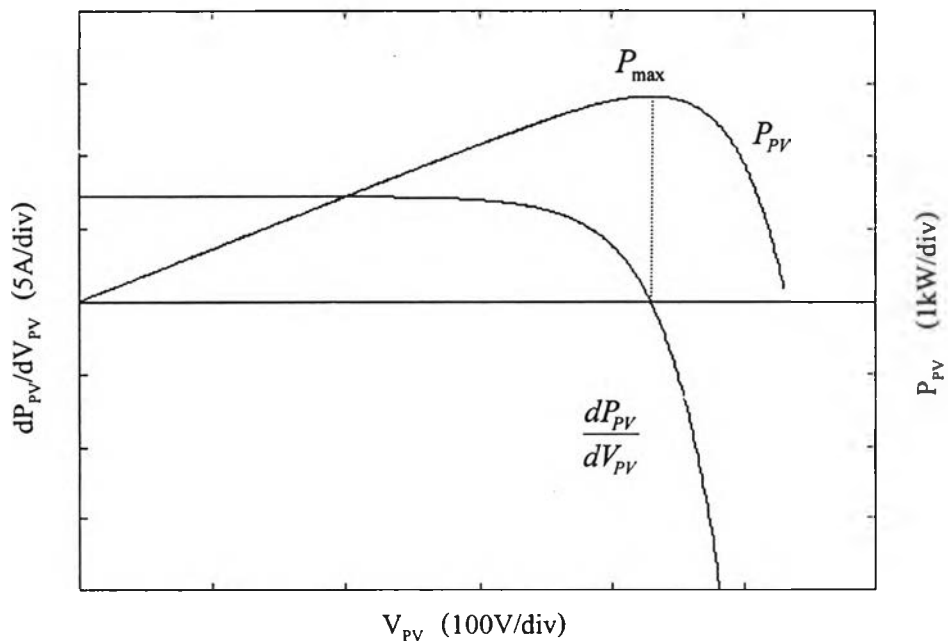


การตรวจหาจุดกำลังสูงสุด

ในบทนี้เราจะกล่าวถึงการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดโดยวิธีควบคุมค่าอนุพันธ์ของกำลังเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (dp_{pv}/dv_{pv}) ให้เท่ากับศูนย์ และการควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์โดยอาศัยอินเวอร์เตอร์ทำหน้าที่จ่ายกำลังด้านออกให้สมดุลกับกำลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ ณ จุดทำงานนั้นๆ เราจะเริ่มจากการกล่าวถึงคุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ การควบคุม dp_{pv}/dv_{pv} และผลการจำลองระบบ ตามลำดับ

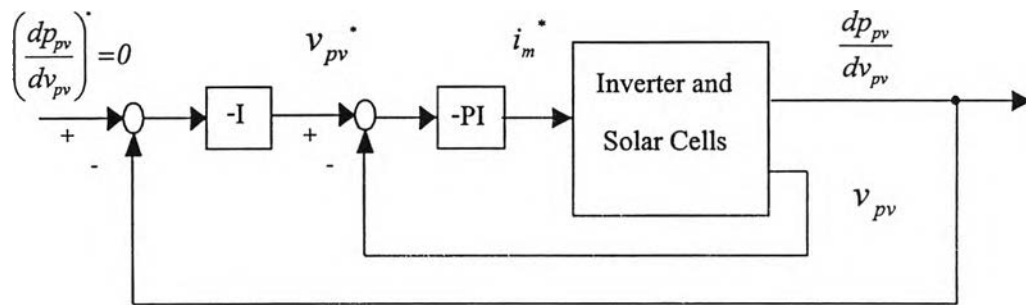
3.1 คุณลักษณะของเซลล์แสงอาทิตย์

ความสัมพันธ์ของกระแสด้านออกและกำลังด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์จะไม่เป็นเชิงเส้น เมื่อเทียบกับแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ดังแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก กำลังที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาจะมีค่าแปรเปลี่ยนตามแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์และจะมีค่าสูงสุดที่ค่าหนึ่งของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ที่ให้กำลังออกสูงสุดจะมีค่าไม่คงตัว แต่จะแปรเปลี่ยนไปตามสภาวะของแสงและอุณหภูมิในขณะนั้นๆ อย่างไรก็ตาม ณ จุดกำลังสูงสุดอนุพันธ์ของกำลังเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ (dp_{pv}/dv_{pv}) จะมีค่าเท่ากับศูนย์เสมอ



รูปที่ 3.1 ลักษณะสมบัติ p_{pv} - v_{pv} และ dp_{pv}/dv_{pv} - v_{pv} ของเซลล์แสงอาทิตย์

เมื่อเราพิจารณาความสัมพันธ์ของ dp_{pv}/dv_{pv} กับ v_{pv} ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าค่า dp_{pv}/dv_{pv} เป็นฟังก์ชันลดแบบต่อเนื่องเทียบกับ v_{pv} ดังนั้นเราจึงสามารถควบคุม dp_{pv}/dv_{pv} ผ่านการควบคุม v_{pv} ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นการควบคุมแบบ 2 วงรอบ โดยวงรอบนอกจะควบคุมให้ dp_{pv}/dv_{pv} เท่ากับศูนย์ สัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมตัวแรกจะเป็นแรงดันอ้างอิง (v_{pv}^*) เพื่อควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ และสัญญาณที่ออกจากตัวควบคุมตัวหลังจะเป็นค่ายอดของกระแส (i_m^*) เพื่อเป็นกระแสอ้างอิงในการควบคุมกระแสดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2



รูปที่ 3.2 แผนภาพบล็อกการตรวจหาค่ากำลังสูงสุดโดยวิธีควบคุมให้ $dp_{pv}/dv_{pv} = 0$

