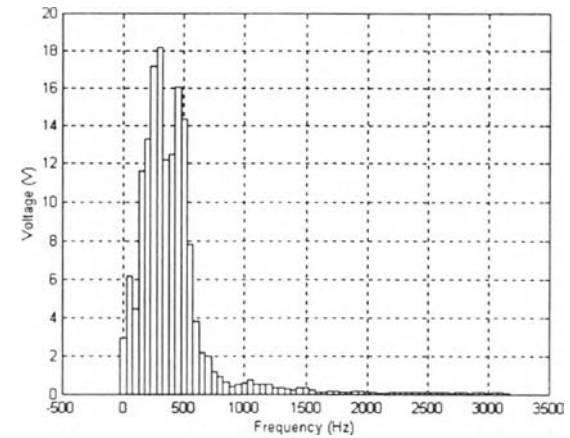
รูปที่ 5.8 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส A



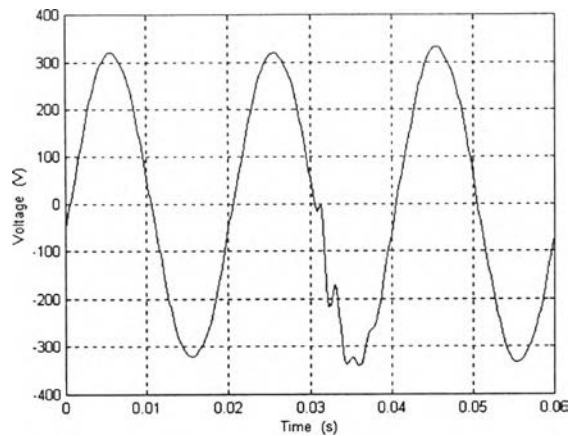
รูปที่ 5.2 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



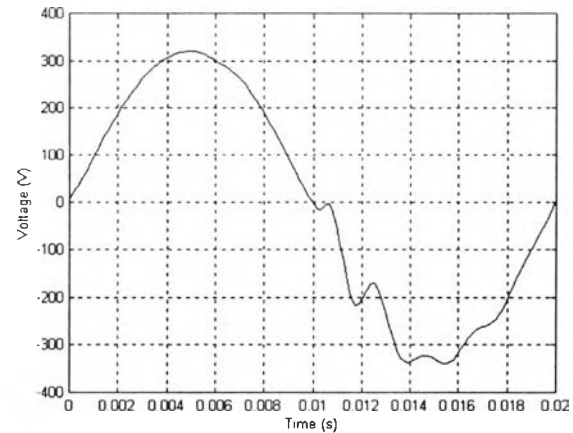
รูปที่ 5.2 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



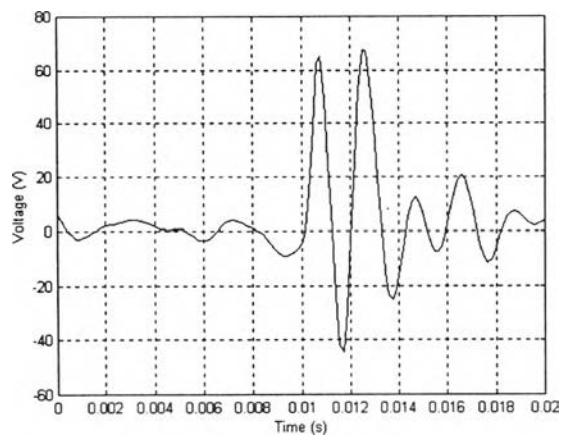
รูปที่ 5.2 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



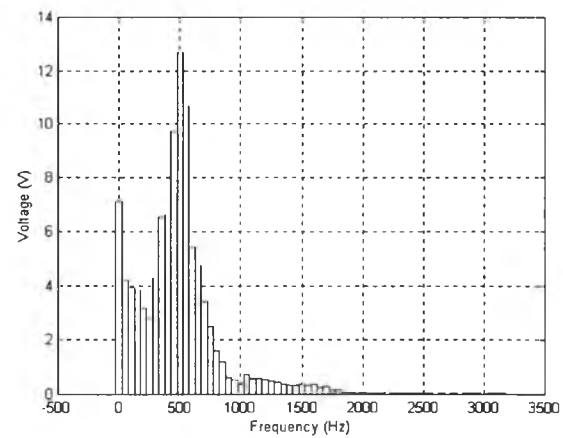
รูปที่ 5.9 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส B



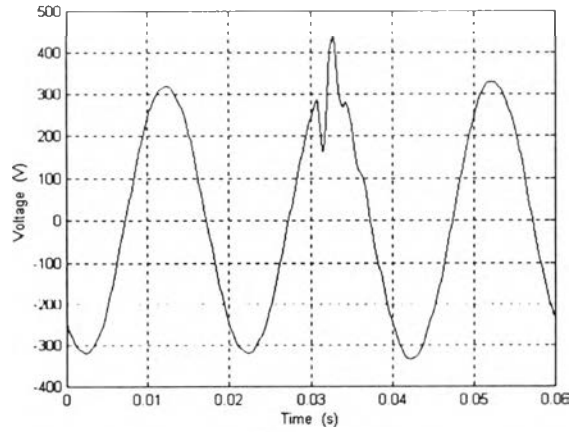
รูปที่ 5.3 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



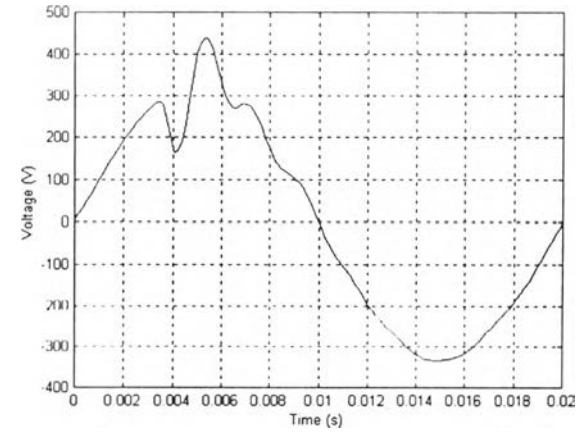
รูปที่ 5.3 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



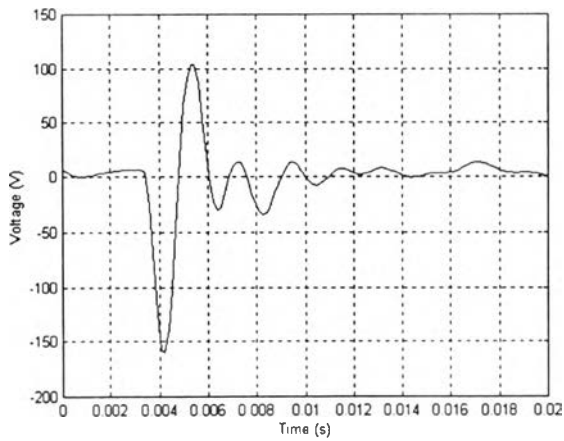
รูปที่ 5.3 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



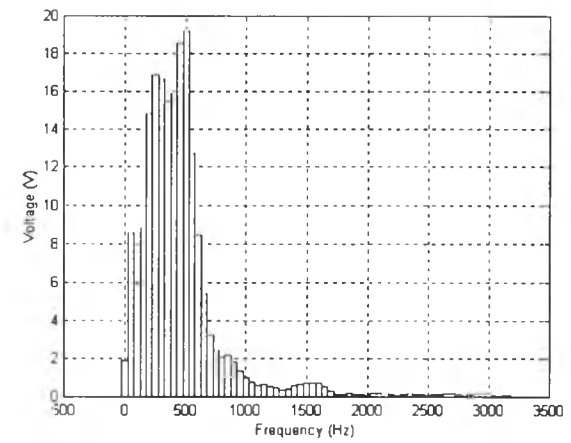
รูปที่ 5.10 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส C



รูปที่ 5.4 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์

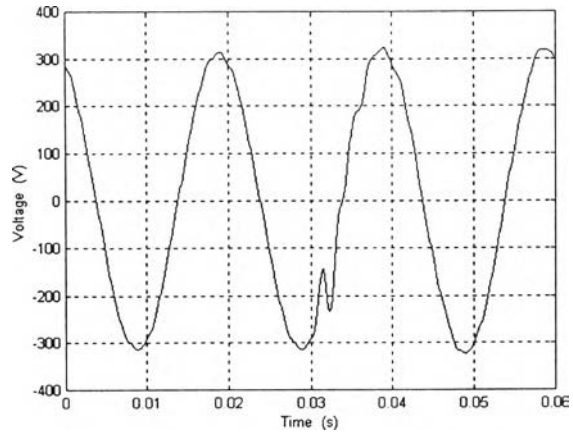


รูปที่ 5.4 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป

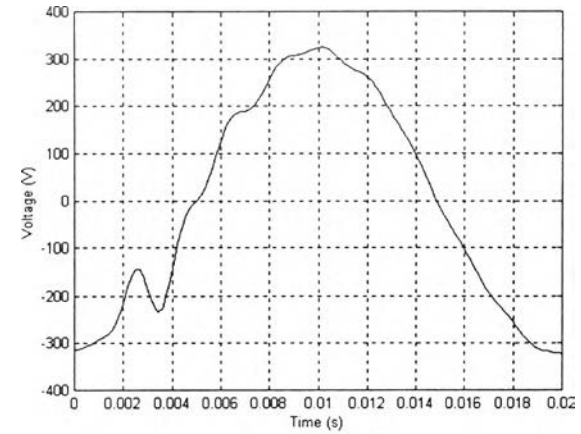


รูปที่ 5.4 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT

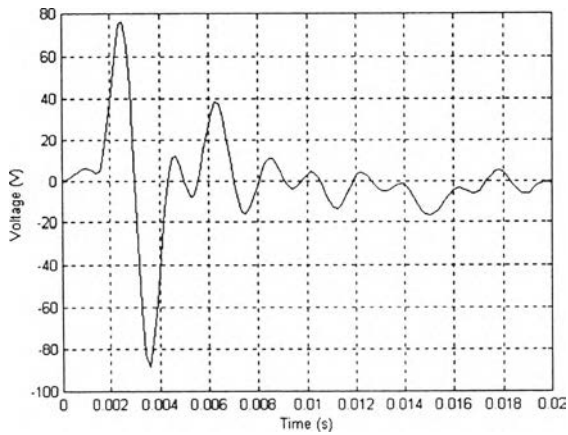




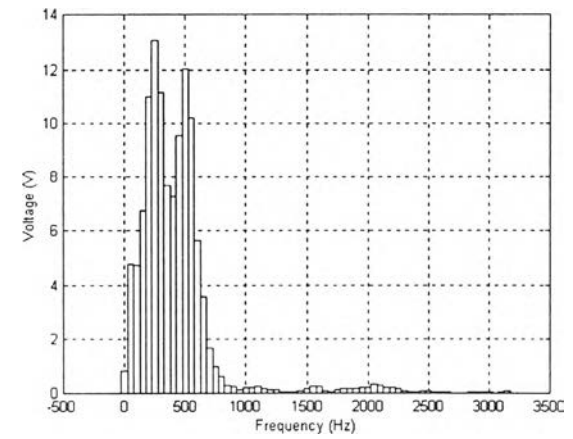
รูปที่ 5.11 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส A



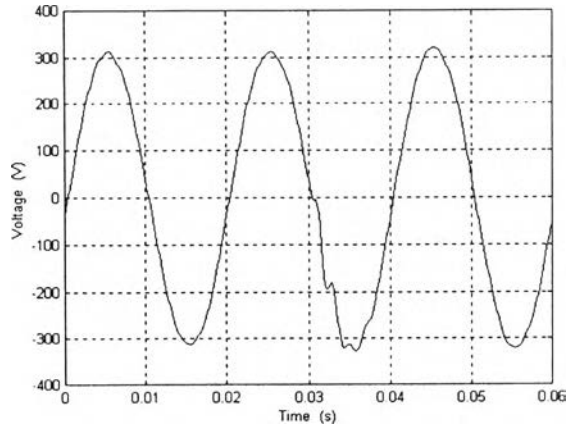
รูปที่ 5.5 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



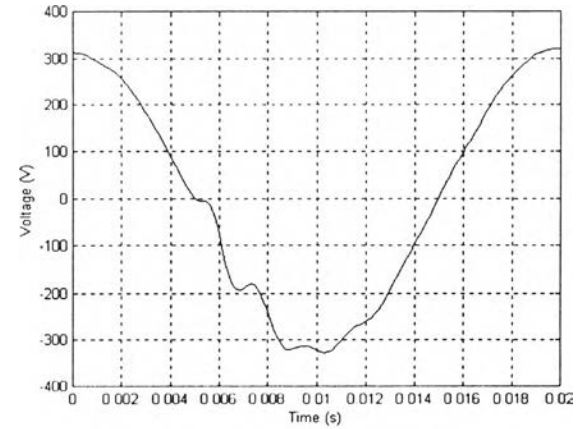
รูปที่ 5.5 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



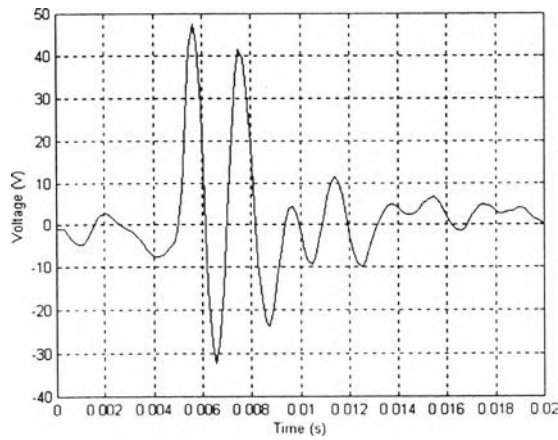
รูปที่ 5.5 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



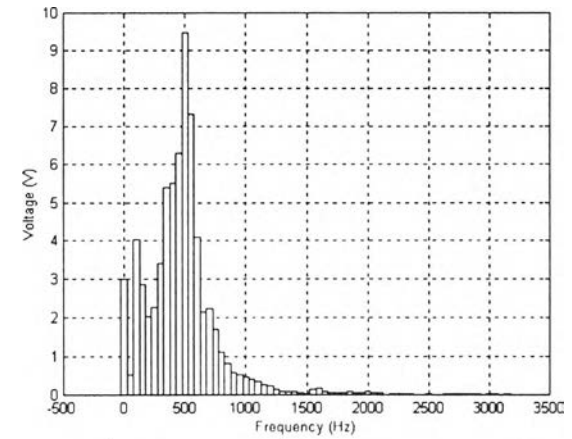
รูปที่ 5.12 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส B



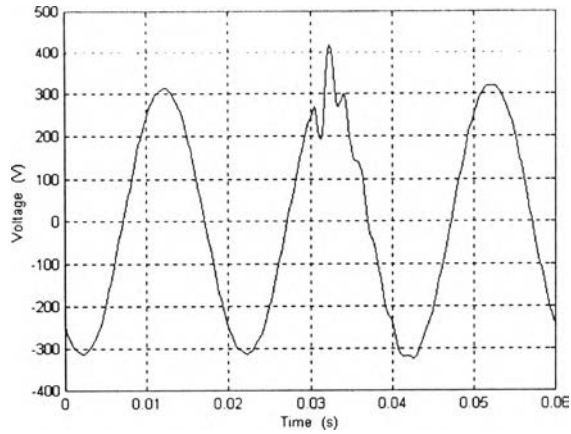
รูปที่ 5.6 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



