บทที่ 4

การทดสอบและผลการทดสอบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า

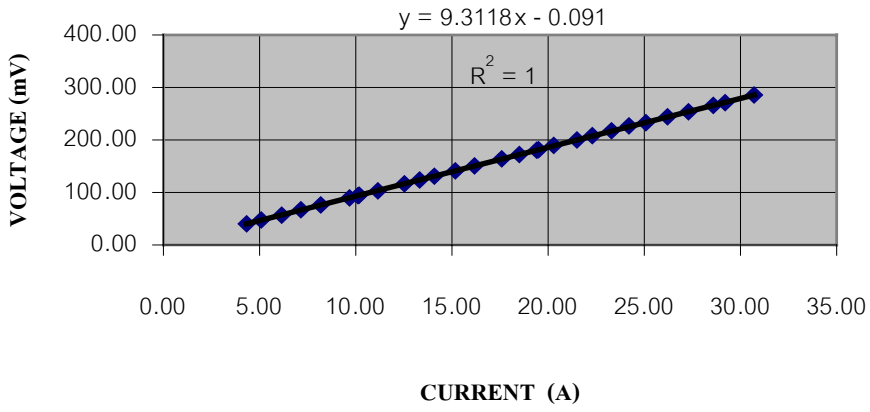
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนและวิธีการทดลอง ตลอดจนถึงกระบวนการวิเคราะห์การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน คือส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า (Energy meter) ซึ่งส่วนนี้จะใช้วงจรโซลิดสเตท ส่วนที่สองคือส่วนประมวลผลพลังงานไฟฟ้า (Host computer) ซึ่งส่วนนี้จะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เชื่อมโยงกับระบบ ส่งผ่านข้อมูล ผ่านพอร์ตอนุกรม และส่วนที่สามเป็นส่วนเชื่อมโยงเครือข่าย (Network interface) ส่วนนี้จะแปลงสัญญาณที่ได้จากส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า เพื่อส่งผ่านข้อมูล ผลการวัดบนสายส่งกำลังไฟฟ้า (Power line carrier,PLC)

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัญญาณกระแสและสัญญาณแรงดัน

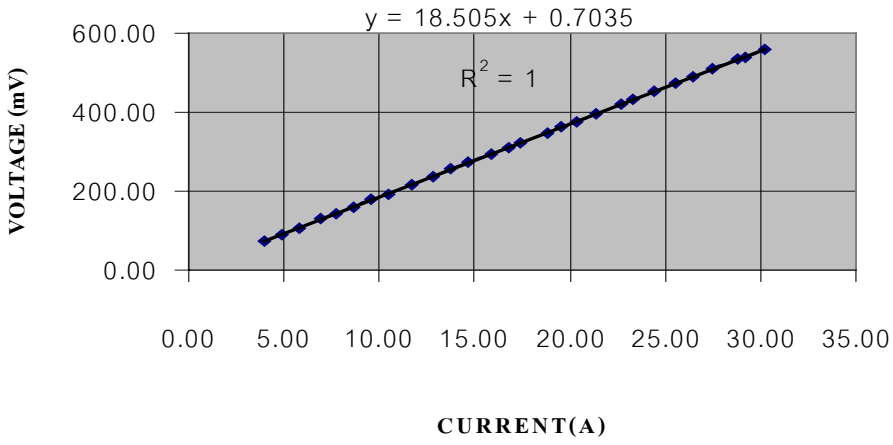
ในส่วนของสัญญาณกระแสที่ช่องสัญญาณ 1(Channel 1) ทำการออกแบบโดยใช้แกนเฟอร์ไรท์ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางวงนอก 28 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลางวงใน 14 มิลลิเมตร มีความหนาของแกน 10 มิลลิเมตร โดยใช้ลวดเบอร์ 42 พันรอบแกนจำนวน 500 รอบ โดยทำการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน โดยใช้ค่าความต้านทาน 5 โอห์ม ดังภาพประกอบ 4-1 รูปแบบวงจรสัญญาณกระแส

ภาพประกอบ 4-1 แกนเฟอร์ไรท์

เปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน โดยใช้ค่าความต้านทาน 5 โอห์มและ 10 โอห์ม โดยความสัมพันธ์แสดงให้เห็นว่าเป็นเชิงเส้น ดังภาพประกอบ 4-2 และภาพประกอบ 4-3

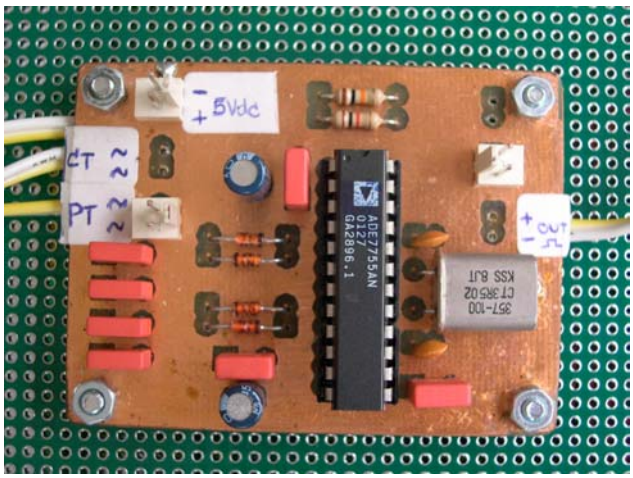


ภาพประกอบ 4-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ใช้ค่าความต้านทาน 5 โอห์ม