3.2 การควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์

ในเบื้องต้นเราจะอธิบายการทำงานของระบบวงรอบในซึ่งเป็นวงรอบการควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ก่อน โดยยกตัวอย่างเมื่อมีการสั่งให้เพิ่มค่าอ้างอิงของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ ตัวควบคุม PI จะสั่งให้อินเวอร์เตอร์ลดขนาดของกระแสขาออกลง แต่เซลล์แสงอาทิตย์ยังคงจ่ายกำลังงานเท่าเดิม ดังนั้นกำลังงานส่วนที่ลดลงของอินเวอร์เตอร์จะเข้าไปให้กับตัวเก็บประจุ ส่งผลให้แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น เมื่อระบบเข้าสู่จุดสมดุลสุดท้ายอินเวอร์เตอร์อาจจะจ่ายกระแสมากขึ้นหรือน้อยกว่าค่าตั้งต้นก็ได้ ขึ้นอยู่กับจุดทำงานใหม่ของเซลล์แสงอาทิตย์ให้กำลังออกมากขึ้นหรือน้อยลง

ในการวิเคราะห์ระบบเราจะเริ่มจากการหาแบบจำลองของระบบอินเวอร์เตอร์ที่คู่ร่วมกับเซลล์แสงอาทิตย์ แบบจำลองที่เราใช้คือแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กระยะเวลาสั้นที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเล็กๆ ของค่ายอดของกระแส (Δi_m) และสัญญาณออกเป็นผลการเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ (Δv_{pv}) เราจะใช้กฎสมมูลกำลังงานในการหาแบบจำลอง โดยที่กำลังเข้าอินเวอร์เตอร์จะเท่ากับกำลังงานออกจากอินเวอร์เตอร์เมื่อเราละเลยพลังงานสูญเสียในอินเวอร์เตอร์ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$v_{PV} i_{PV} - v_{PV} C \frac{dv_{PV}}{dt} = L \frac{di_a}{dt} i_a + v_a i_a \quad (3.1)$$

เมื่อพิจารณาค่ากำลังเฉลี่ยต่อคาบสายกำลัง เราสามารถลดรูปสมการลงได้ดังสมการที่ 3.2 เนื่องจากกำลังเฉลี่ยในตัวเหนี่ยวนำเท่ากับศูนย์

$$\overline{v_{PV} i_{PV}} - \overline{v_{PV} C \frac{dv_{PV}}{dt}} = \overline{v_m i_m \sin^2(\omega t)} \quad (3.2)$$

“-” แสดงถึงค่าเฉลี่ยต่อคาบสายกำลัง

เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณค่าเล็กๆ รอบๆ จุดทำงาน เป็น $v_{PV} = V_{PV} + \Delta v_{PV}$, $i_m = I_m + \Delta i_m$ เราจะสามารถจัดรูปสมการที่ 3.2 ใหม่ได้เป็น

$$\overline{V_{PV} I_{PV} + I_{PV} \Delta v_{PV} + V_{PV} \Delta i_{PV} + \Delta v_{PV} \Delta i_{PV}} - \overline{C V_{PV} \frac{d(V_{PV} + \Delta v_{PV})}{dt} - C \Delta v_{PV} \frac{d(V_{PV} + \Delta v_{PV})}{dt}} = \overline{(V_m I_m + V_m \Delta i_m) \sin^2(\omega t)} \quad (3.3)$$

เมื่อละเลยพจน์ไม่เชิงเส้นอันดับสองในสมการ 3.3 และพิจารณาว่า Δi_m เท่ากับ Δi_m^* ซึ่งเรากำหนดให้มีค่าคงที่ตลอดคาบแล้วเราสามารถเขียนสมการ 3.3 ได้เป็น

$$\overline{V_{PV} I_{PV} + I_{PV} \Delta v_{PV} + V_{PV} \Delta i_{PV}} - \overline{C V_{PV} \frac{d\Delta v_{PV}}{dt}} = \frac{V_m I_m}{2} + \frac{V_m}{2} \Delta i_m^* \quad (3.4)$$

จากสมการที่ 3.4 เราสามารถหาแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กระบบอินเวอร์เตอร์รอบๆ จุดสมดุลกำลังงานเฉลี่ยในสมการที่ 3.5 ได้ดังสมการที่ 3.6

$$\text{จุดสมดุล} \quad : \quad V_{PV} I_{PV} = \frac{V_m I_m}{2} \quad (3.5)$$

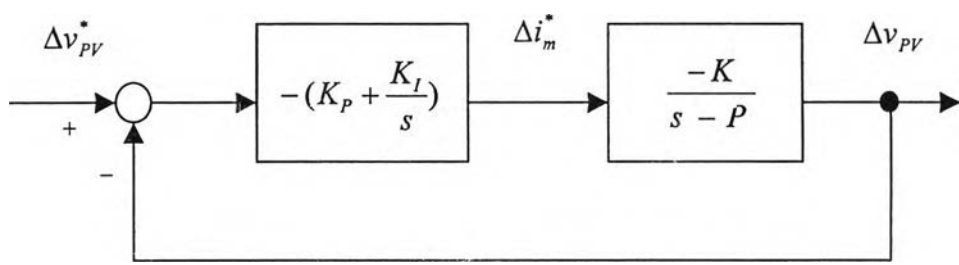
$$\text{แบบจำลองสัญญาณขนาดเล็ก} \quad : \quad I_{PV} \Delta v_{PV} + V_{PV} \Delta i_{PV} - \overline{C V_{PV} \frac{d\Delta v_{PV}}{dt}} = \frac{V_m}{2} \Delta i_m^* \quad (3.6)$$

เมื่อรวมสมการที่ 3.6 กับแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กของเซลล์แสงอาทิตย์ที่กล่าวไว้ในสมการที่ 3.8 ของภาคผนวก ก เราสามารถหาฟังก์ชันโอนย้ายของสัญญาณขนาดเล็กของค่าออกกระแส Δi_m^* ไปยังสัญญาณขนาดเล็กของค่าแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ $\overline{\Delta v_{PV}}$ ได้ดังสมการที่ 3.7 และแสดงเป็นแผนภาพบล็อกการควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ได้ดังรูปที่ 3.3

$$\frac{\overline{\Delta v_{PV}}}{\Delta i_m^*} = -\frac{K}{s - P} \tag{3.7}$$

โดยที่ $K = \frac{V_m}{2CV_{PV}}$ (3.8)

$$P = \frac{I_{PV}}{CV_{PV}} - \frac{K_{PV}}{C} \tag{3.9}$$



รูปที่ 3.3 แผนภาพบล็อกของแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กและการควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์