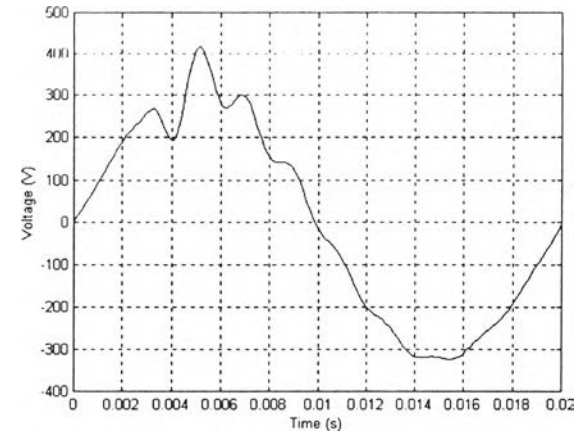
รูปที่ 5.6 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



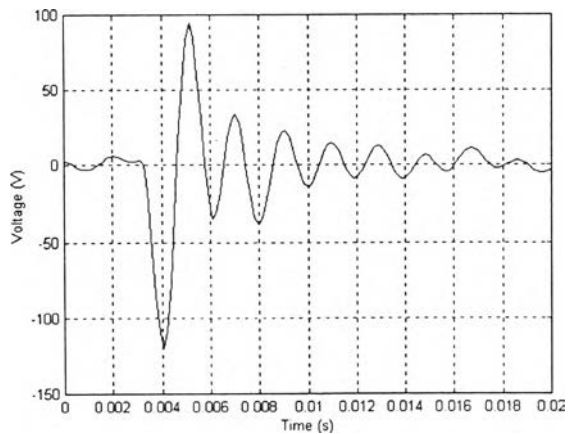
รูปที่ 5.6 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



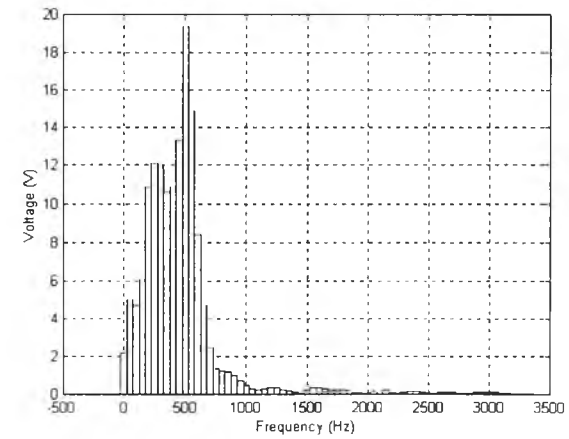
รูปที่ 5.13 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส C



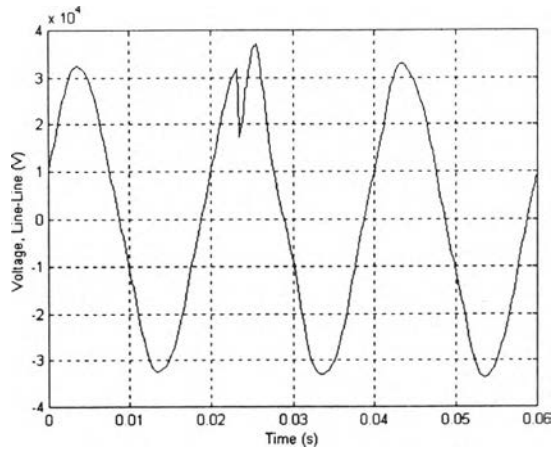
รูปที่ ข.7 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



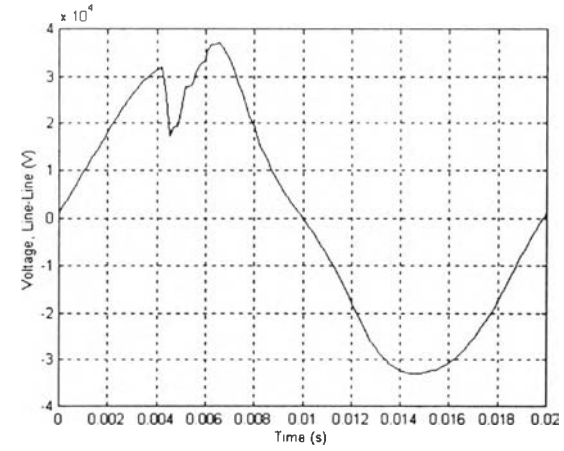
รูปที่ ข.7 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



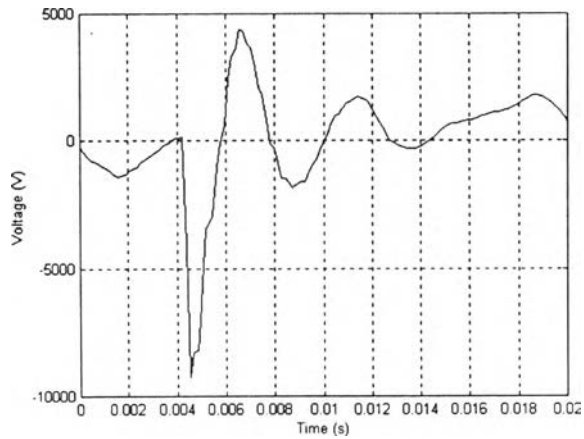
รูปที่ ข.7 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



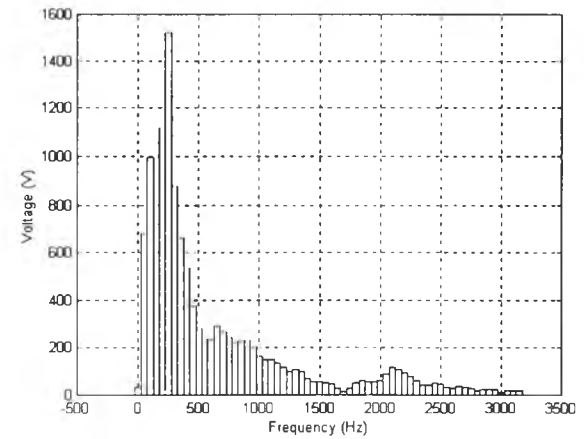
รูปที่ 5.15 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส A-B



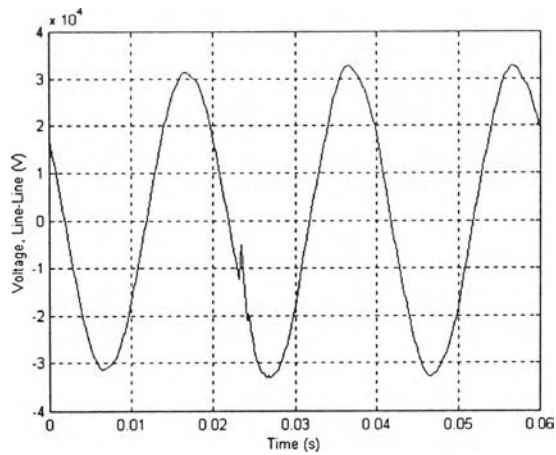
รูปที่ ๕.๘ (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



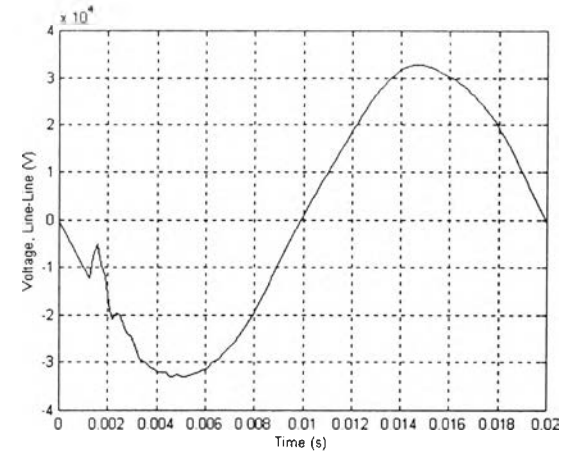
รูปที่ ๕.๘ (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



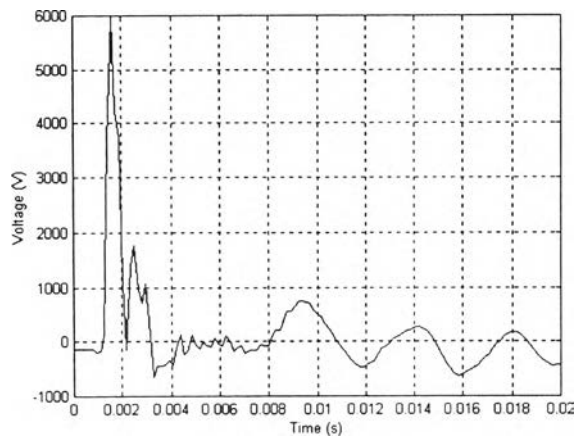
รูปที่ ๕.๘ (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



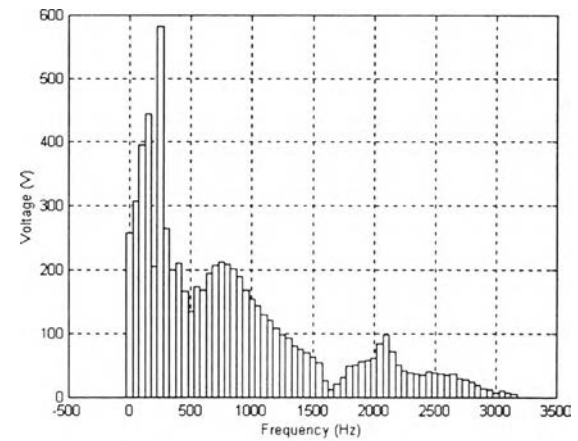
รูปที่ 5.16 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส C-A



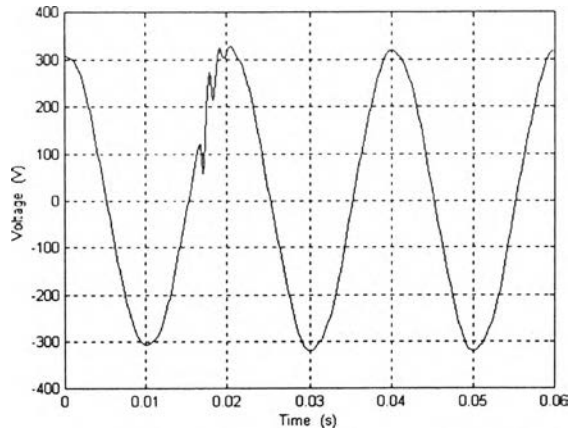
รูปที่ 9.9 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



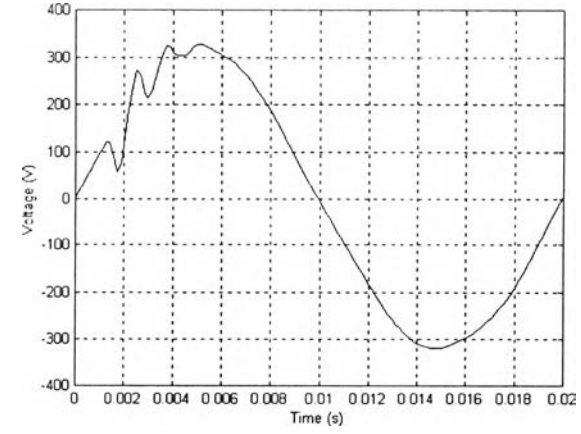
รูปที่ 9.9 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



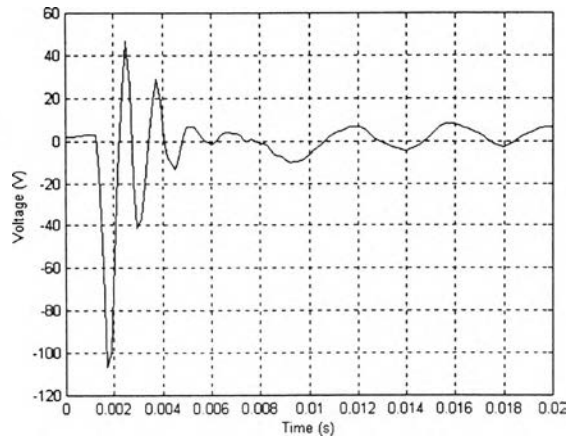
รูปที่ 9.9 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



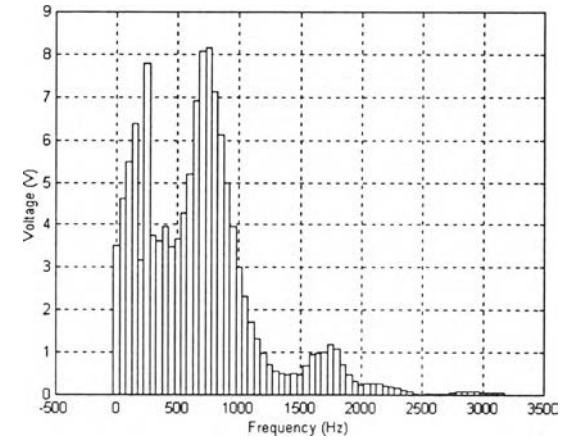
รูปที่ 5.17 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส A



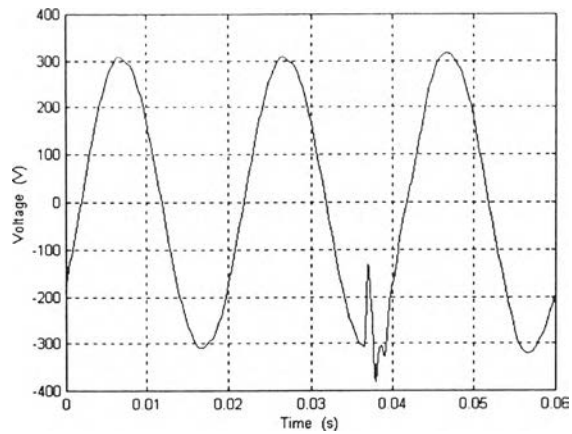
รูปที่ 5.10 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



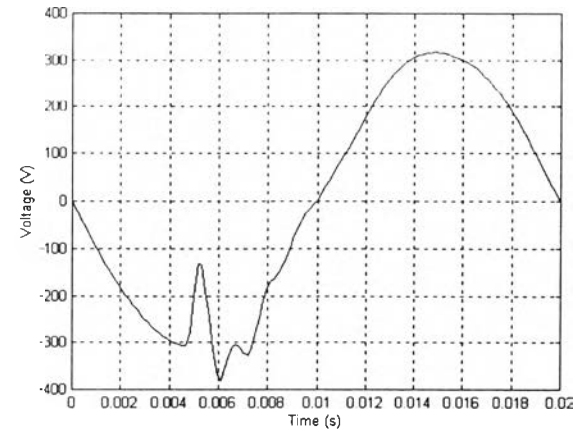
รูปที่ 5.10 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



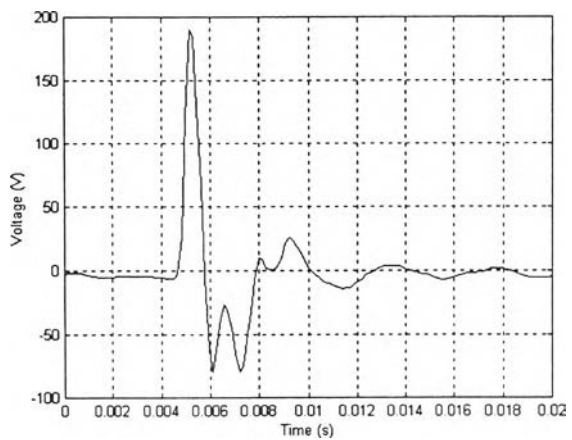
รูปที่ 5.10 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