ภาพประกอบ 4-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดัน ใช้ค่าความต้านทาน 10 โอห์ม

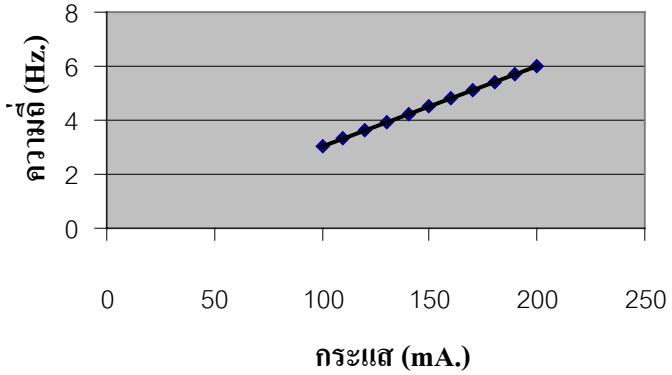
ในการออกแบบส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้า โดยใช้วงจรรวมเบอร์ ADE 7755 ซึ่งผลที่ได้จากการตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้าจริง จะออกมาเป็นสัญญาณพัลส์ โดยความถี่ทางด้านเอาพุท ที่ขา CF จะมีความสัมพันธ์กับค่าของพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป ภาพประกอบ 4-4 แสดงการออกแบบวงจรส่วนตรวจวัดค่าพลังงานไฟฟ้า และตารางการทดลองเมื่อป้อนสัญญาณแรงดันและกระแสจากภายนอก จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF โดยป้อนระดับแรงดันคงที่ 100 และ 200 มิลลิโวลท์



ภาพประกอบ 4-4 ส่วนตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยใช้วงจรรวมเบอร์ ADE 7755

ตารางที่ 4-1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF

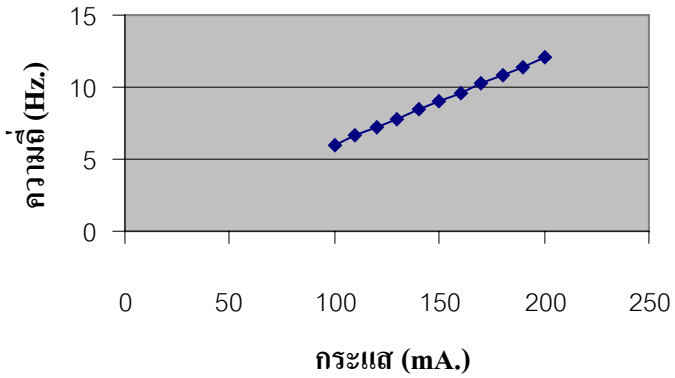
V_{in} (mV_{rms})	V_{ref} (V.)	$T_{measure}$ (Second)	$F_{calculate}$ (Hz.)	$F_{measure}$ (Hz.)
100	2.50	0.332	3.012	3.011
110	2.50	0.301	3.322	3.314
120	2.50	0.276	3.623	3.612
130	2.50	0.255	3.921	3.914
140	2.50	0.237	4.219	4.215
150	2.50	0.221	4.525	4.519
160	2.50	0.207	4.831	4.821
170	2.50	0.195	5.128	5.121
180	2.50	0.184	5.435	5.421
190	2.50	0.174	5.747	5.722
200	2.50	0.165	6.061	6.025



ภาพประกอบ 4-5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF โดยป้อนค่าแรงดันคงที่ 100 mV.

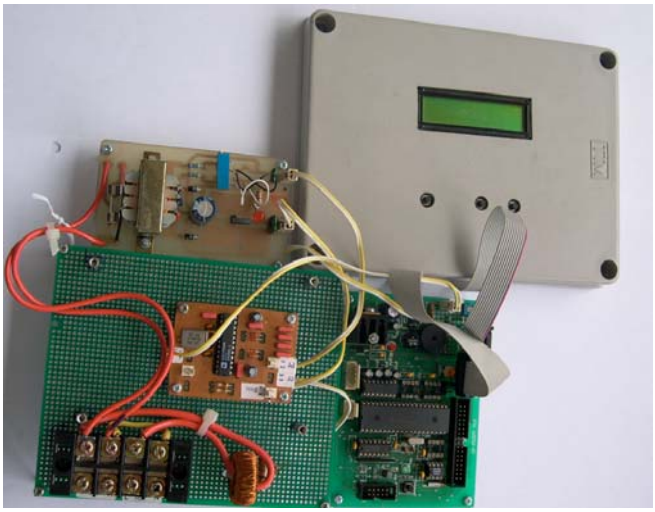
ตารางที่ 4-2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF