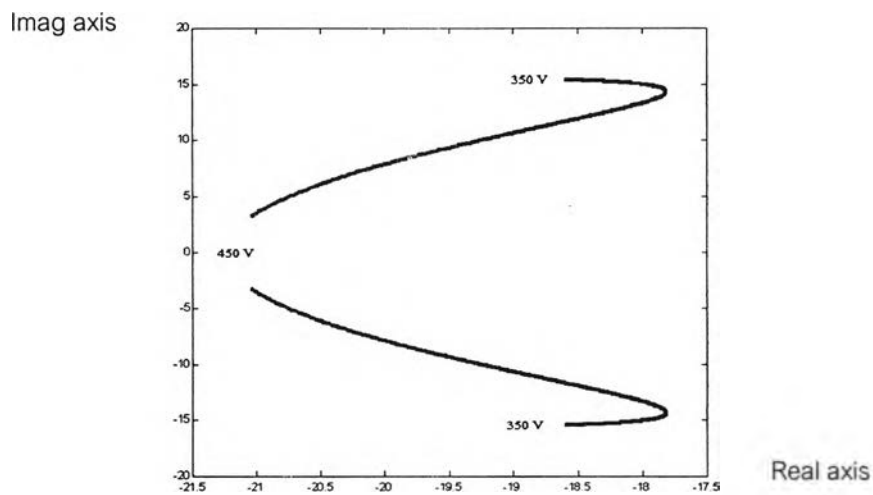
จากแผนภาพบล็อกรูปที่ 3.3 เราสามารถหาฟังก์ชันโอนย้ายของวงรอบปิดได้ดังสมการที่ 3.10 และเราจะเลือกค่า K_p และ K_I ที่เหมาะสมเพื่อให้ขั้วของฟังก์ชันโอนย้ายอยู่ในตำแหน่งที่ให้ผลตอบสนองตามที่ต้องการ

$$\frac{\overline{\Delta v_{PV}}}{\Delta v_{PV}^*} = \frac{KK_p(s + K_I / K_p)}{s^2 + (KK_p - P)s + KK_I} \tag{3.10}$$

เมื่อพิจารณาฟังก์ชันโอนย้ายในสมการที่ 3.10 จะพบว่าเงื่อนไขที่ทำให้ระบบมีเสถียรภาพคือ

$$K_p > P/K \quad \text{และ} \quad K_I > 0 \tag{3.11}$$

เมื่อพิจารณาสมการที่ 3.10 จะเห็นได้ว่าขั้วของฟังก์ชันโอนย้ายขึ้นกับอัตราขยาย K_p , K_I ของตัวควบคุม และค่าพารามิเตอร์ P , K ที่แสดงไว้ในสมการที่ 3.8 และ 3.9 รูปที่ 3.4 แสดงตำแหน่งขั้วของระบบที่จุดทำงานต่างๆ (แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ 350-450V) โดยเราเลือกค่าอัตราขยายของตัวควบคุม K_p เท่ากับ 0.2 และ K_I เท่ากับ 2.5 จะพบว่าขั้วของระบบมีค่าตัวประกอบหน่วง (damping factor) ที่น่าพอใจ จุดทำงานที่มีแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ 350 โวลต์มีค่าตัวประกอบหน่วงประมาณ 0.77 และที่แรงดัน 450 โวลต์จะมีค่าตัวประกอบหน่วงประมาณ 0.99



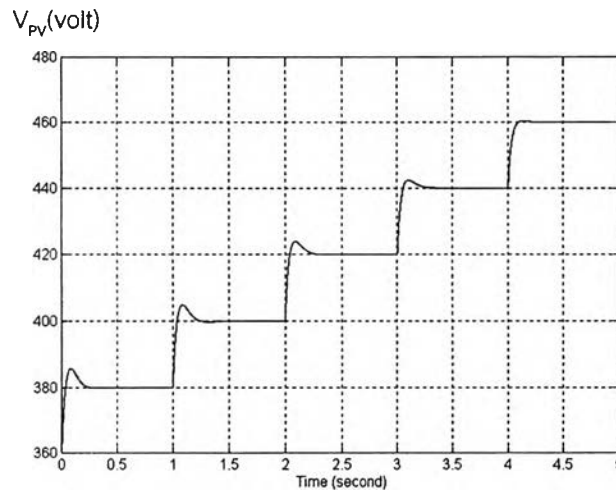
รูปที่ 3.4 ขั้วของวงรอบควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ที่แรงดัน 350-450 โวลต์ โดยที่ $K_p = 0.2$ และ $K_I = 2.5$

3.3 ผลการจำลองระบบควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์

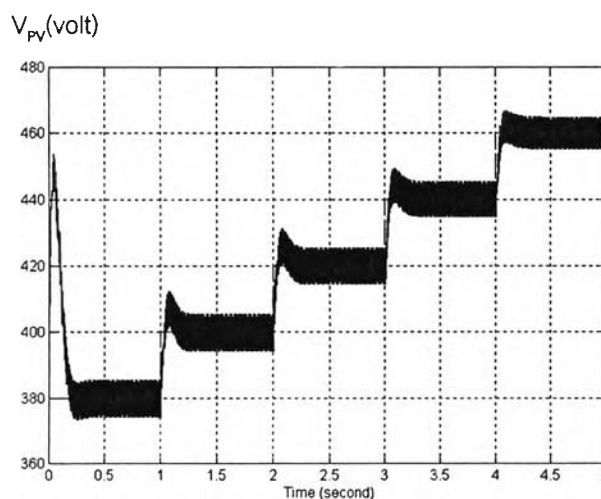
รูปที่ 3.5 แสดงผลตอบสนองของแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กของระบบในสมการที่ 3.10 โดยให้สัญญาณด้านเข้าเปลี่ยนระดับแบบขั้นเพิ่มขึ้น 20 โวลต์ทุกๆ 1 วินาที และมีจุดทำงานเริ่มต้นที่แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ 380 โวลต์ จะพบว่าแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าพุ่งเกินลดลงที่แรงดันสูงขึ้น สอดคล้องกับตำแหน่งขั้วที่ให้ค่าตัวประกอบหน่วงสูงขึ้น