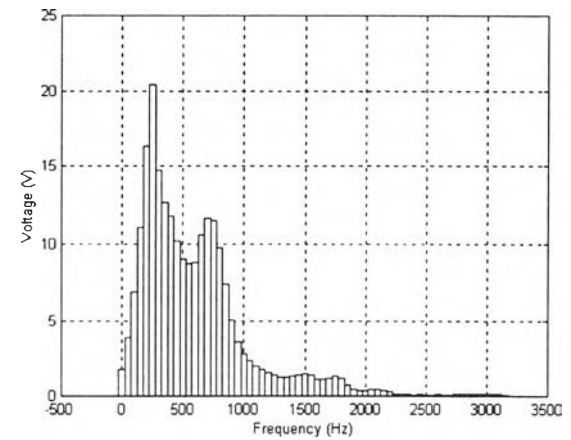
รูปที่ 5.18 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส B



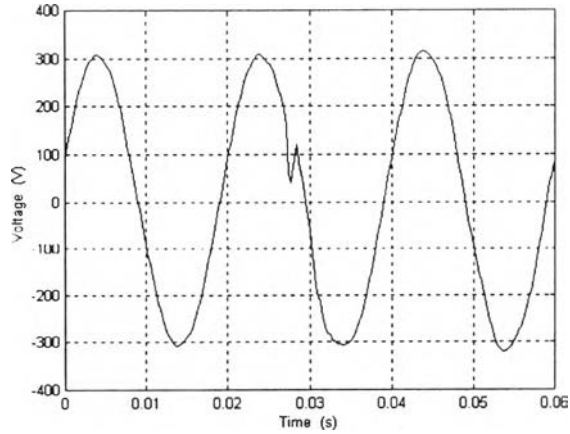
รูปที่ 5.11 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



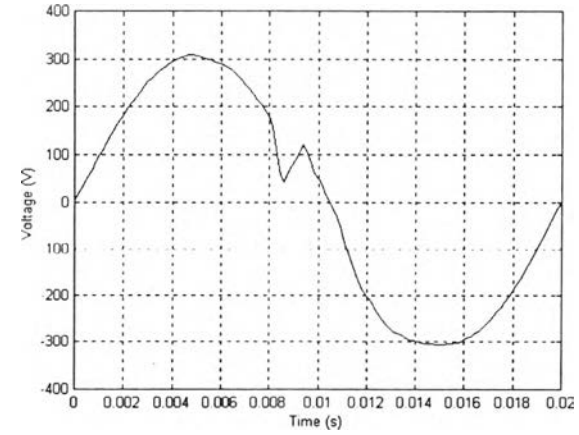
รูปที่ 5.11 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



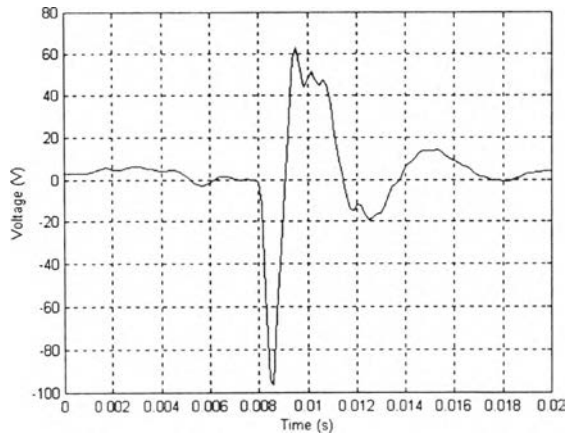
รูปที่ 5.11 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



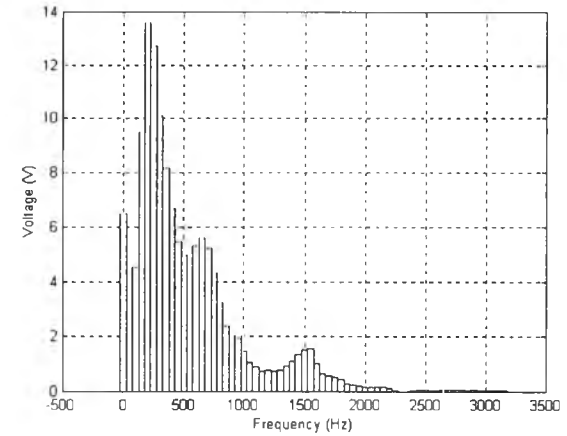
รูปที่ 5.19 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส C



รูปที่ 5.12 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์

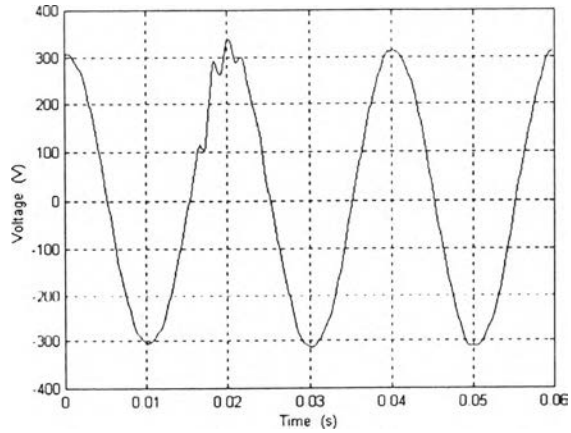


รูปที่ 5.12 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป

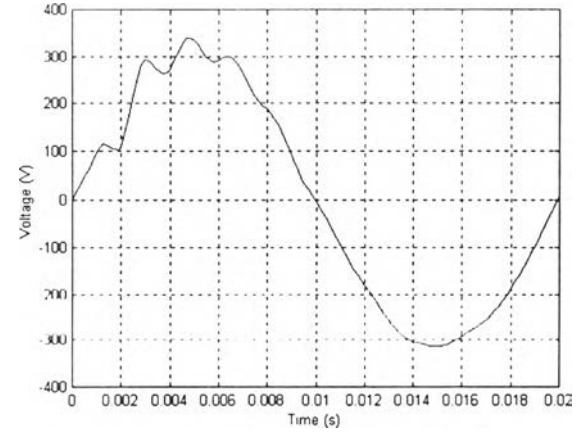


รูปที่ 5.12 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT

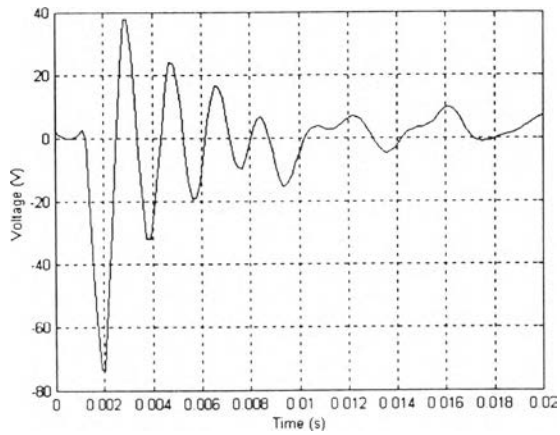




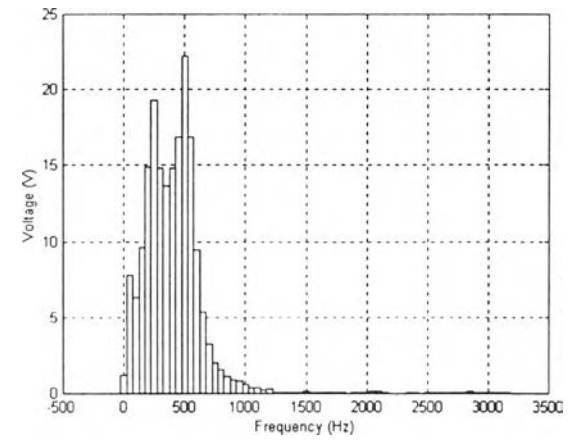
รูปที่ 5.20 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส A



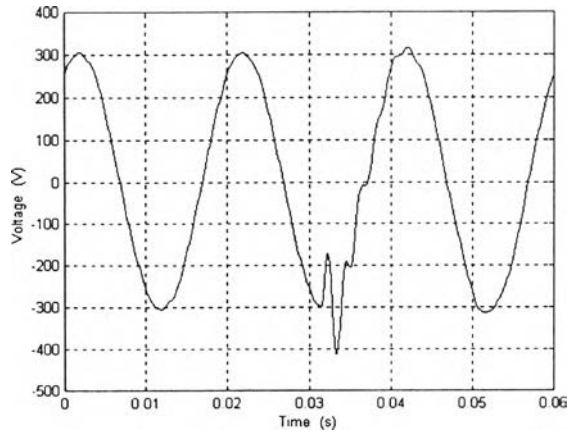
รูปที่ 5.13 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



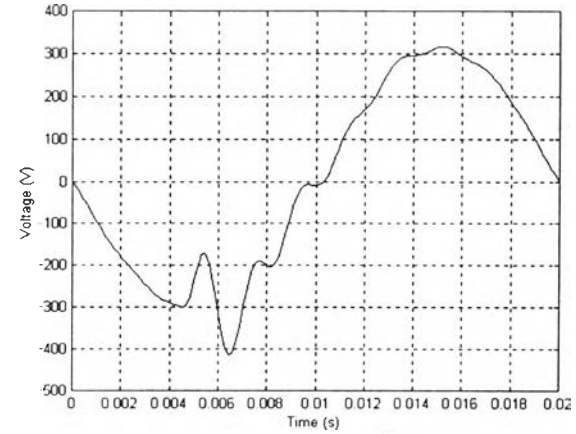
รูปที่ 5.13 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



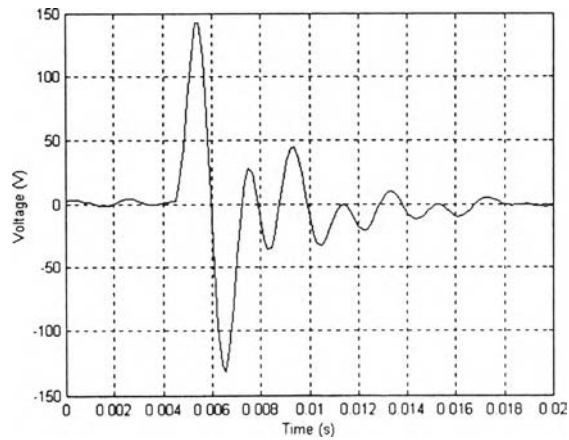
รูปที่ 5.13 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



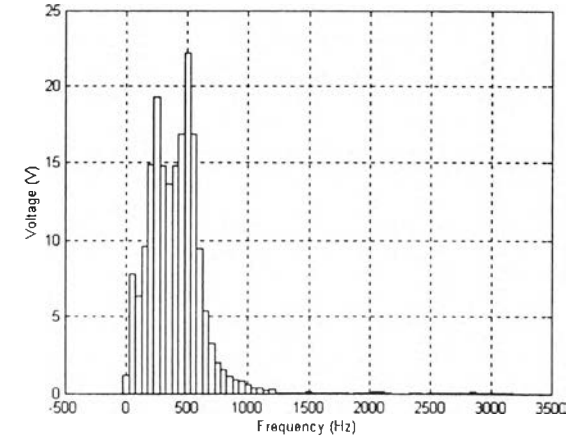
รูปที่ 5.21 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส B



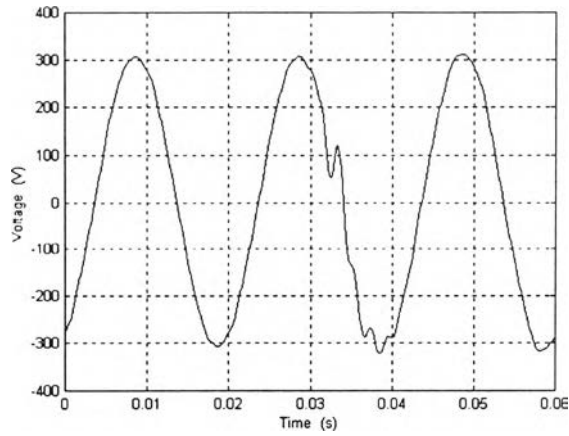
รูปที่ 14 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



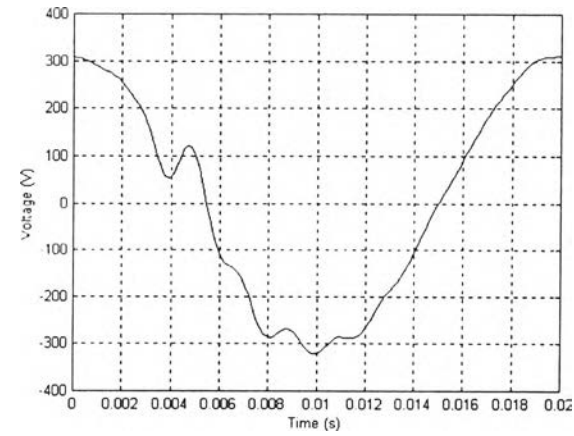
รูปที่ 14 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



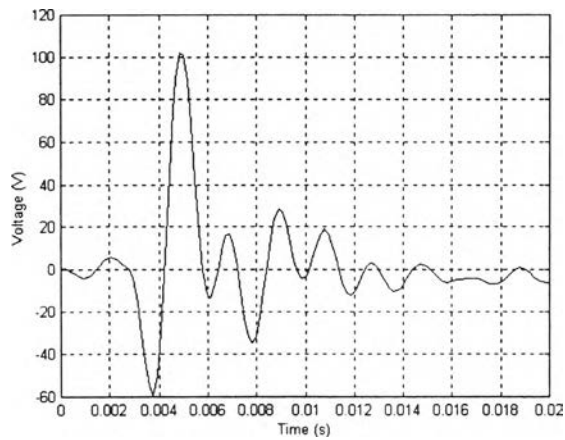
รูปที่ 14 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



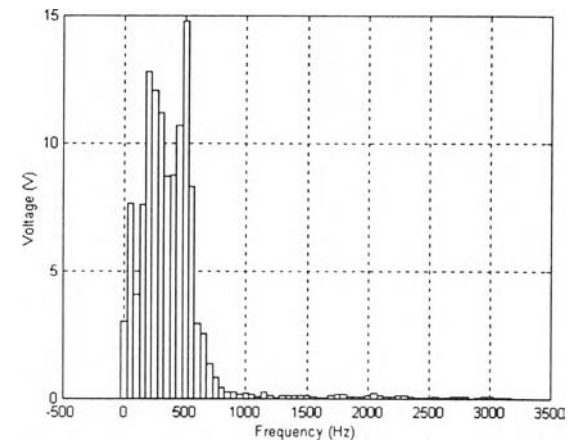
รูปที่ 5.22 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส C



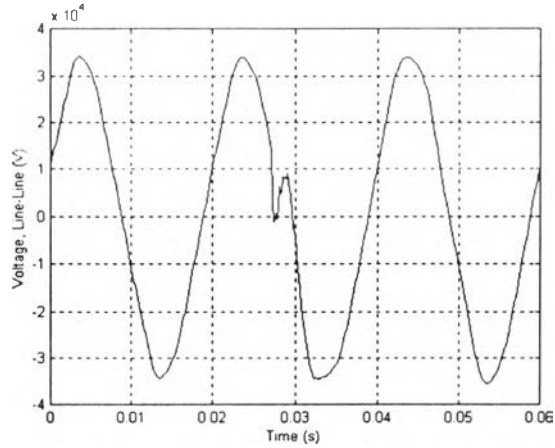
รูปที่ 5.15 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



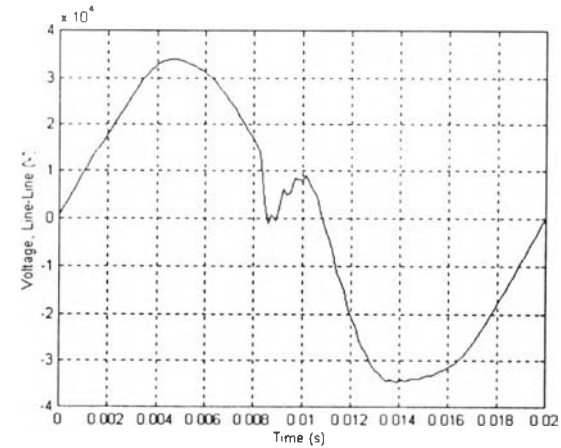
รูปที่ 5.15 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