V_{in} (mV_{rms})	V_{ref} (V.)	$T_{measure}$ (Second)	$F_{calculate}$ (Hz.)	$F_{measure}$ (Hz.)
100	2.50	0.166	6.024	6.024
110	2.50	0.150	6.667	6.626
120	2.50	0.138	7.246	7.228
130	2.50	0.127	7.874	7.828
140	2.50	0.118	8.475	8.433
150	2.50	0.110	9.091	9.032
160	2.50	0.103	9.709	9.634
170	2.50	0.097	10.309	10.241
180	2.50	0.092	10.870	10.842
190	2.50	0.087	11.494	11.456
200	2.50	0.082	12.195	12.054



ภาพประกอบ 4-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความถี่ CF
โดยป้อนค่าแรงดันคงที่ 200 mV.

เมื่อได้ศึกษาองค์ประกอบต่างๆ ข้างต้นและได้ทำการทดสอบสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแส จากนั้นทำการประกอบมาตรวัดกิโลวัตต์-ชั่วโมง (Kilowatt hour meter) และได้ทำการทดสอบการทำงานของมาตรวัด ดังภาพประกอบ 4-7



ภาพประกอบ 4-7 เครื่องต้นแบบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้า

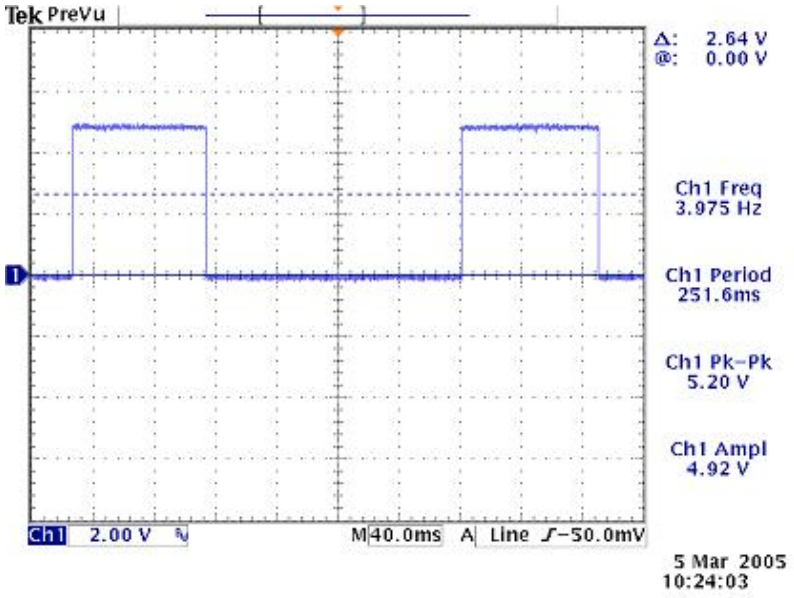
เพื่อให้การทดสอบและการทำงานมาตรวัดมีความสะดวกและแข็งแรง จึงประกอบแผ่นวงจรและอุปกรณ์ต่างๆ ไว้ในกล่องสำเร็จรูปป้องกันน้ำเข้า และแสดงผลการใช้พลังงานไฟฟ้า ด้านบนของกล่อง ดังภาพประกอบ 4-8