เราจะทำการเปรียบเทียบโดยการจำลองระบบในรูปที่ 3.2 ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อตรวจสอบการออกแบบการควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์จากแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กว่าใช้ได้ดีเพียงไร โดยเรากำหนดสัญญาณอ้างอิงของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นสัญญาณแบบขั้นเช่นเดียวกับการจำลองระบบในรูปที่ 3.5 ผลการจำลองระบบจริงในรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่าเราสามารถควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ได้ตามที่กำหนด เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 3.5 ผลตอบสนองจะคล้ายคลึงกัน แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าพุ่งเกินลดลงเมื่อแรงดันสูงขึ้นเช่นเดียวกับที่พบในการทดสอบกับแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็ก ดังนั้นจะเห็นได้ว่าเราสามารถใส่สมการที่ 3.10

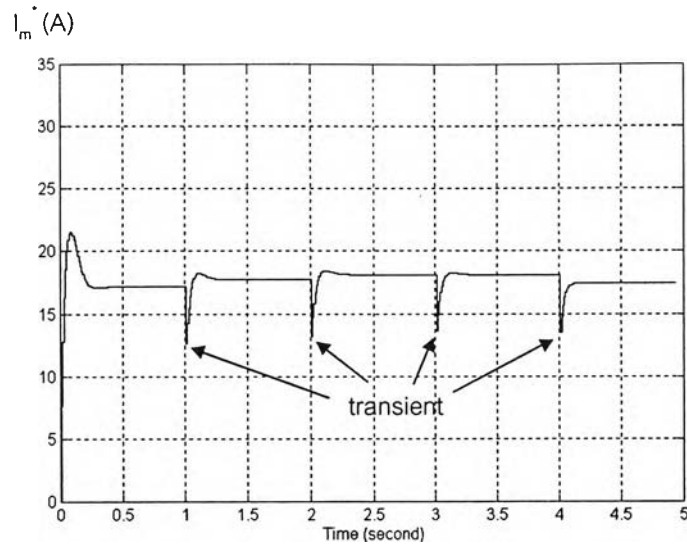
เป็นแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กในการออกแบบตัวควบคุม PI ได้ นอกจากนี้ยังพบว่าสัญญาณอ้างอิงของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบขั้นจะทำให้ค่าออกของกระแสอ้างอิงที่ออกจากตัวควบคุม PI มีการปรับเปลี่ยนอย่างไม่ต่อเนื่อง เกิดการเพิ่มและลดของกระแสแบบชั่วคราว ดังแสดงในรูปที่ 3.7 ดังนั้นหากการปรับเปลี่ยนแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์เป็นไปอย่างต่อเนื่อง สภาวะชั่วคราวของค่าออกของกระแสอ้างอิง I_m^* ก็จะลดลงด้วย ซึ่งเราจะได้กล่าวถึงการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดโดยการปรับเปลี่ยนแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องและไม่ต่อเนื่องเปรียบเทียบกันในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.5 แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จากแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็ก กรณีที่สัญญาณอ้างอิงเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันได



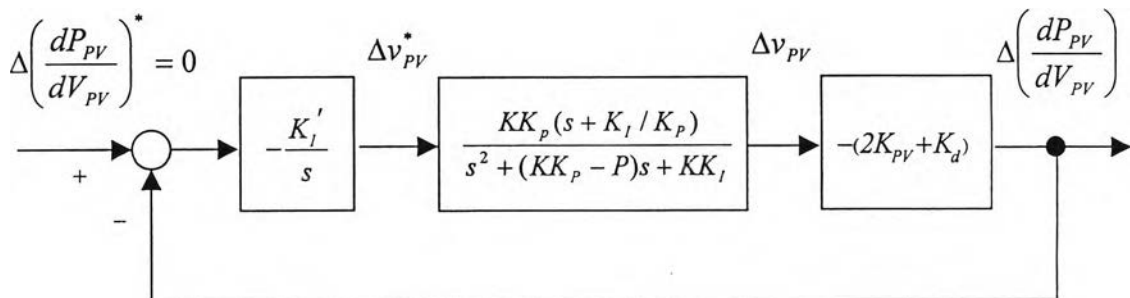
รูปที่ 3.6 แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์จากการจำลองระบบในรูปที่ 3.2 กรณีที่สัญญาณอ้างอิงเปลี่ยนแปลงแบบขั้นบันได



รูปที่ 3.7 ภาวะชั่วคราวของค่ายอดกระแสคำสั่งกรณีที่สัญญาณอ้างอิงเปลี่ยนแปลงแบบขั้น

3.4 การควบคุม dp_{PV}/dv_{PV}

จากแผนภาพบล็อกการควบคุมรูปที่ 3.2 เราจะควบคุม dp_{PV}/dv_{PV} ผ่านการควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ สัญญาณออกจากตัวควบคุมจะเป็นสัญญาณคำสั่งของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ v_{PV}^* เราจะหาความสัมพันธ์ของสัญญาณขนาดเล็กของแรงดันคำสั่ง Δv_{PV}^* ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอนุพันธ์ของกำลังเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ $\Delta \left(\frac{dp_{PV}}{dv_{PV}} \right)$ โดยจะแยกการพิจารณาเป็น 2 ส่วนดังนี้ (1) ฟังก์ชันโอนย้ายของแบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กของแรงดันคำสั่ง Δv_{PV}^* ต่อแรงดัน Δv_{PV} ดังแสดงไว้ในสมการ 3.10 และ (2) ผลของการเปลี่ยนแปลงแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ค่าเล็กๆ Δv_{PV} ต่อการเปลี่ยนแปลงค่าอนุพันธ์ของกำลังเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ $\Delta \frac{dp_{PV}}{dv_{PV}}$ ด้วยค่าเกณฑ์ $-(2K_{PV} + K_d)$ ดังแสดงในสมการ ก.11 ของภาคผนวก ก เมื่อรวมแบบจำลองทั้งสองเข้าด้วยกัน เราสามารถแสดงแผนภาพบล็อกการควบคุมได้ดังรูปที่ 3.8