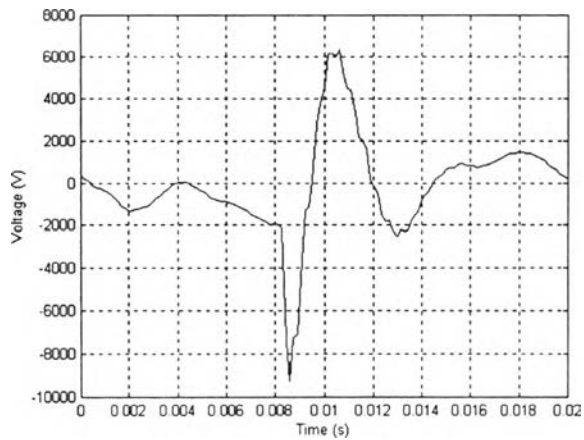
รูปที่ 5.15 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



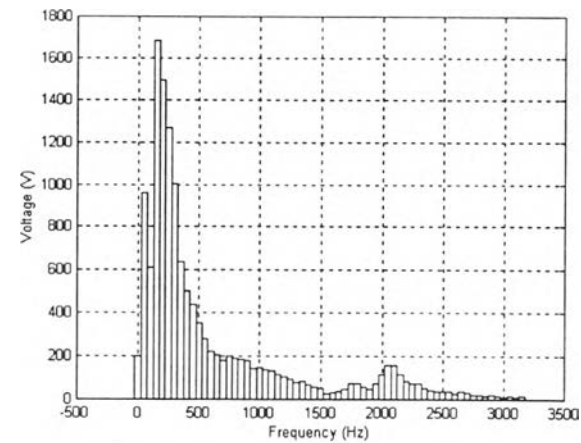
รูปที่ 5.24 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส A-B



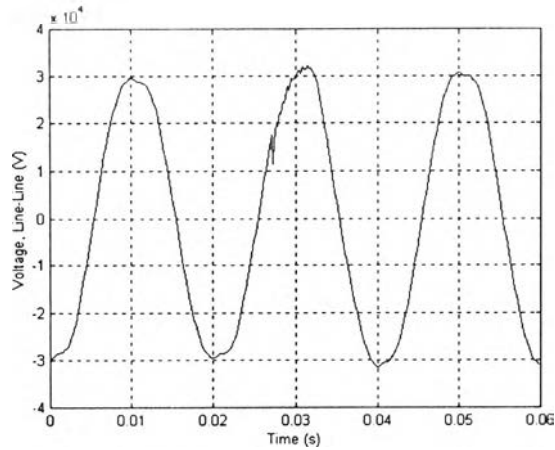
รูปที่ 16 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



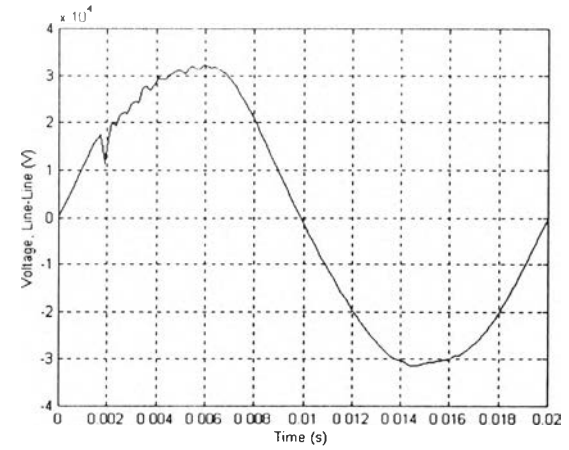
รูปที่ 16 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



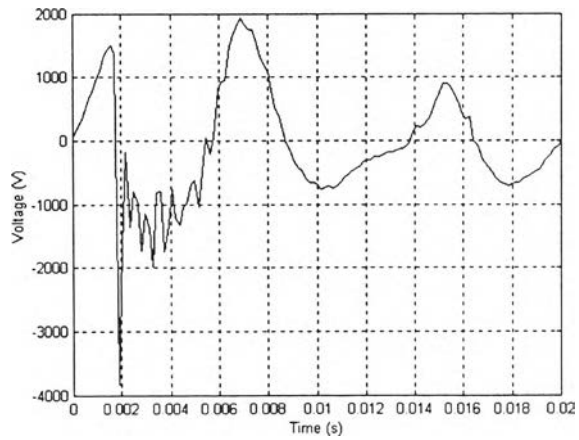
รูปที่ 16 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



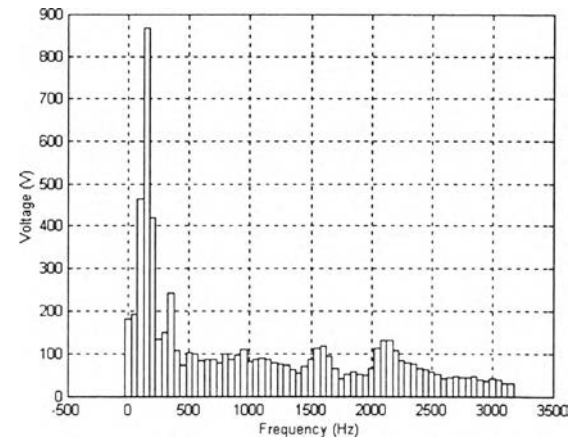
รูปที่ 5.25 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส B-C



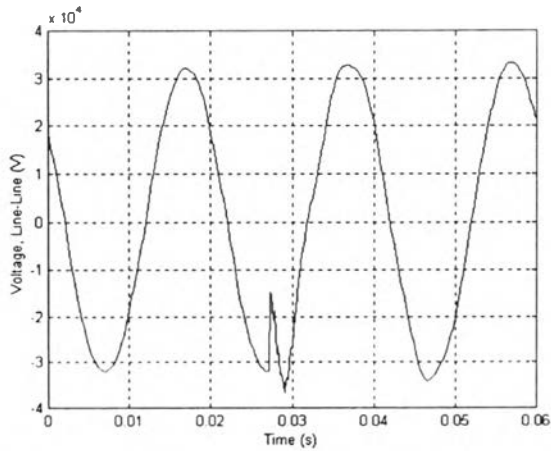
รูปที่ 17 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



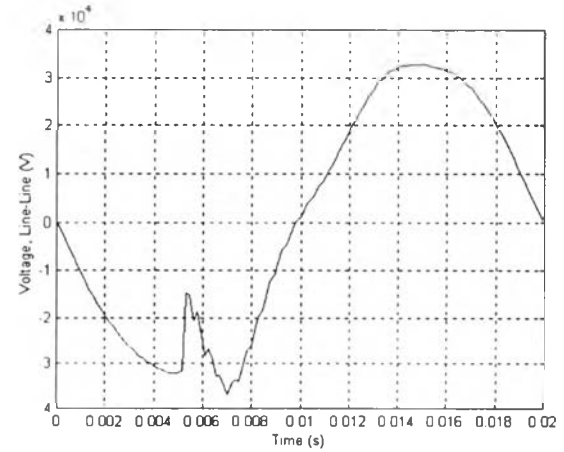
รูปที่ 17 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่สูงออกไป



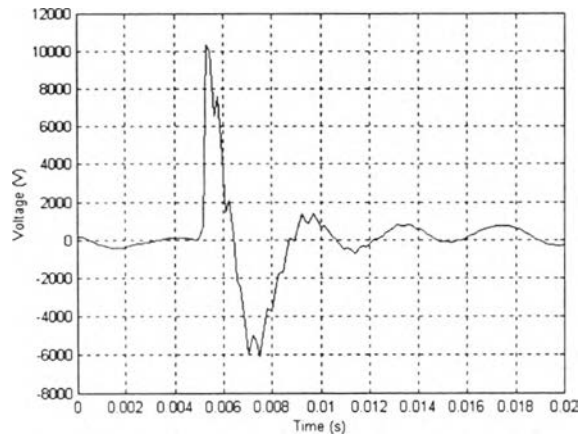
รูปที่ 17 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



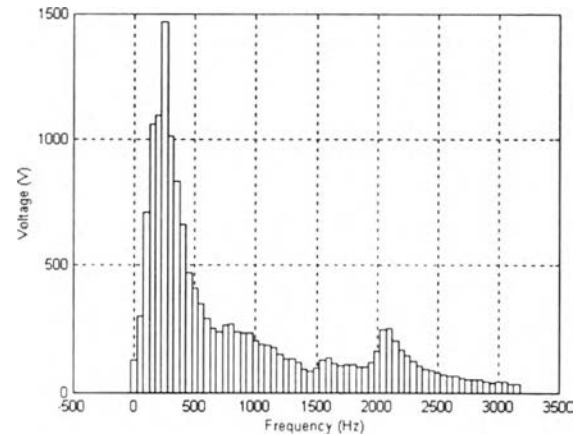
รูปที่ 5.26 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส C-A



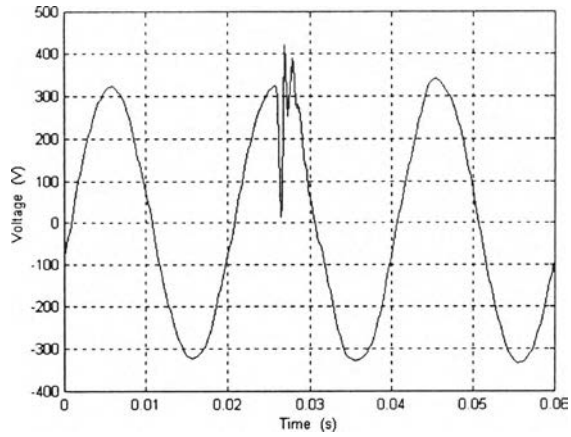
รูปที่ 18 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



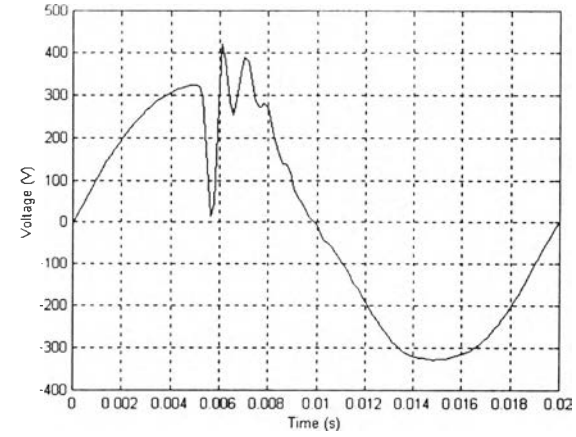
รูปที่ 18 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



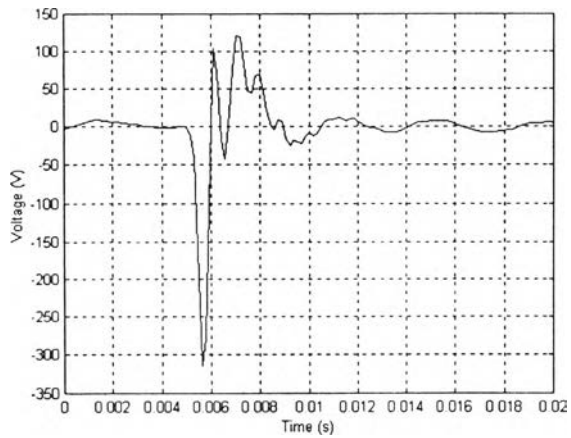
รูปที่ 18 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



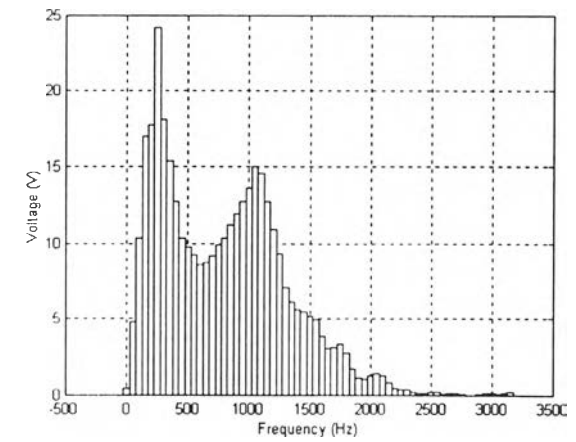
รูปที่ 5.27 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส A



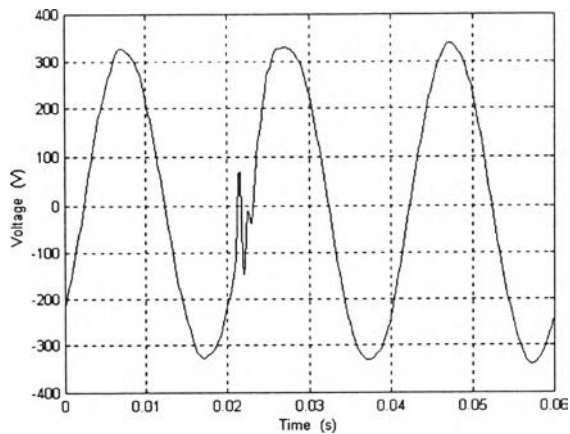
รูปที่ 19 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



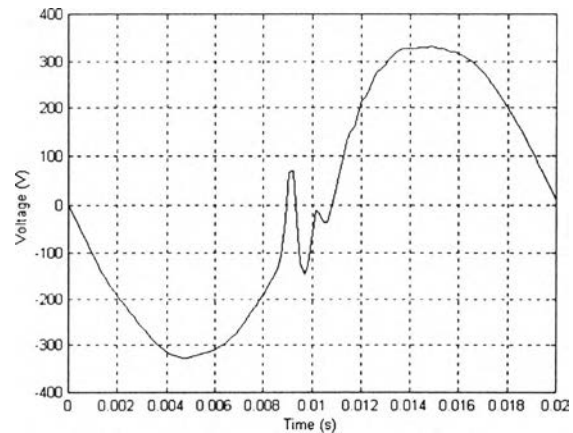
รูปที่ 19 (ข) รูปคลื่นที่รองความถี่หลักมูลออกไป



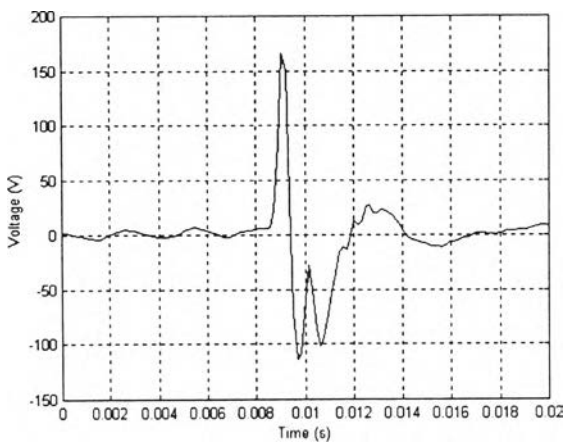
รูปที่ 19 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



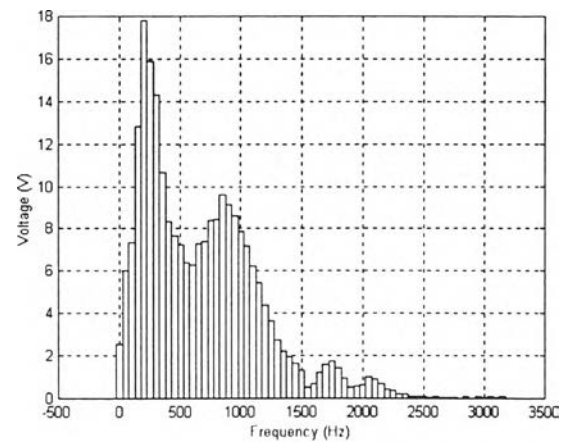
รูปที่ 5.28 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส B