ภาพประกอบ 4-8 เครื่องต้นแบบมาตรวัดพลังงานไฟฟ้าขณะจ่ายโหลด

4.2 การวัดค่าพลังงานไฟฟ้า

4.2.1 วัดค่าโหลดต้านทาน

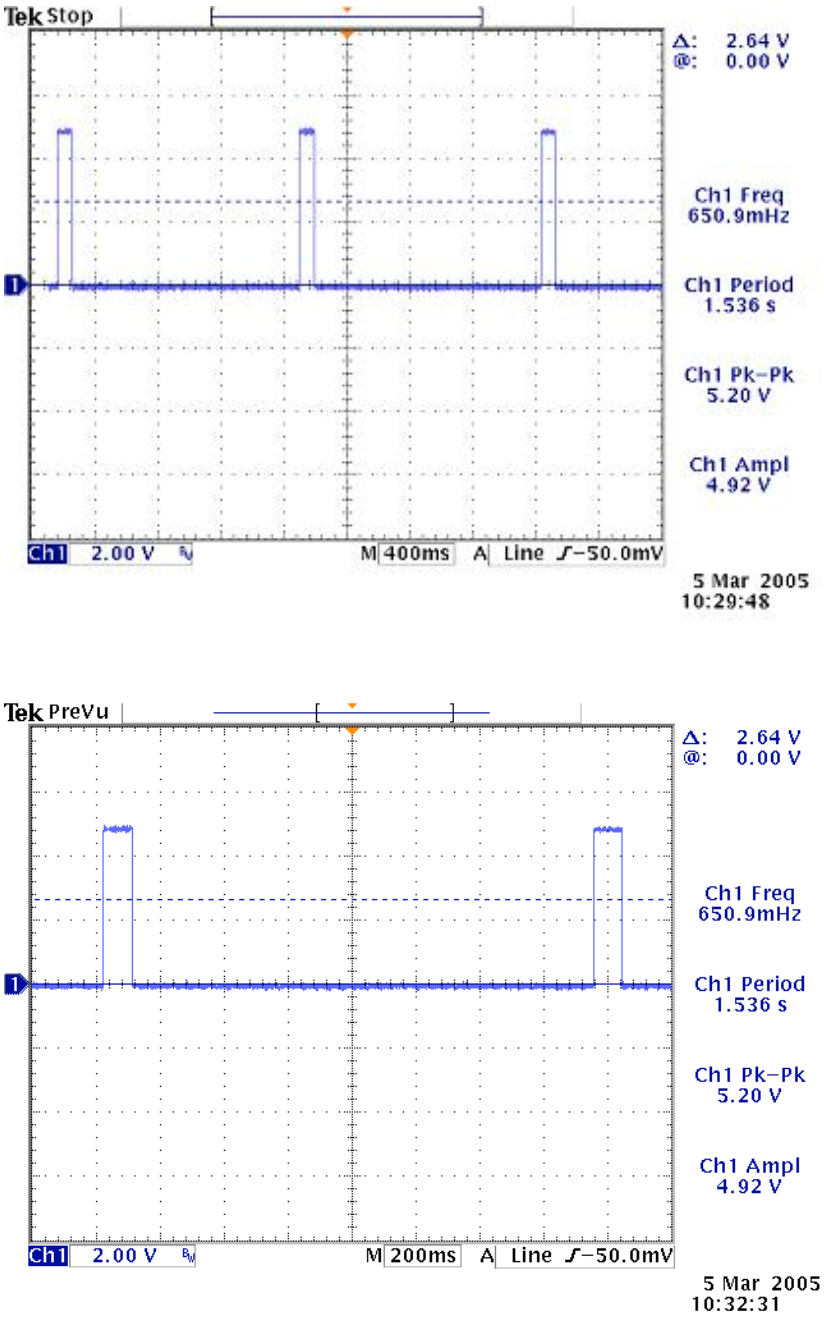
ทดสอบวงจรสำเร็จรูป ADE 7755 ซึ่งเป็นวงรวมสำหรับแปลงค่าผลคูณของสัญญาณแรงดันและสัญญาณกระแสให้เป็นความถี่ (Product-to-frequency converter) สัญญาณแรงดันเข้าที่ขา 7 และขา 8 ส่วนสัญญาณกระแสเข้าที่ขา 5 และ6 ของไอซี สำหรับการคำนวณค่า พลังงานไฟฟ้า โดยทดสอบป้อนโหลดประเภท Resitive load ดังภาพประกอบ 4-9



ภาพประกอบ 4-9 สัญญาณด้านออกของวงจรตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยป้อน Resistance load ขนาด 1,000 วัตต์

4.2.2 วัดค่าโหลดเหนี่ยวนำ

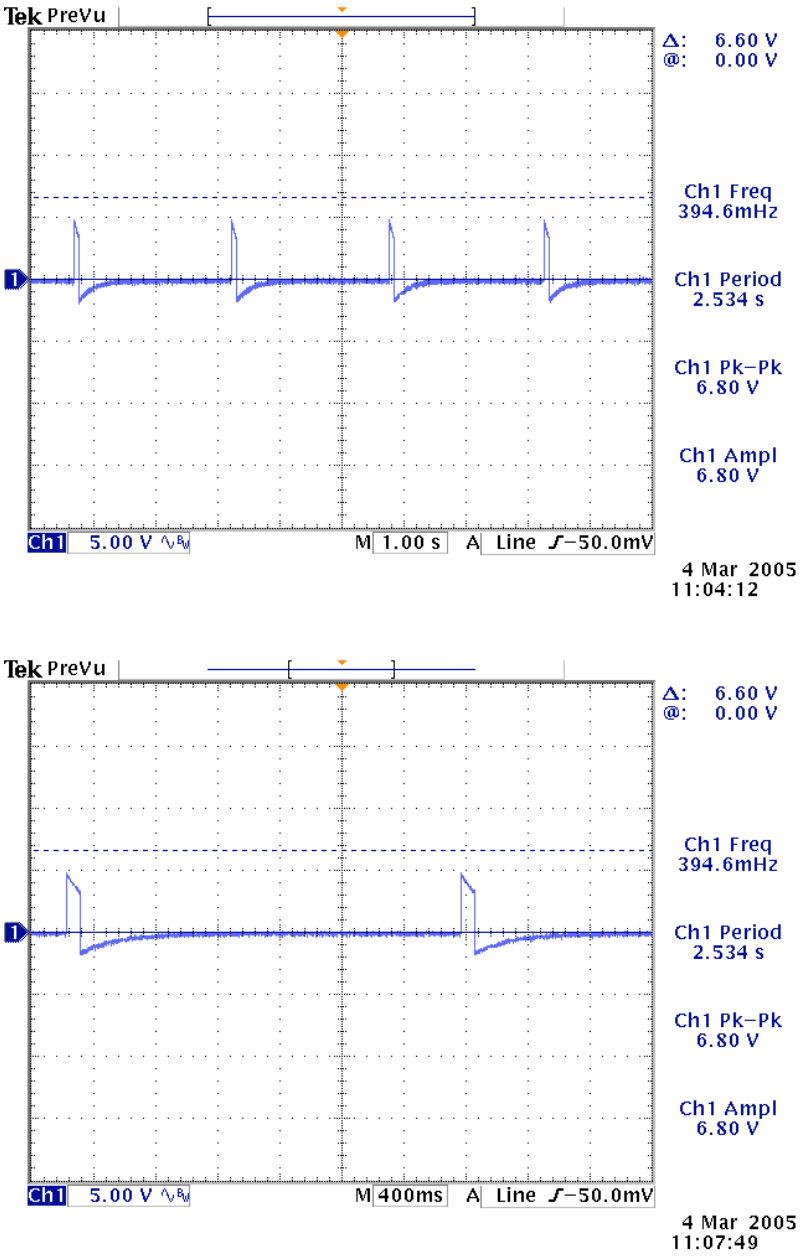
ทดสอบ โดยจ่ายกำลังไฟฟ้ากับโหลดประเภท Inductive load ซึ่งมีค่ากำลังไฟฟ้า 350 วัตต์ ดังภาพประกอบ 4-10