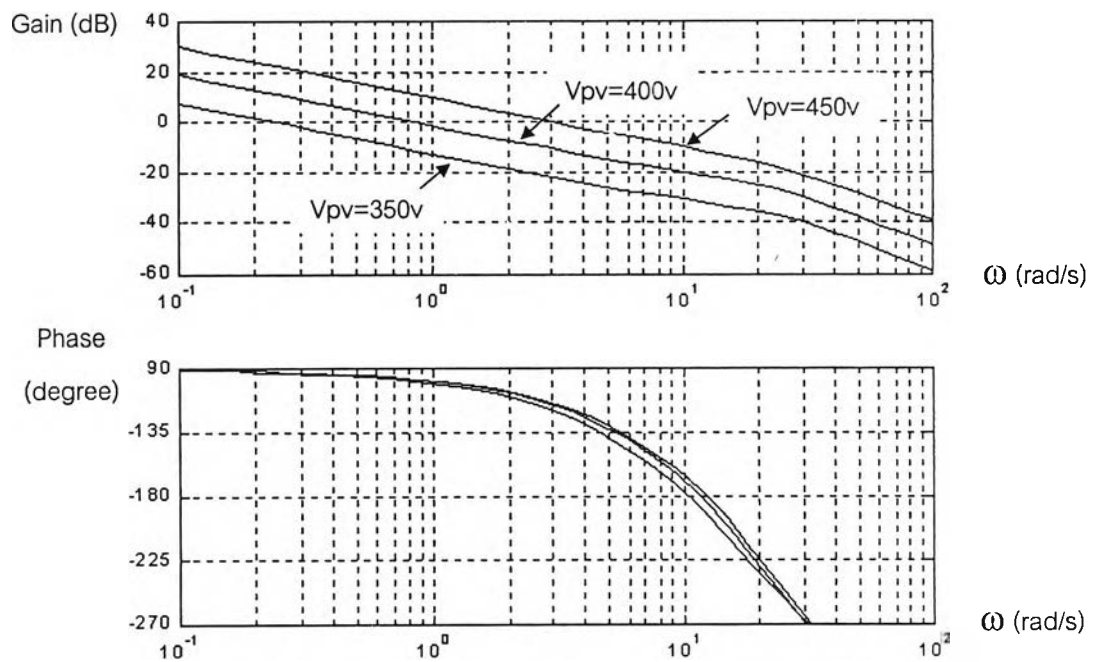


รูปที่ 3.8 แบบจำลองสัญญาณขนาดเล็กของการควบคุม dP_{PV}/dV_{PV}

จากแผนภาพลือกรุปที่ 3.8 เราสามารถหาอัตราขยายวงรอบเปิดของระบบได้ดังสมการที่ 3.12

$$\text{open loop gain} = \frac{K'_I K (2K_{PV} + K_d) [K_p s + K_I]}{s^3 + (K_p K - P)s^2 + K_I K s} \quad (3.12)$$

อัตราขยายวงรอบเปิดของระบบในสมการที่ 3.12 จะขึ้นกับจุดทำงานของระบบ ในรูปที่ 3.9 แสดงอัตราขยายวงรอบเปิดของระบบ ณ จุดทำงานที่มีแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ 350, 400 และ 450 โวลต์ตามลำดับ โดยมีค่าอัตราขยายของตัวควบคุมอินทิเกรเตอร์ $K'_I=10$ จะเห็นได้ว่าที่ค่าอัตราขยาย $K'_I=10$ เป็นค่าที่ให้ช่วงปลอดภัยเชิงอัตราขยายและช่วงปลอดภัยเชิงเฟสที่เพียงพอสำหรับเสถียรภาพในการควบคุม



รูปที่ 3.9 อัตราขยายวงรอบเปิดของระบบการควบคุม dP_{PV}/dV_{PV}

3.5 ผลการจำลองระบบการตรวจหาจุดกำลังสูงสุด

(ก) การตรวจหาจุดกำลังสูงสุดที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์แบบขั้น

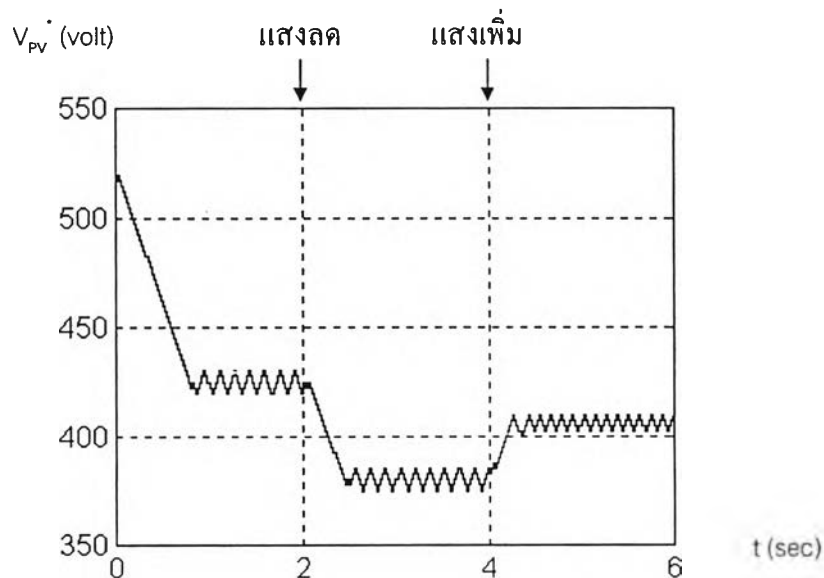
เราจะทำการทดสอบแนวคิดการควบคุมค่า dp_{pv}/dv_{pv} ให้เท่ากับศูนย์ เปรียบเทียบกับระบบที่มีการปรับสัญญาณอ้างอิงของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์แบบขั้นซึ่งทำการตรวจจับ dp_{pv}/dv_{pv} และกำหนดค่าแรงดันอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้ คือ