รูปที่ 5.20 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์

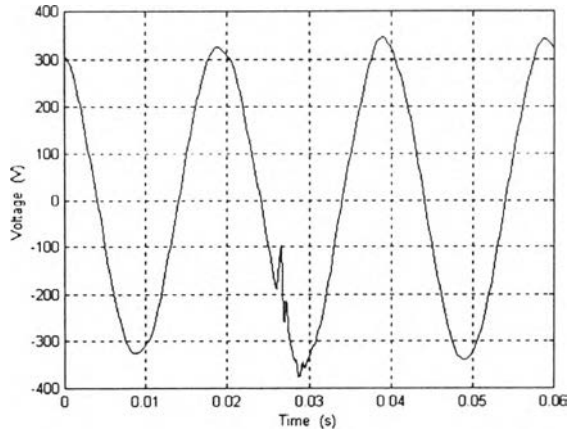


รูปที่ 5.20 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป

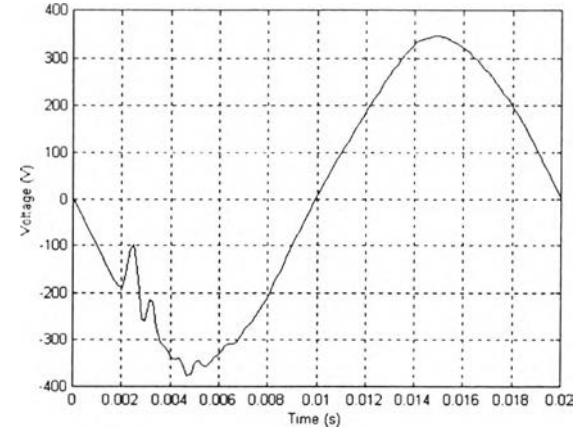


รูปที่ 5.20 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT

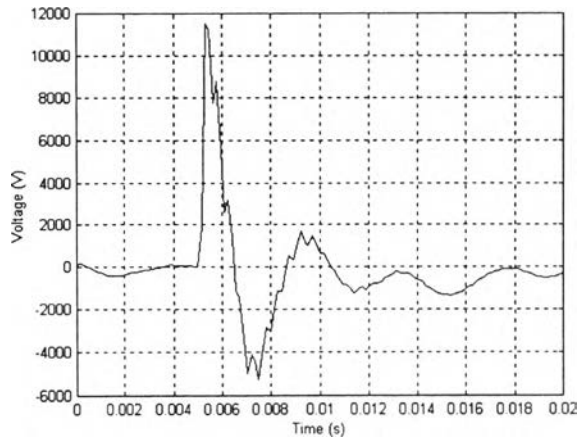




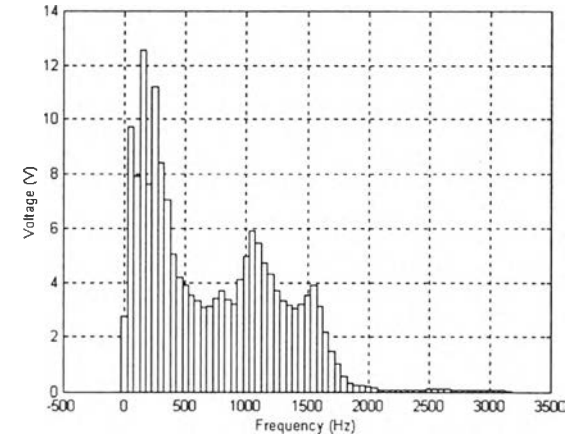
รูปที่ 5.29 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส C



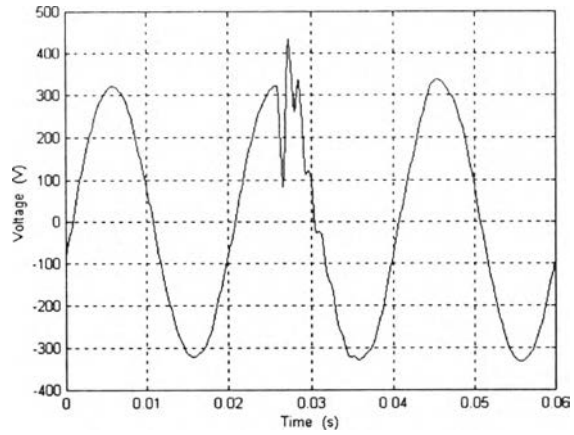
รูปที่ ๕.21 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



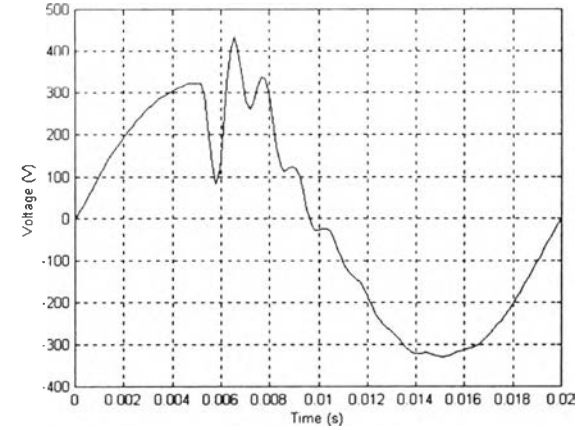
รูปที่ ๕.21 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



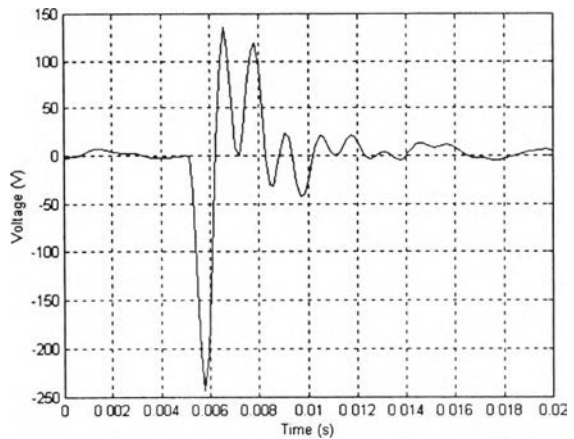
รูปที่ ๕.21 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



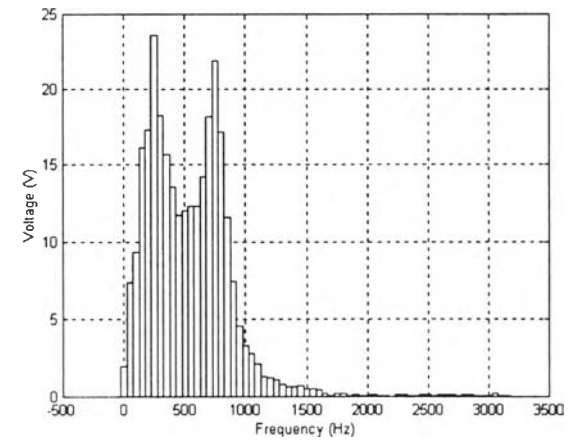
รูปที่ 5.30 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส A



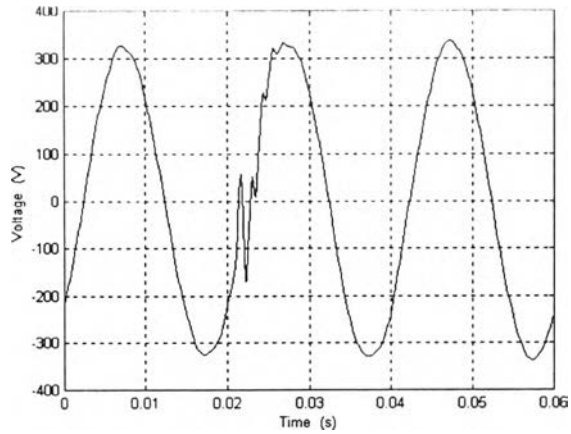
รูปที่ ข.22 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



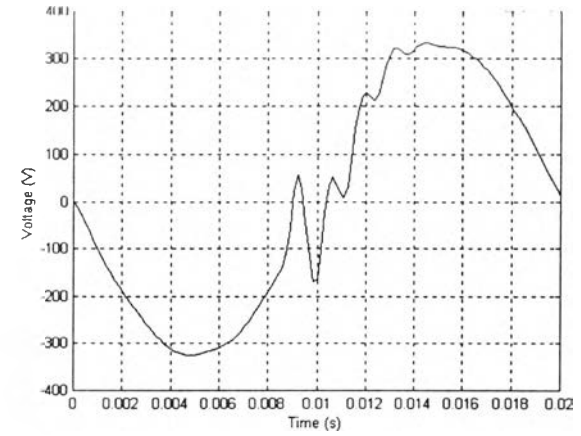
รูปที่ ข.22 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



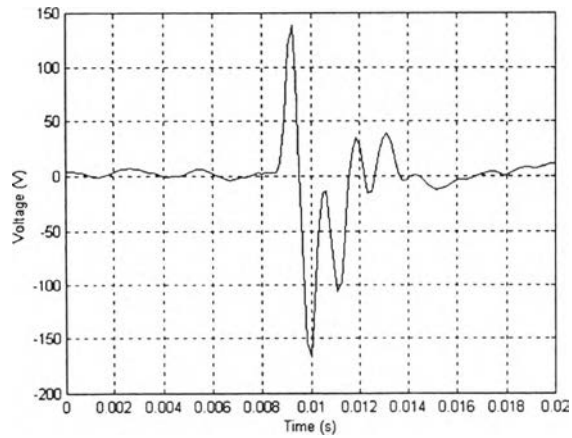
รูปที่ ข.22 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



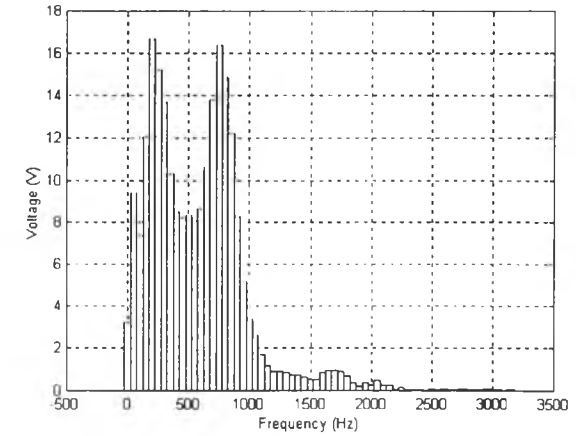
รูปที่ 5.31 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส B



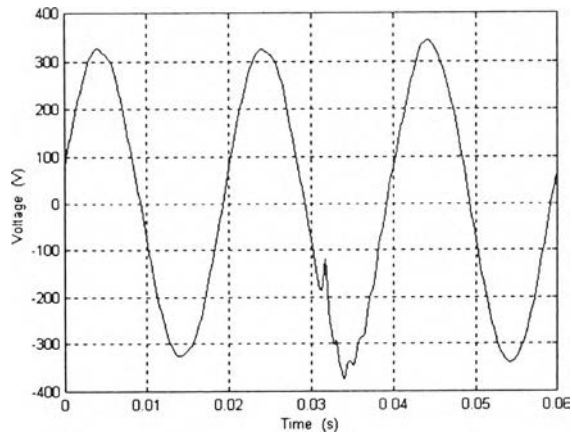
รูปที่ ข.23 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



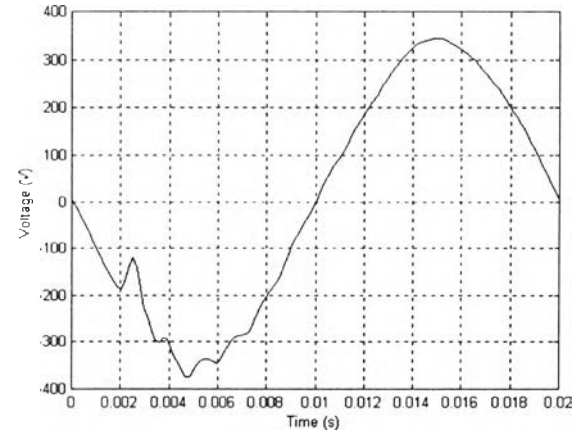
รูปที่ ข.23 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



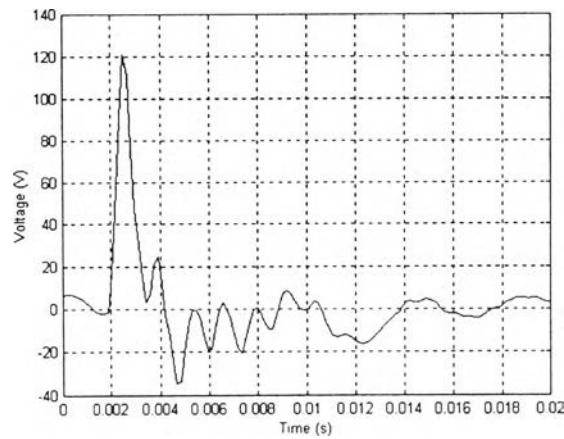
รูปที่ ข.23 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



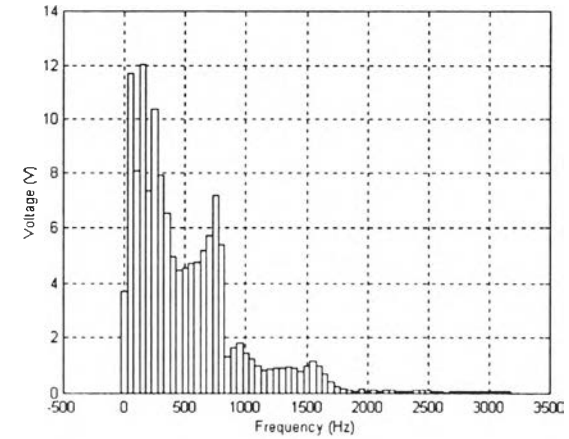
รูปที่ 5.32 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส C



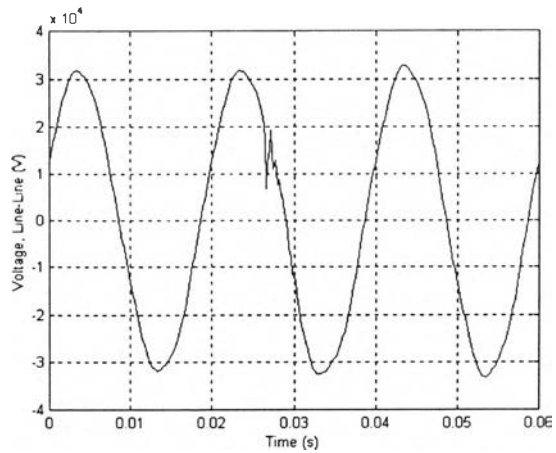
รูปที่ ข.24 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



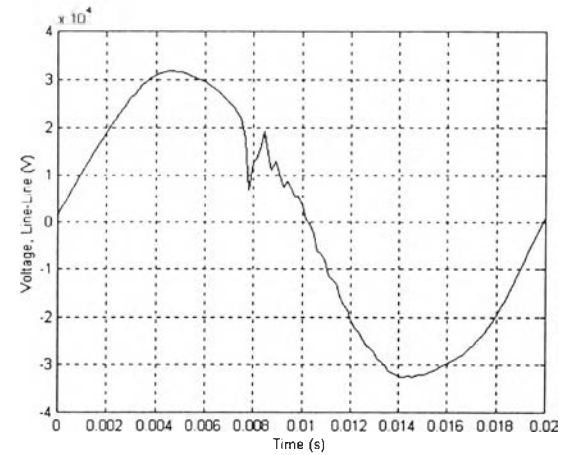
รูปที่ ข.24 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