ภาพประกอบ 4-10 สัญญาณด้านออกของวงจรตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยป้อน Inductance load ขนาด 350 วัตต์

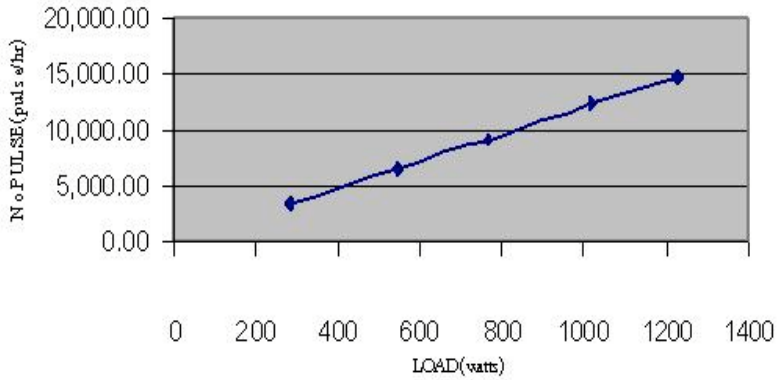
4.2.3 วัดค่าโหลดสวิตชิง

ทดสอบ โดยจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับโหลดประเภท Switching ดังภาพประกอบ 4-11



ภาพประกอบ 4-11 สัญญาณด้านออกของวงจรตรวจวัดพลังงานไฟฟ้าโดยป้อนโหลดประเภท Switching

เปรียบความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโหลดที่ใช้กับจำนวนพัลส์ที่เกิดขึ้น จะเห็นได้ว่าปริมาณโหลดจะแปรผันตรงกับจำนวนพัลส์ ดังภาพประกอบ 4-12



ภาพประกอบ 4-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณโหลด กับจำนวนพัลส์

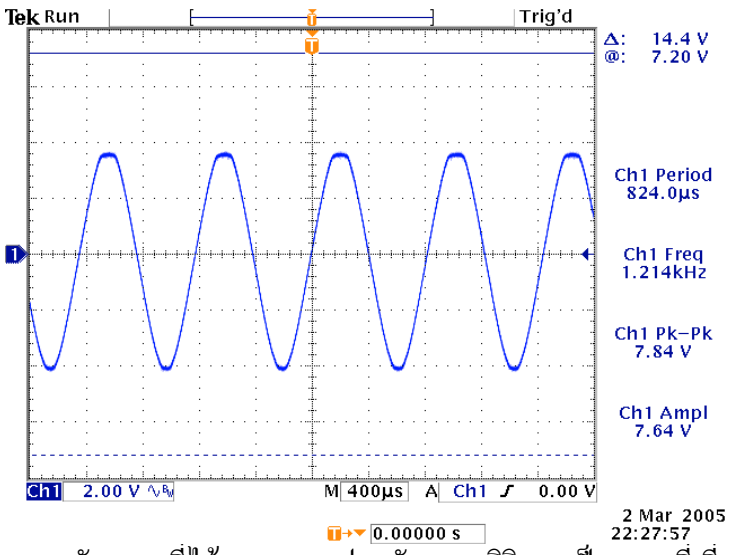
4.3 การพาห์ผ่านสายส่งกำลัง (Power Line Carrier ,PLC)