ถ้า $dp_{pv}/dv_{pv} > 0$ ให้เพิ่มแรงดันอ้างอิงขึ้นหนึ่งขั้น

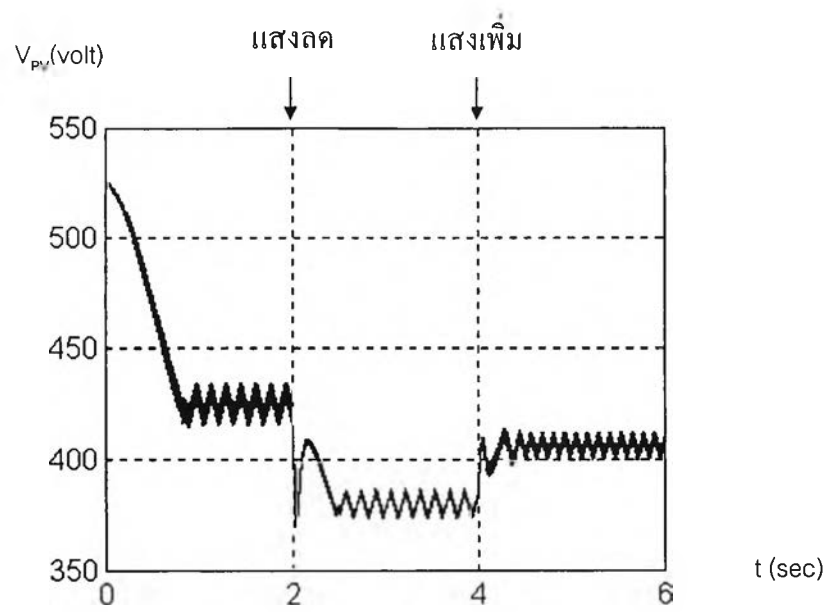
ถ้า $dp_{pv}/dv_{pv} < 0$ ให้ลดแรงดันอ้างอิงลงหนึ่งขั้น

ถ้า $dp_{pv}/dv_{pv} = 0$ ให้คงค่าแรงดันอ้างอิง

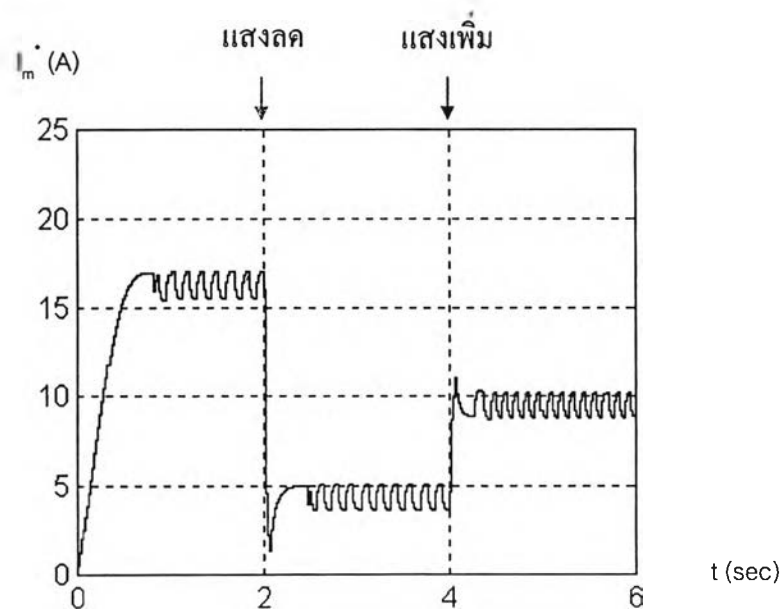
ผลการทดสอบระบบในรูปที่ 3.10 ถึง 3.13 จะเป็นระบบที่มีการตรวจสอบค่า dp_{pv}/dv_{pv} และทำการกำหนดค่าแรงดันอ้างอิงใหม่ทุก 20ms โดยมีการปรับแรงดันเป็นแบบขั้นๆ ละ 2.5 โวลต์ จากผลการจำลองในรูปที่ 3.10 และ 3.11 ซึ่งแสดงค่าอ้างอิงและค่าจริงของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ จะพบว่าที่จุดทำงานที่ห่างจากจุดกำลังสูงสุด ขนาดของ dp_{pv}/dv_{pv} จะสูงแต่การปรับสัญญาณอ้างอิง จะมีความชันคงตัว แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์จะปรับตัวลดลงตามค่าอ้างอิงและมีการแกว่งตัว รอบๆ จุดกำลังสูงสุดไม่เข้าสู่จุดกำลังสูงสุดอย่างแท้จริง เมื่อระดับแสงมีการเปลี่ยนแปลง โดยในวินาทีที่ 2 แสงจะลดระดับลง และในวินาทีที่ 4 แสงจะเพิ่มระดับขึ้นแต่ยังคงน้อยกว่าระดับเริ่มต้น อินเวอร์เตอร์จะปรับเปลี่ยนขนาดของค่าชดเชยแสงอ้างอิงดังแสดงในรูปที่ 3.10 และเข้าสู่จุดกำลังสูงสุดใหม่ดังแสดงในรูปที่ 3.11



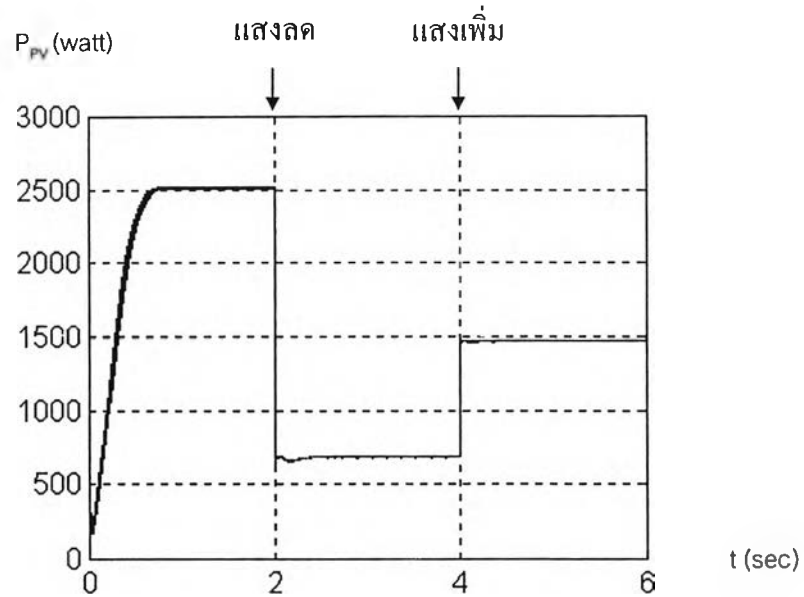
รูปที่ 3.10 แรงดันอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบขั้น