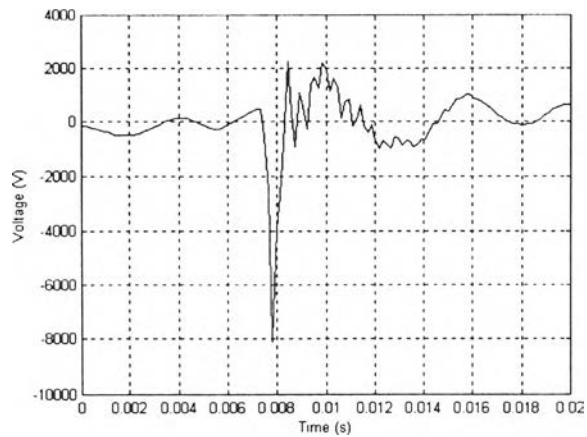
รูปที่ ข.24 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



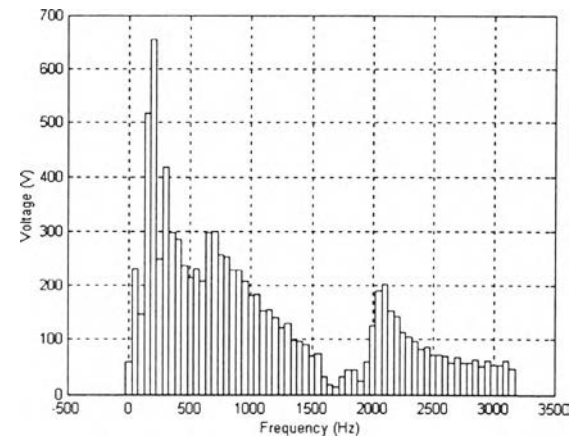
รูปที่ 5.34 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส A-B



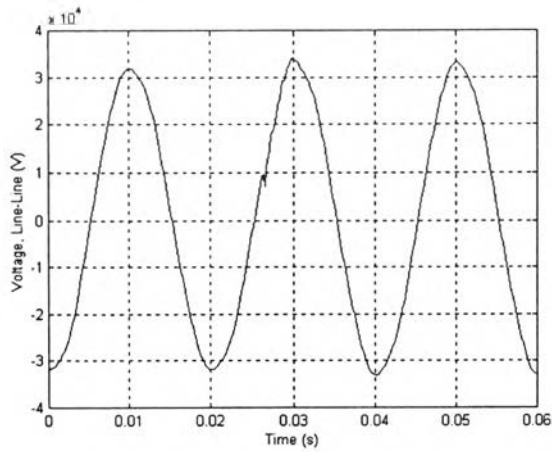
รูปที่ ข.25 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



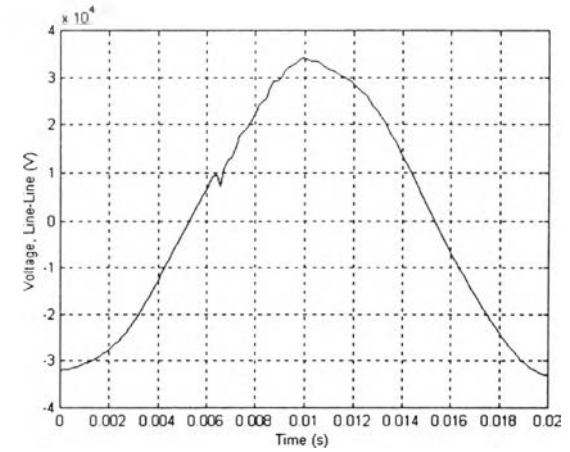
รูปที่ ข.25 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



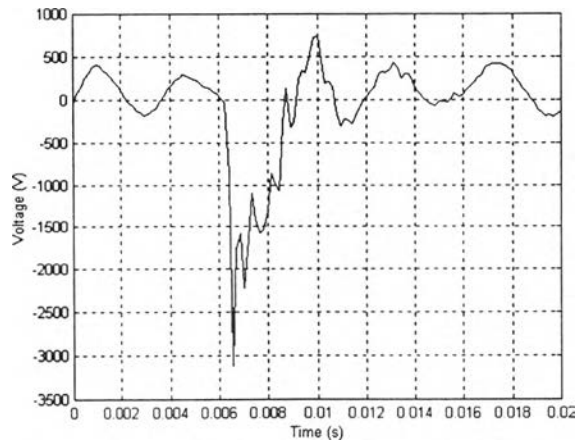
รูปที่ ข.25 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



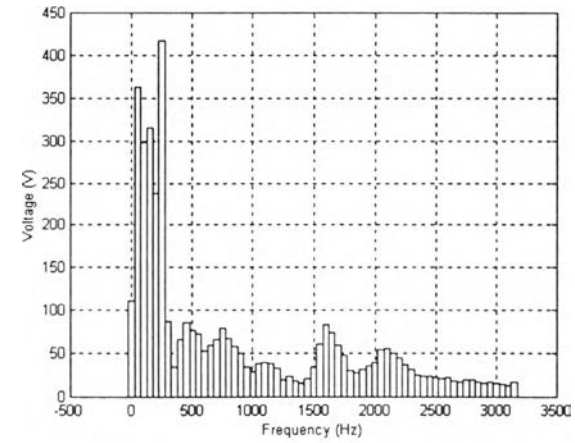
รูปที่ 5.35 รูปคลื่นแรงดัน (เฟส-เฟส) ที่บัส BRGC2 เฟส B-C



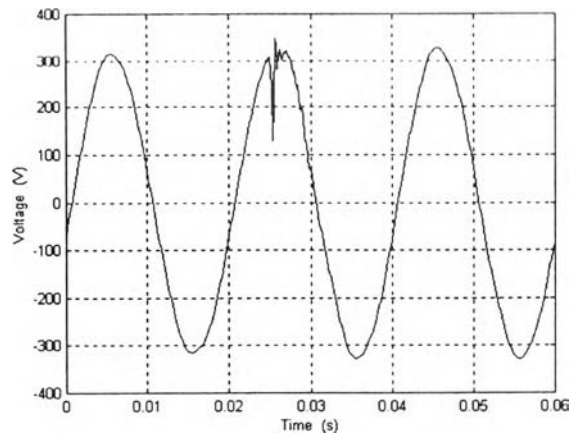
รูปที่ ข.26 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



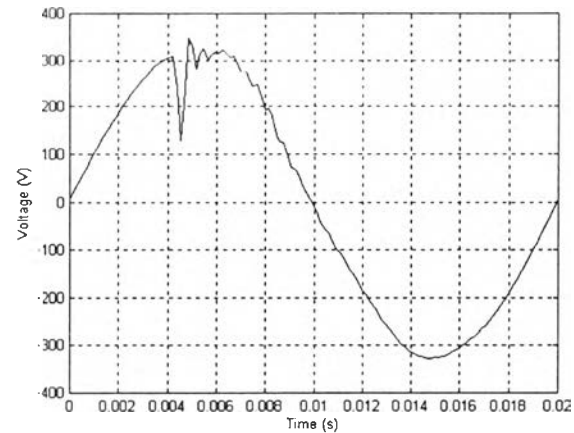
รูปที่ ข.26 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



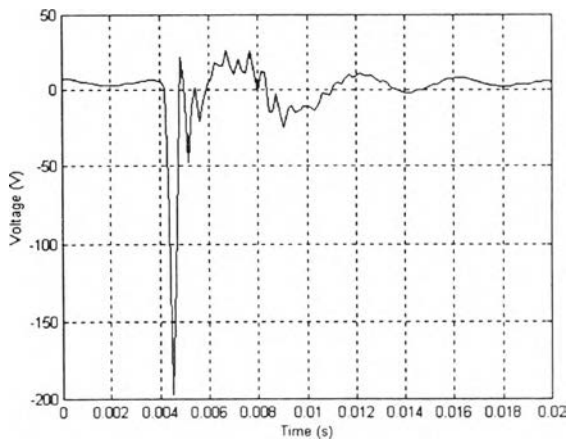
รูปที่ ข.26 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



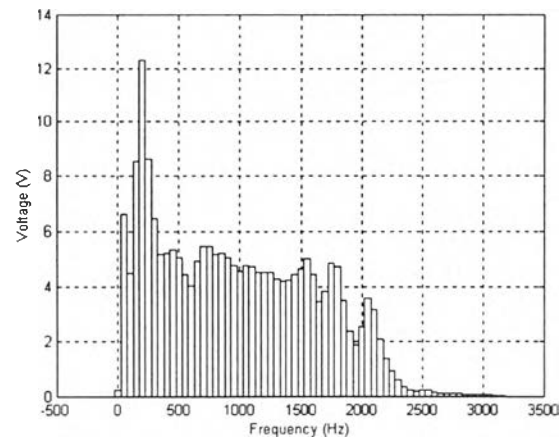
รูปที่ 5.36 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส A



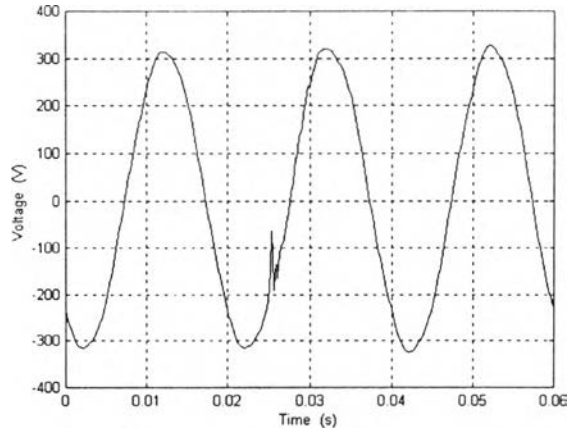
รูปที่ ๕.27 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



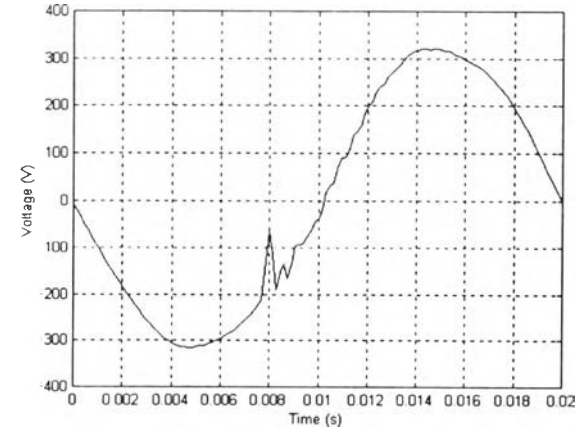
รูปที่ ๕.27 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



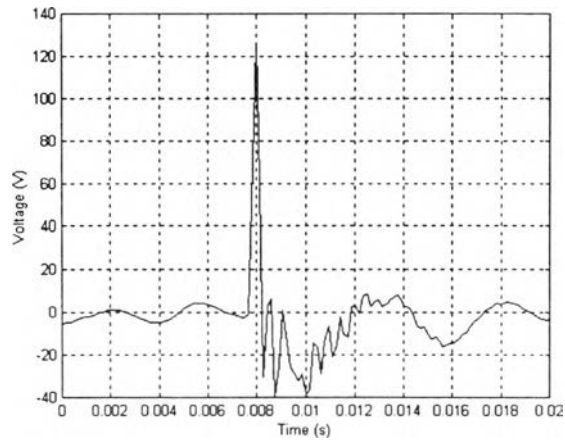
รูปที่ ๕.27 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



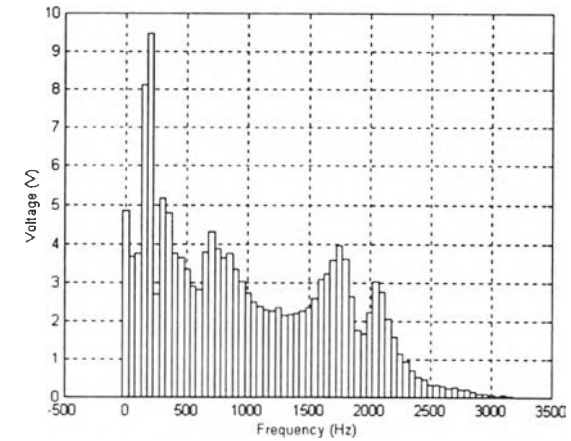
รูปที่ 5.37 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส B



รูปที่ 28 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์

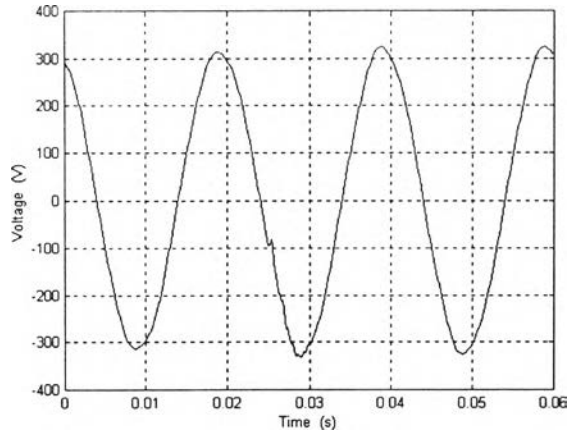


รูปที่ 28 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป

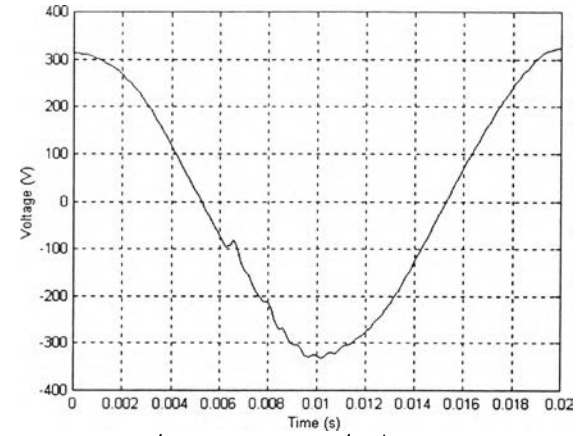


รูปที่ 28 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT

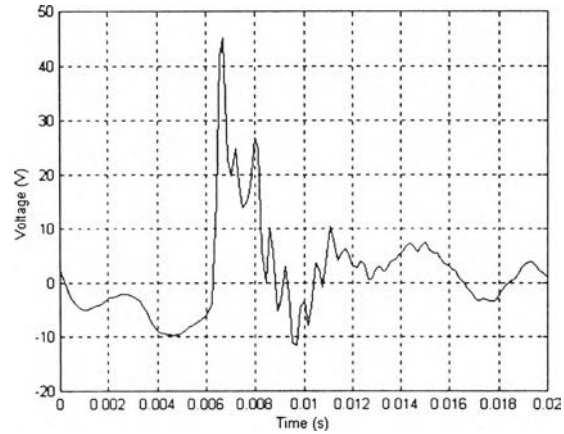




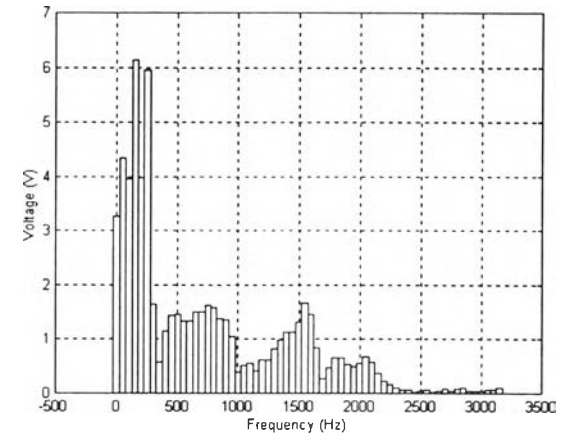
รูปที่ 5.38 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส C