4.3.1 ภาคส่งสัญญาณ

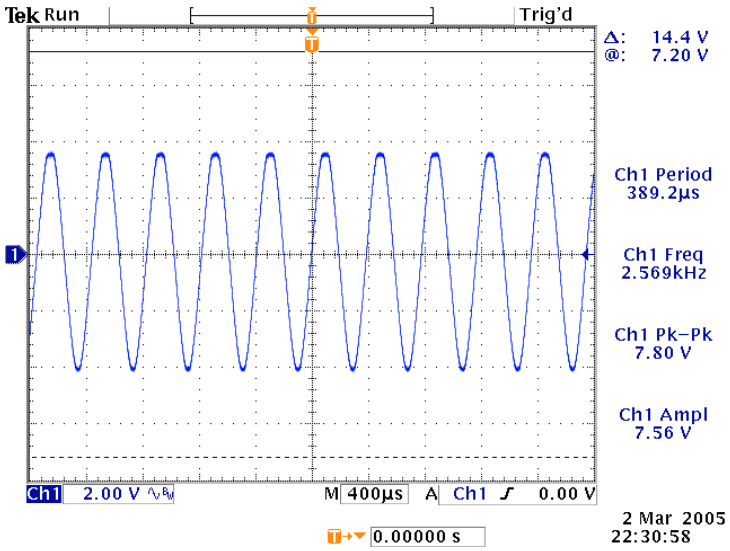
การปรับแต่งวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลไปเป็นสัญญาณความถี่ เมื่อทำการต่อวงจรเสร็จแล้ว ทำการป้อนสัญญาณลอจิก “1” ขนาดแรงดัน 5 โวลท์ และสัญญาณลอจิก “0” เข้าที่ขา 9 ของ IC XR 2206 จะได้สัญญาณเอาท์พุทที่ขา 2 เป็นรูปคลื่นซายน์ ที่มีความถี่ที่แตกต่างกัน 2 ความถี่ คือ

ลอจิก “1” จะได้สัญญาณรูปคลื่นซายน์ ที่มีความถี่ 1,200 Hz.

ลอจิก “0” จะได้สัญญาณรูปคลื่นซายน์ ที่มีความถี่ 2,200 Hz.



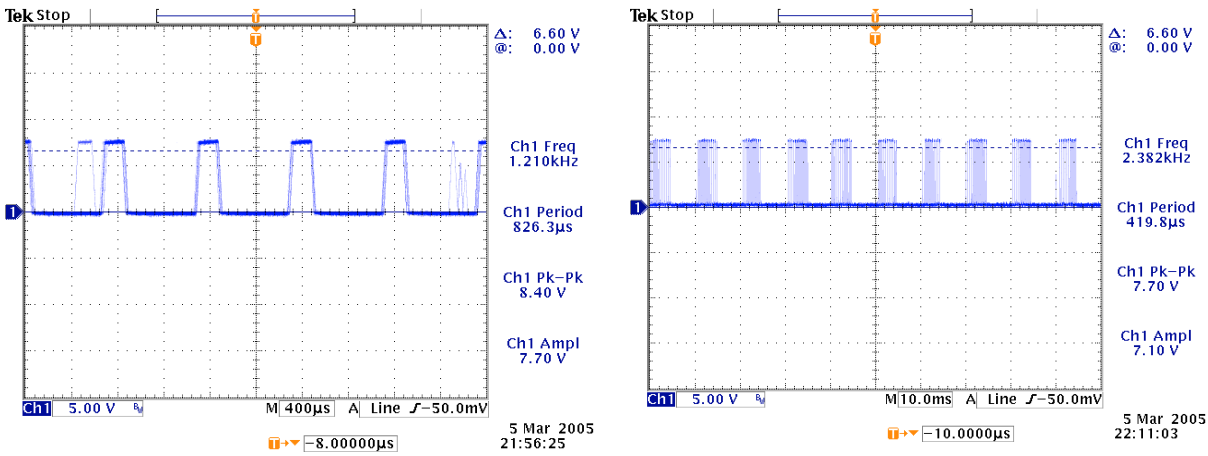
ภาพประกอบ 4-13 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่ ที่ ลอจิก “1”



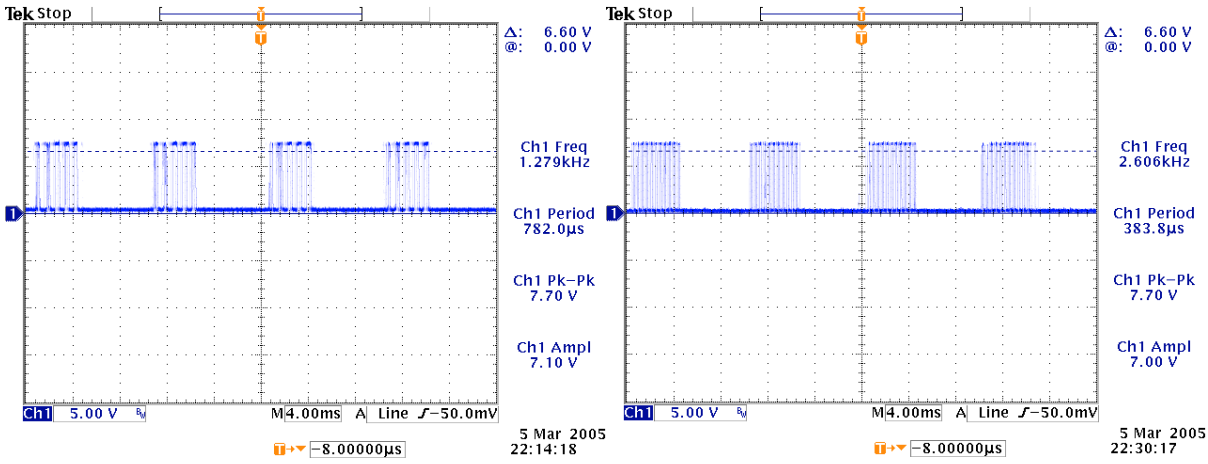
ภาพประกอบ 4-14 แสดงสัญญาณที่ได้จากวงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นความถี่ ที่ ลอจิก “0”