รูปที่ 3.11 แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบขั้น



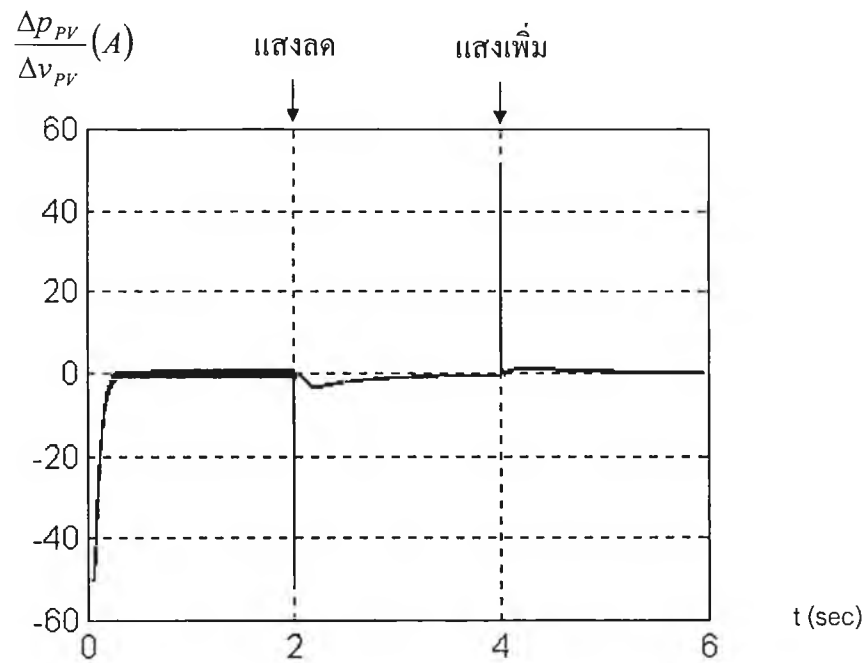
รูปที่ 3.12 ค่ายอดกระแสอ้างอิงขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบขั้น



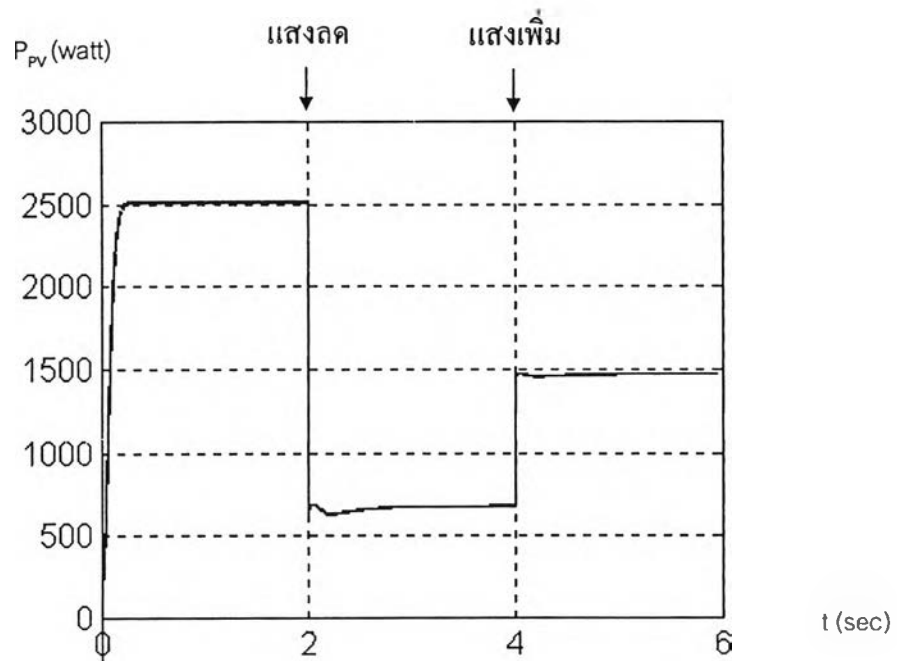
รูปที่ 3.13 กำลังด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบขั้น

(ข) การตรวจหาจุดกำลังสูงสุดที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเนื่อง

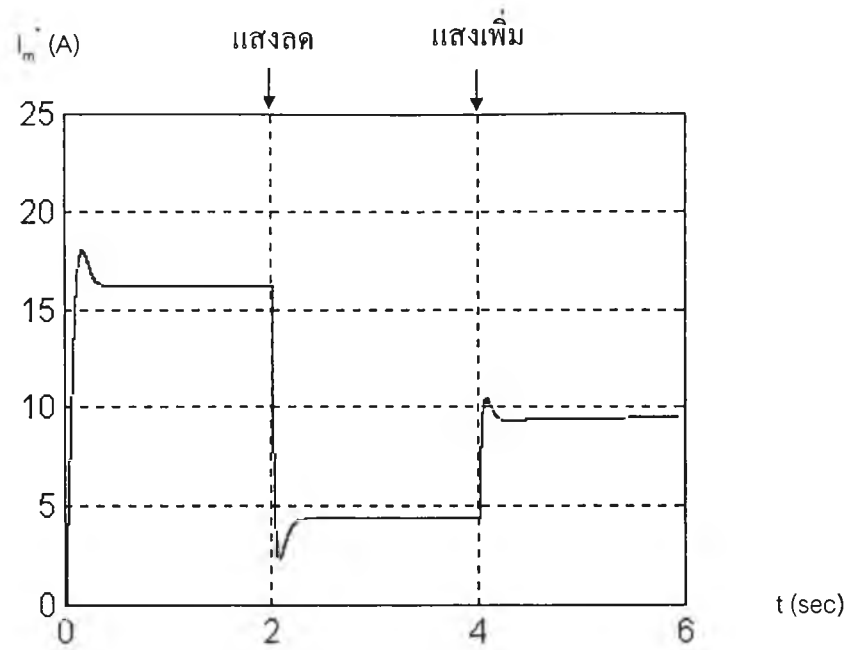
การติดตามหาจุดกำลังสูงสุดโดยวิธีควบคุมค่า dp_{pv}/dv_{pv} ของเซลล์แสงอาทิตย์ให้เท่ากับศูนย์ และควบคุมแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่อเนื่อง ที่แสดงรายละเอียดไว้ในหัวข้อ 3.3 มีผลการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3.14 ถึง 3.18 ซึ่งเราจะทำการทดสอบให้มีการเปลี่ยนระดับแสง 3 ระดับเช่นเดิม โดยในวินาทีที่ 2 จะลดระดับแสงลง และในวินาทีที่ 4 จะเพิ่มระดับแสงขึ้นแต่ยังน้อยกว่าระดับเริ่มต้น ผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์อย่างต่อเนื่องจะดีกว่าแบบที่ปรับเปลี่ยนแรงดันแบบขั้น จะเห็นได้ว่าค่าอนุพันธ์ของกำลังเทียบกับแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีการปรับตัวเข้าหาศูนย์ตลอดเวลาในระดับแสงต่างๆ ซึ่งเป็นจุดที่มีกำลังสูงสุดของระดับแสงนั้นๆ ดังแสดงในรูปที่ 3.14 และ 3.15 ค่ายอดของกระแสอ้างอิงและสัญญาณอ้างอิงของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่องดังแสดงในรูปที่ 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ ส่วนแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะปรับตัวเข้าหาอ้างอิง แต่ขณะที่แสงมีการเปลี่ยนระดับอย่างรวดเร็วกำลังที่เซลล์แสงอาทิตย์จ่ายออกมาจะไม่สอดคล้องกับกำลังด้านออกที่กำหนดจากค่ายอดของกระแสอ้างอิงที่ถูกกำหนดจากคาบก่อนหน้า ทำให้มีสภาวะชั่วคราวของแรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์และเกิดความคลาดเคลื่อนจากสัญญาณอ้างอิงดังแสดงในรูปที่ 3.16 เช่นเดียวกันกับ รูปที่ 3.10 ที่มีการปรับแรงดันอ้างอิงแบบขั้น