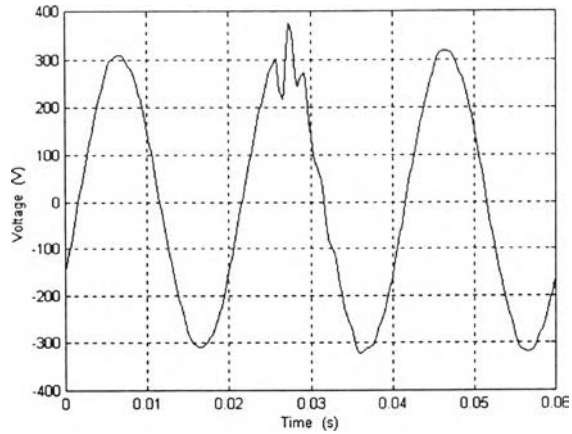
รูปที่ ๒.29 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



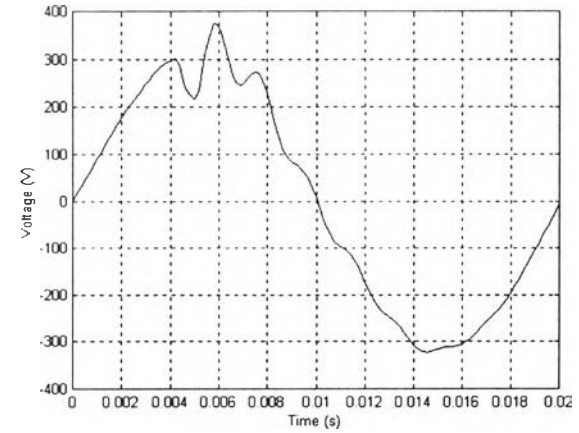
รูปที่ ๒.29 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุดออกไป



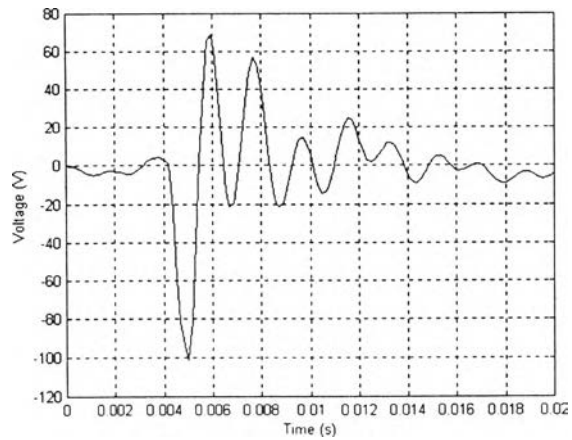
รูปที่ ๒.29 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



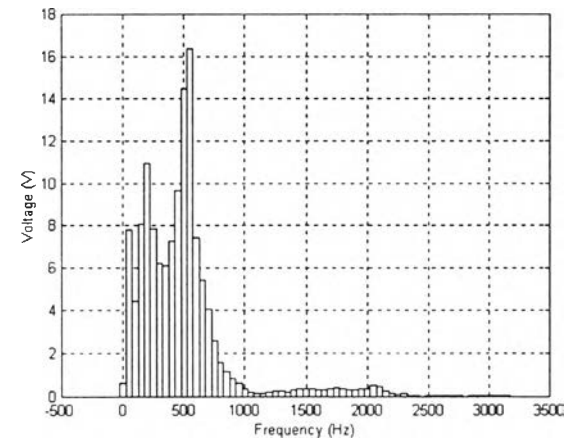
รูปที่ 5.39 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส A



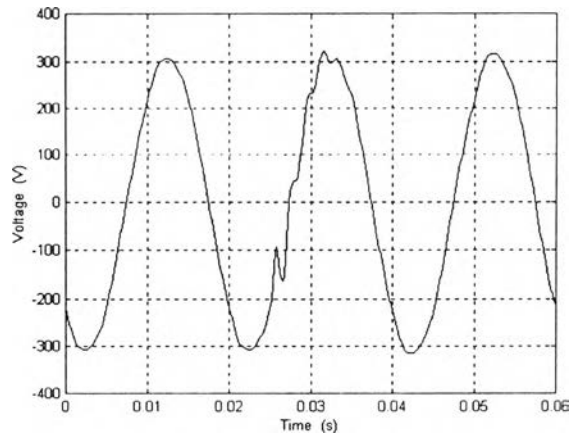
รูปที่ ข.30 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



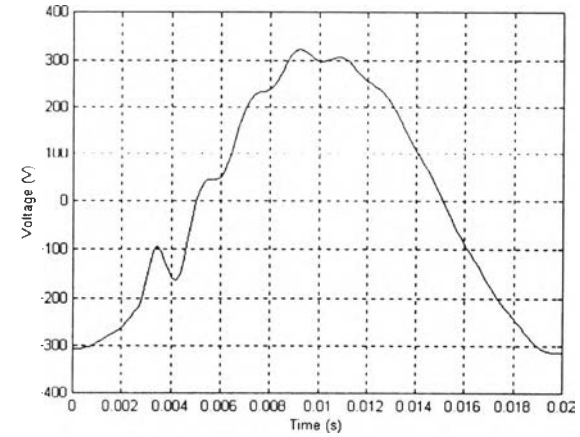
รูปที่ ข.30 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



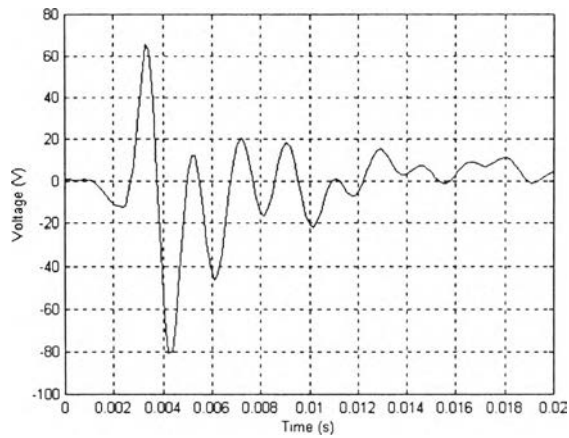
รูปที่ ข.30 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



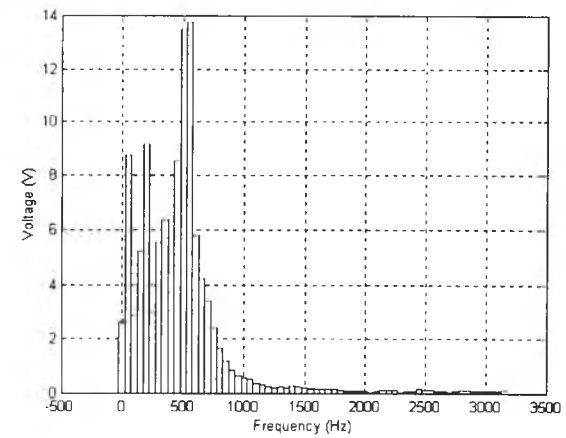
รูปที่ 5.40 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส B



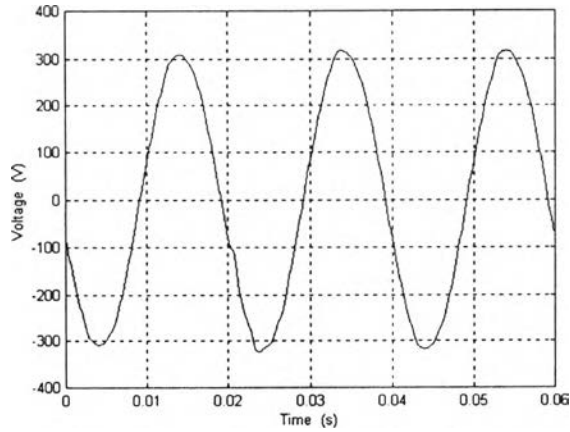
รูปที่ 5.31 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



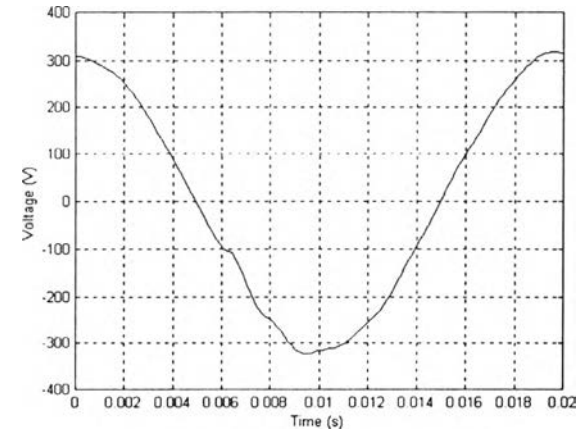
รูปที่ 5.31 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



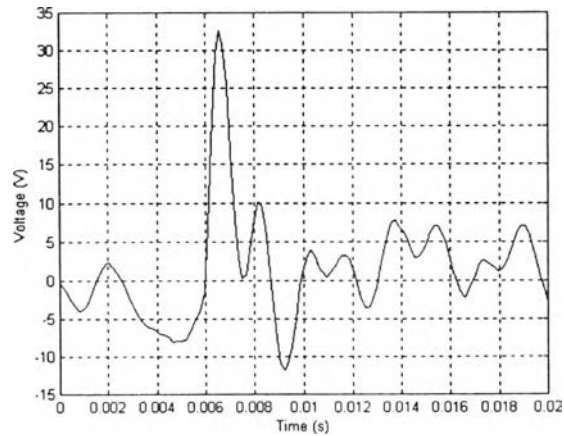
รูปที่ 5.31 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



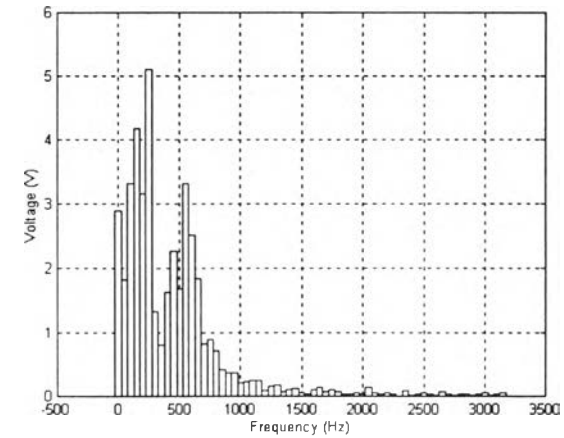
รูปที่ 5.41 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส C



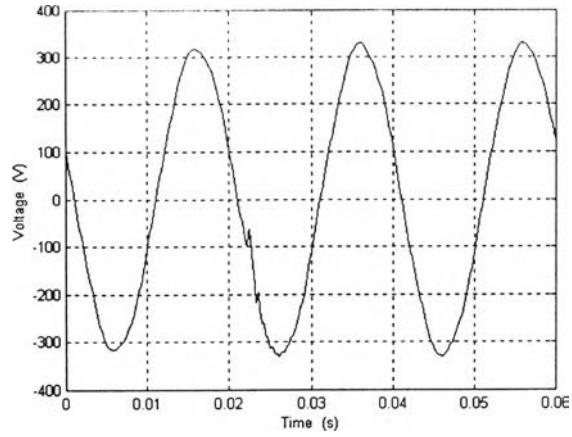
รูปที่ ข.32 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



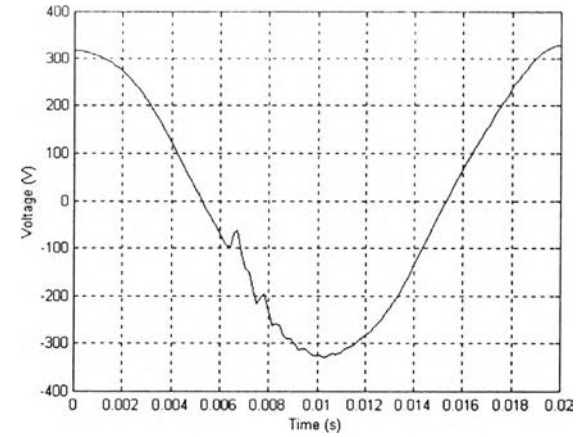
รูปที่ ข.32 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



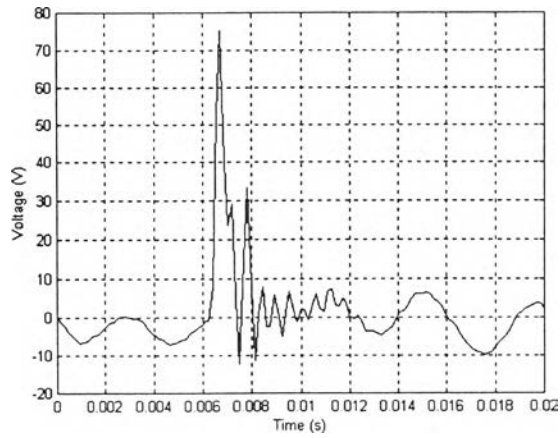
รูปที่ ข.32 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



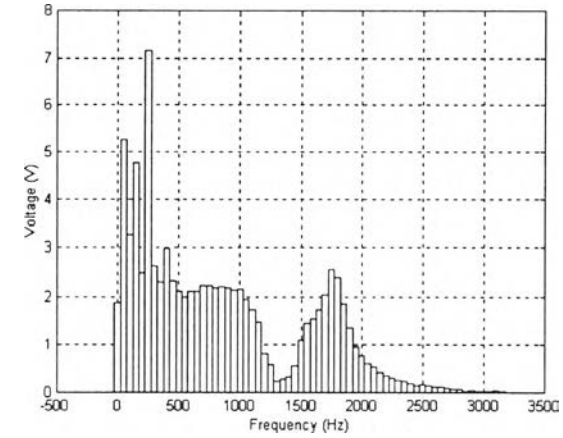
รูปที่ 5.43 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส A



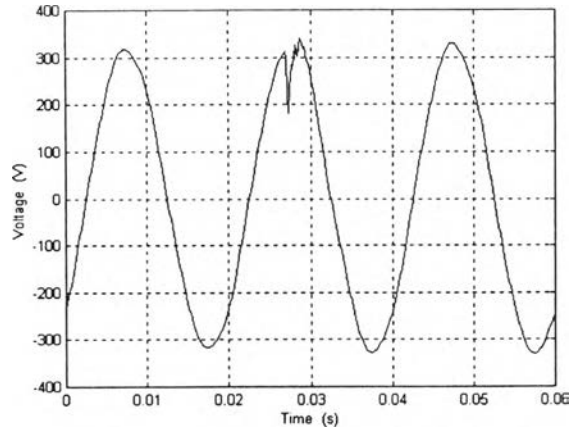
รูปที่ 3.33 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



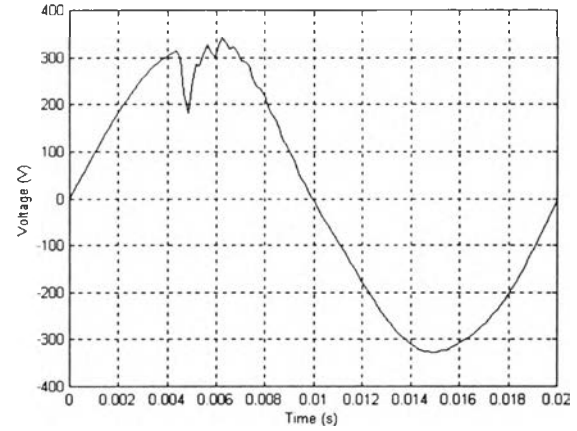
รูปที่ 3.33 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



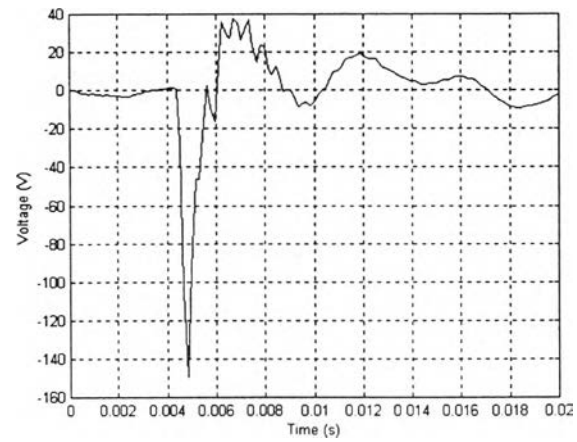
รูปที่ 3.33 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