4.3.2 ภาครับสัญญาณ

การทดสอบวงจรถอดรหัสสัญญาณความถี่ เนื่องจากสัญญาณที่ได้จากภาคส่ง หลังจากการมอดูเลตผ่านสายไฟฟ้าแล้วขนาดแอมปลิจูดค่อนข้างต่ำ เพราะถูกลดทอนลงไปในสายไฟฟ้านั่นเอง หลังจากผ่านวงจรจูนความถี่ซึ่งเป็นวงจรแบนด์พาสฟิลเตอร์รูปตัวพาย หลังจากนั้นจะทำการขยายสัญญาณให้แรงขึ้น แต่สัญญาณที่ได้ยังมีพาหะปะปนอยู่ ดังนั้นจึงต้องกำจัดสัญญาณแบบเอฟเอ็ม ซึ่งเป็นเฟสล็อกลูปใช้ในการดีเทคสัญญาณแบบเอฟเอ็ม ซึ่งแสดงสัญญาณความถี่ที่ได้จากการดีเทคเตอร์ ดังภาพประกอบ 4-15



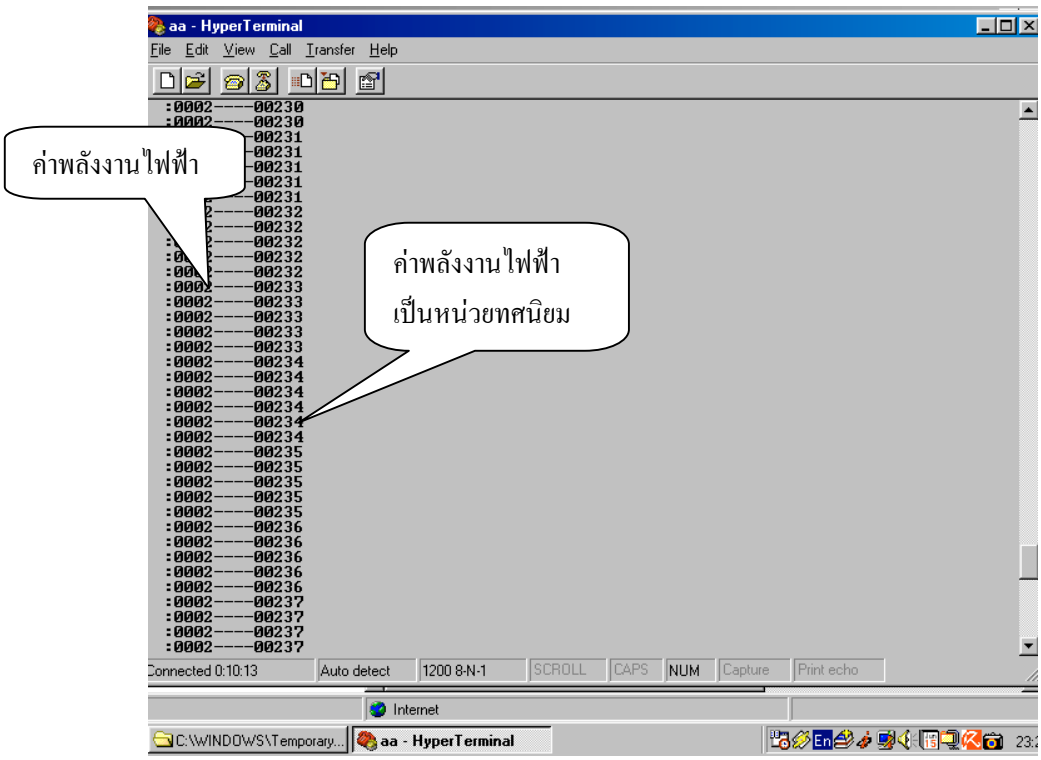
ภาพประกอบ 4-15 แสดงสัญญาณที่ภาค FM DEMODULATOR (ระยะ 5 เมตร)