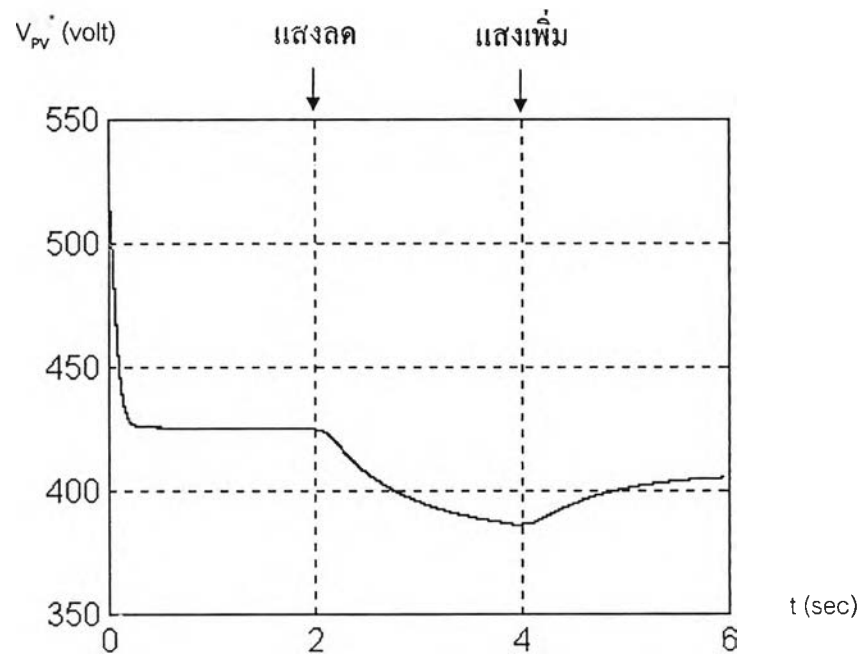
รูปที่ 3.14 การควบคุมอนุพันธ์ของกำลังเทียบกับกำลังของเซลล์แสงอาทิตย์ให้เท่ากับศูนย์



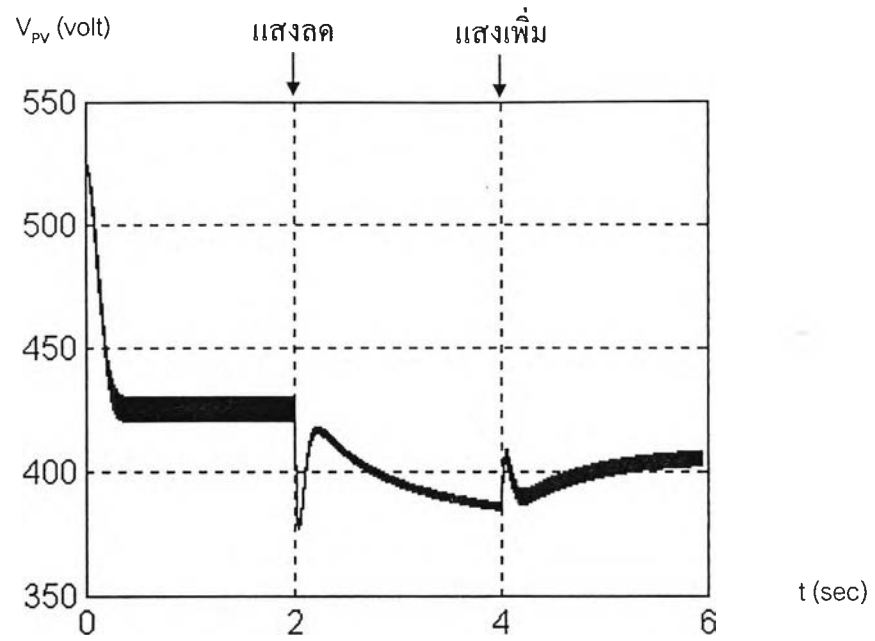
รูปที่ 3.15 กำลังด้านออกของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.16 ค่ายอดกระแสอ้างอิงขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.17 แรงดันอ้างอิงของเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุดของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบต่อเนื่อง



รูปที่ 3.18 แรงดันคร่อมเซลล์แสงอาทิตย์ขณะทำการตรวจหาจุดกำลังสูงสุด
ของระบบที่มีการปรับเปลี่ยนแรงดันอ้างอิงแบบต่อเนื่อง