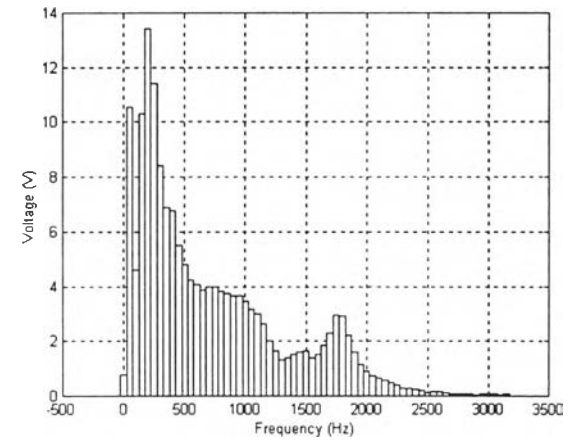
รูปที่ 5.44 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส B



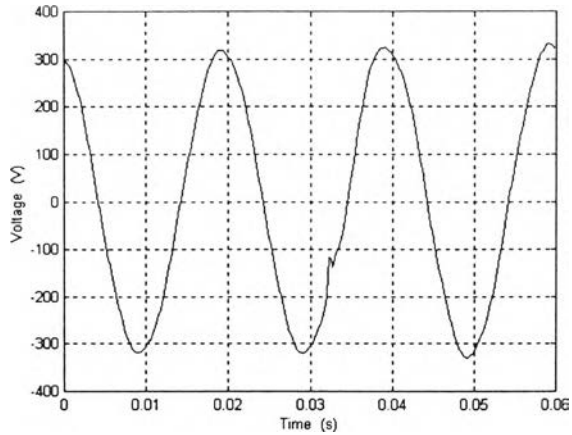
รูปที่ 3.34 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



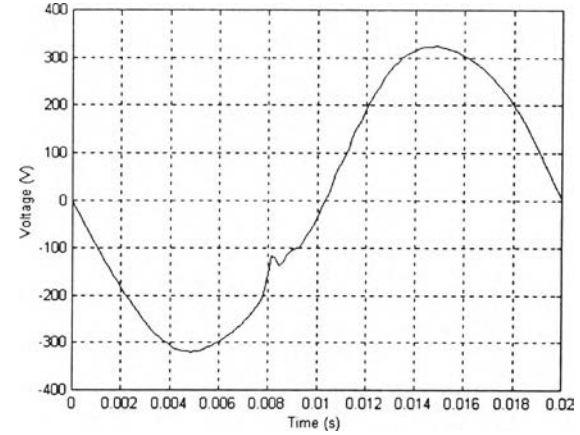
รูปที่ 3.34 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



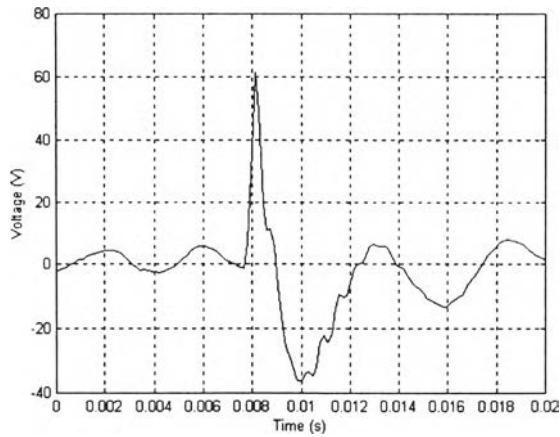
รูปที่ 3.34 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



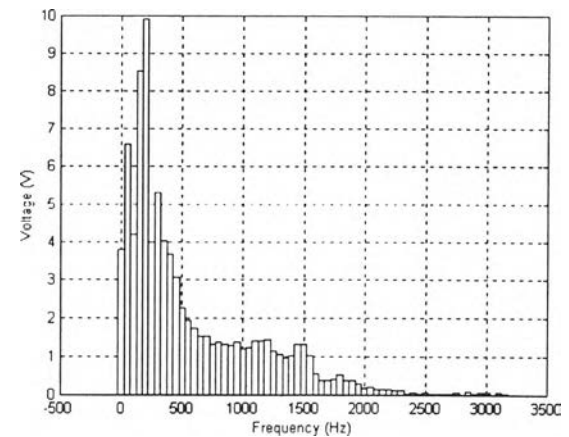
รูปที่ 5.45 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน รongเท้าบาจา เฟส C



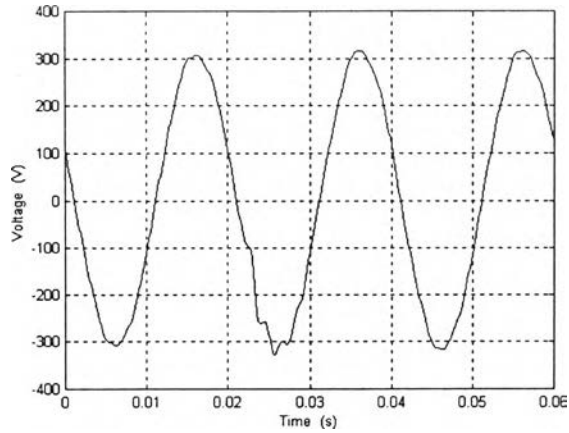
รูปที่ 3.35 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



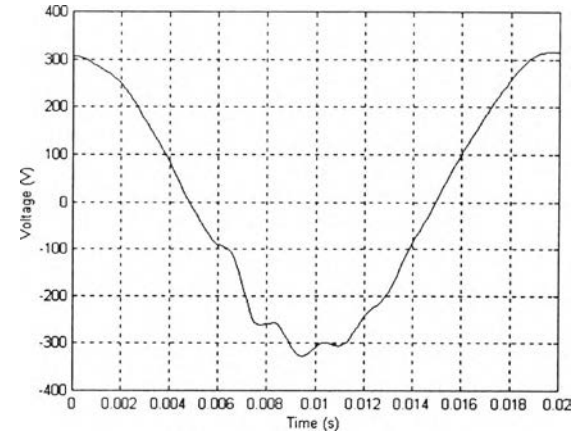
รูปที่ 3.35 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



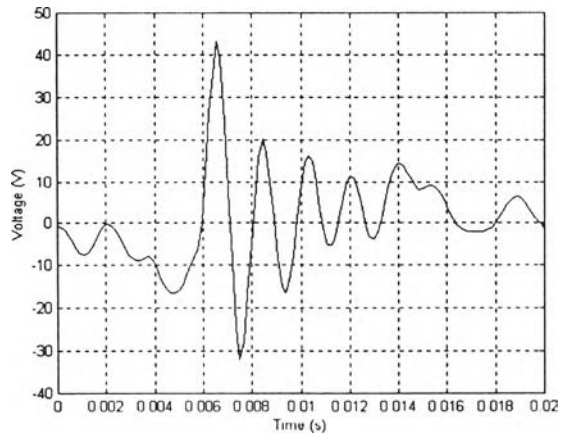
รูปที่ 3.35 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



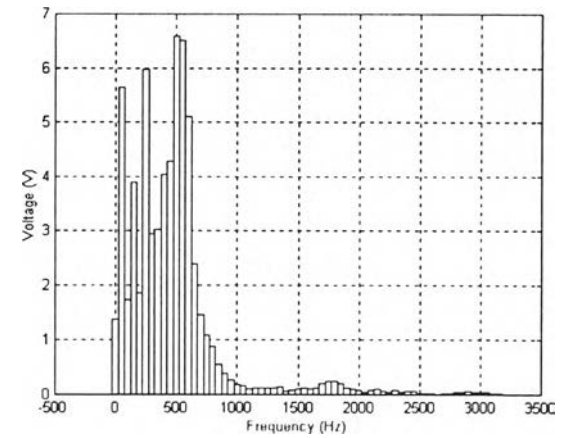
รูปที่ 5.46 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส A



รูปที่ 3.36 (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์

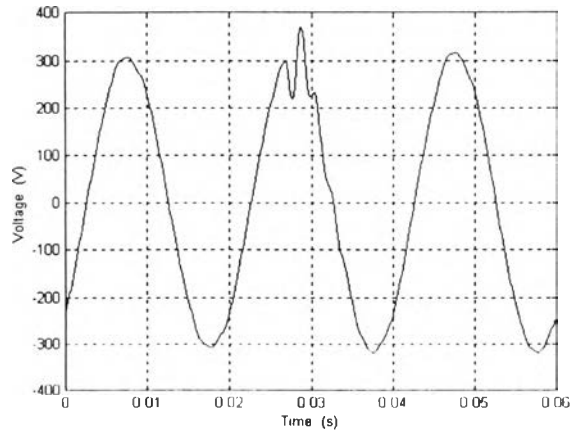


รูปที่ 3.36 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป

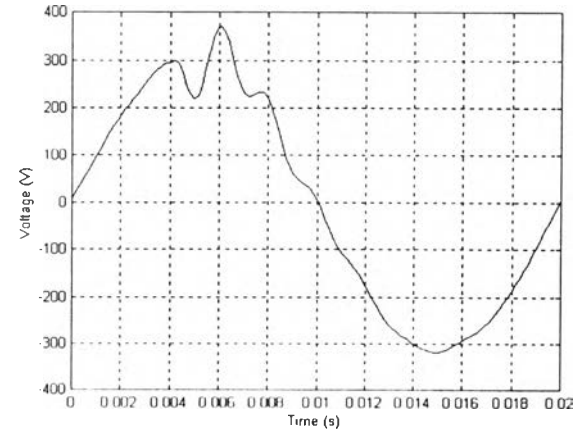


รูปที่ 3.36 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT

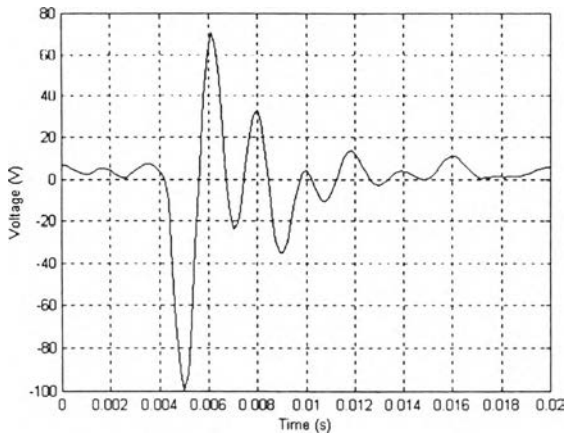




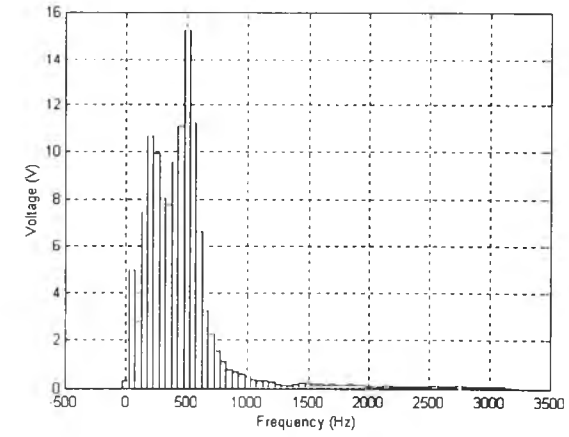
รูปที่ 5.47 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส B



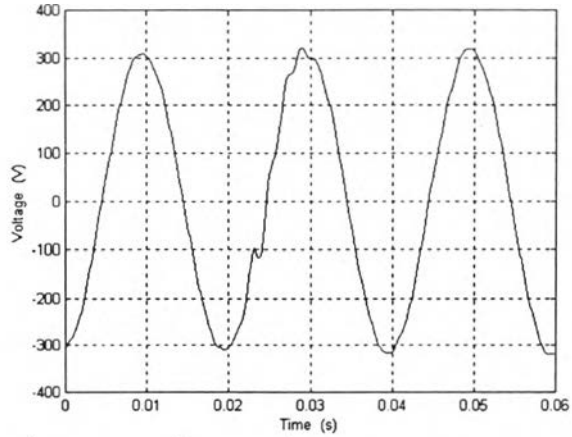
รูปที่ ข.37(ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



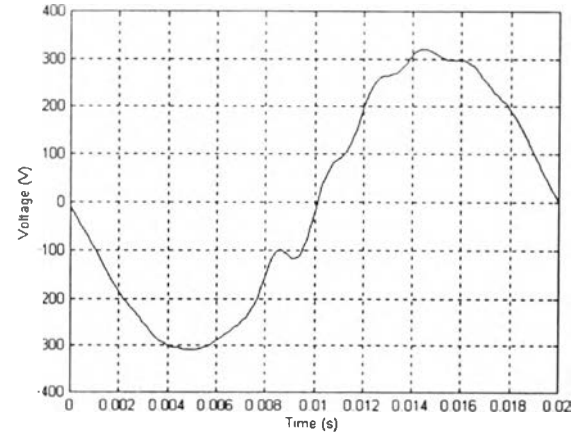
รูปที่ ข.37 (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมูลออกไป



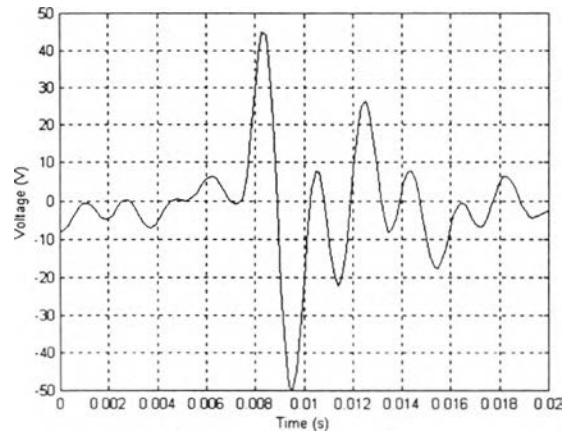
รูปที่ ข.37 (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT



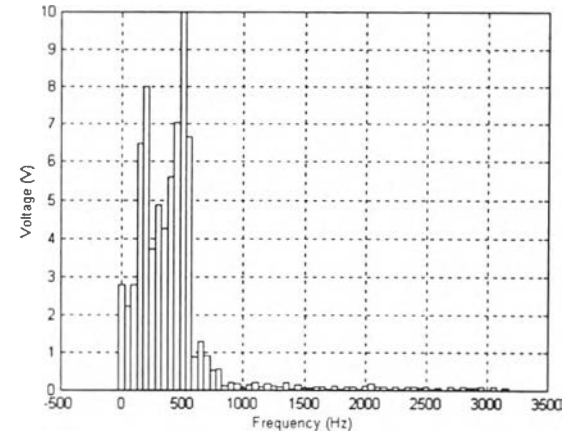
รูปที่ 5.48 รูปคลื่นแรงดันที่โรงงาน NS Electronics เฟส C



รูปที่ ๕.๓๘ (ก) รูปคลื่นที่นำมาวิเคราะห์



รูปที่ ๕.๓๘ (ข) รูปคลื่นที่กรองความถี่หลักมุลออกไป



รูปที่ ๕.๓๘ (ค) รูปคลื่นที่ผ่านกระบวนการ FFT

## ประวัติผู้เขียน

นายนครินทร์ วงศ์ศิธร เกิดวันที่ 17 ตุลาคม พ.ศ. 2519 ที่เขตพระโขนง จังหวัด กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี 2540 และได้เข้าศึกษาต่อหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า (ไฟฟ้ากำลัง) ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปี 2541