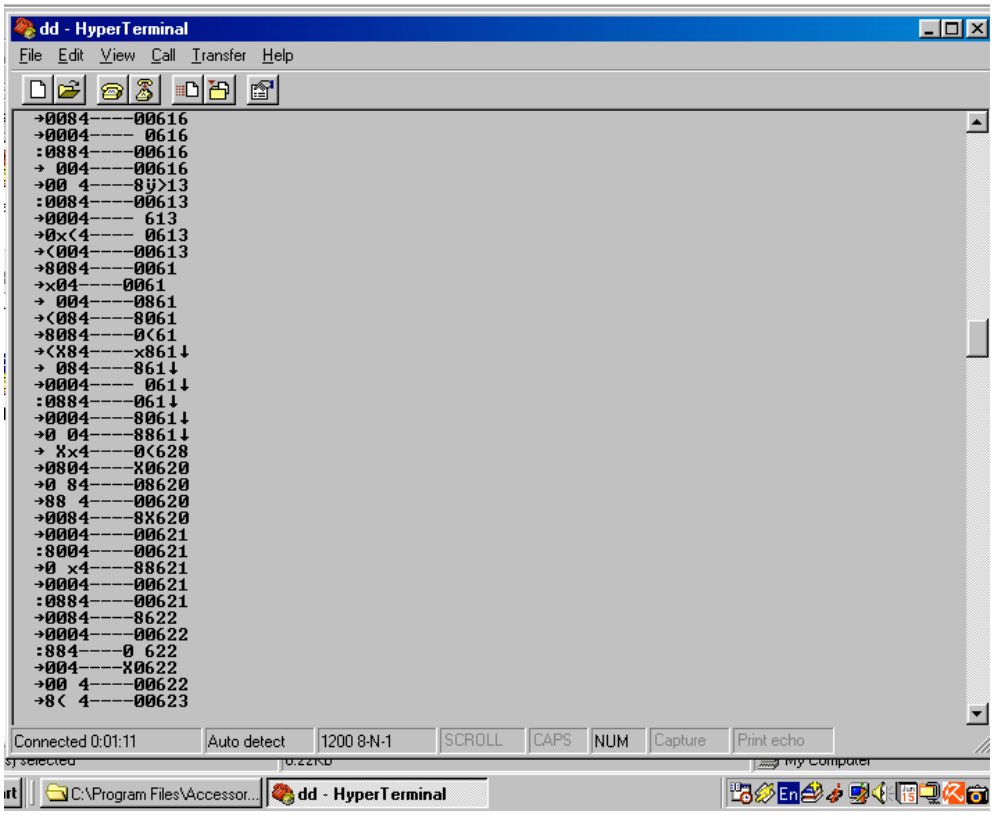
ภาพประกอบ 4-16 แสดงสัญญาณที่ภาค FM DEMODULATOR (ระยะ 10 เมตร)

4.4 ผลการทดสอบการวัดพลังงานไฟฟ้า โดยส่งผ่านสายไฟฟ้า

ทำการทดสอบวัดค่าพลังงานไฟฟ้า โดยให้แสดงผลบนโปรแกรมทดสอบ Hyper terminal ซึ่งในการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านสายส่งไฟฟ้าจากมาตรวัดไปยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้ระยะทางในการทดสอบที่ 10 เมตรและ 30 เมตร ซึ่งผลที่ได้ ดังภาพประกอบที่ 4-17



ภาพประกอบ 4-17 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านสายส่งไฟฟ้าระยะทาง 10 เมตร



ภาพประกอบ 4-18 ผลการทดสอบการส่งข้อมูลผ่านสายส่งไฟฟ้าระยะทาง 30 เมตร

4.5 สรุปท้ายบท

จากผลการทดสอบการวัดค่าพลังงานไฟฟ้าของมาตรวัด วัตต์-ชั่งโมง(Kwatt-hour meter) โดยทำการวัดค่าพลังงานไฟฟ้า ของโหลดประเภทต่างๆ ซึ่งสัญญาณพัลส์ที่วัดได้จะแปลผันโดยตรงกับค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ไป และมีการออกแบบตามข้อกำหนดของมาตรฐาน IEC 1036 ของมาตรวัดประเภท 1(Class 1 meter) โดยกำหนดให้มีค่าความผิดพลาดของการวัดมีค่าต่ำกว่าร้อยละ 1 % ในส่วนของการโปรแกรมนับสัญญาณพัลส์ ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ควบคุมให้นับสัญญาณที่ขอบขาลงของพัลส์ และให้แสดงผลค่าพลังงานในโมดูล LCD โดยเพิ่มเติมส่วนเก็บรักษาข้อมูลไว้ในขณะไฟดับ โดยใช้แบตเตอรี่แบ็คอัพขนาด 3 โวลท์ และมีการอ่านและเขียนข้อมูลจากสายสัญญาณ (I^2C)

ในส่วนการรับส่งข้อมูลบนสายไฟฟ้า จากการทดสอบยังมีข้อจำกัดในส่วนของระยะทางและประสิทธิภาพของการรับส่ง ซึ่งมีสัญญาณรบกวนอยู่ในระดับหนึ่ง ดังผลที่แสดงในโปรแกรมทดสอบ Hyper terminal