

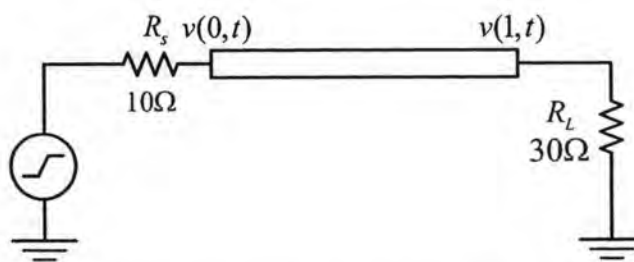
บทที่ 4

ผลการทดลอง

บทนี้จะแสดงผลการวิเคราะห์การทำงานของวงจรถ่ายถ่ายโอนที่มีสายส่งเป็นส่วนประกอบ ด้วยวิธี Distribution State Variable (DSV) และ Piecewise Exponential Approximation (PEA) โดยจะแสดงถึงข้อดีและข้อเสียของวิธีนี้รวมถึงผลของการควบคุมความแม่นยำผ่านกลไกต่างๆ ผลวิเคราะห์ที่ได้จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อยืนยันความถูกต้องกับผลของโปรแกรม Hspice [20] ที่เป็นโปรแกรมวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีความน่าเชื่อถือเนื่องจากใช้แบบจำลองหลายแบบร่วมกันในการวิเคราะห์สายส่งตามวิธี optimal transient simulation [21] ซึ่งถูกอ้างอิงในบทความทางด้านนี้อยู่เสมอ นอกจากนี้ยังเปรียบเทียบผลของการใช้ Backward Differentiation Formula (BDF) อันดับ 1 และ 2 ในการสร้างแบบจำลอง ส่วนสุดท้ายจะแสดงการกระจายในสายส่งที่คำนวณได้พร้อมกับการวิเคราะห์หาแรงดันและกระแสที่ปลายสายส่ง

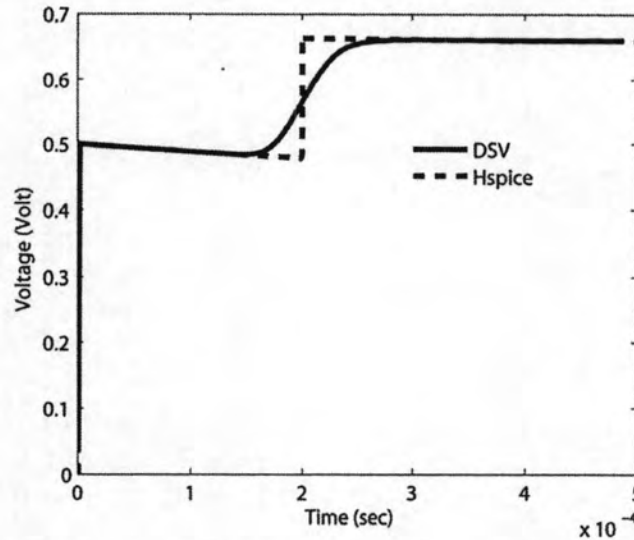
4.1 วงจรสายส่งที่มีความสูญเสีย (Lossy transmission line) หนึ่งเส้น

ตัวอย่างแรกเป็นวงจรถ่ายถ่ายโอนที่ประกอบด้วยสายส่งที่มีความสูญเสีย (Lossy) ความยาว 1 เมตร ที่มีพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ดังนี้ $L = 1\text{mH}/\text{m}$, $C = 10\mu\text{F}/\text{m}$, $G = 0.02\text{S}/\text{m}$ และ $R = 1\Omega/\text{m}$ วงจรนี้จะมีค่าประวิงเวลา (delay time) โดยประมาณเท่ากับ 10^{-4}sec โดยปลายด้านหนึ่งของสายส่งต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันแบบขั้น (unit step) ที่มีเวลาเปลี่ยนระดับแรงดันขึ้น (rise time) เท่ากับ $1 \times 10^{-9}\text{sec}$ และมีความต้านทานขาออกเท่ากับ 10Ω ส่วนปลายอีกด้านต่อกับความต้านทาน R_L ที่มีค่าเท่ากับ 30Ω ดังแสดงในรูปที่ 4-1 เราจะทดลองวิเคราะห์วงจรนี้โดยวิธี DSV ร่วมกับ PEA เพื่อดูผลของการควบคุมความแม่นยำโดยปรับค่าความผิดพลาดจากการตัดปลายสูงสุด (LTE_{max}) และการกำหนดค่าขนาดขั้นเวลาสูงสุด (h_{max})

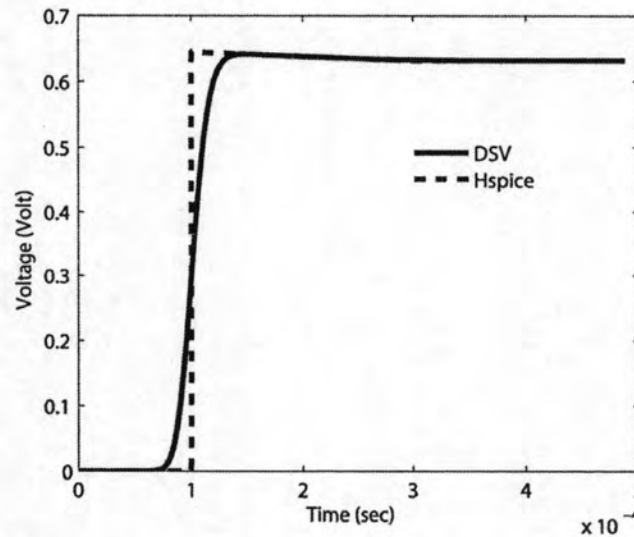


รูปที่ 4-1 วงจรสายส่งที่มีความสูญเสียหนึ่งเส้น

ในการทดลองแรกเรากำหนดค่าความผิดพลาดจากการตัดปลายสูงสุด (LTE_{max}) ไว้เท่ากับ $5mV$ ชั้นเวลากว้างสุด (h_{max}) ที่ $0.02msec$ และสัมประสิทธิ์ความผิดพลาดการประมาณการกระจายแรงดันและกระแสในสายส่ง (α) มีค่าเท่ากับ 0.1 โดยแสดงกราฟแรงดัน $v(0,t)$ และ $v(1,t)$ ระหว่างเวลา 0 ถึง $0.5msec$ แสดงไว้ในรูปที่ 4-2 และ รูปที่ 4-3 ตามลำดับ

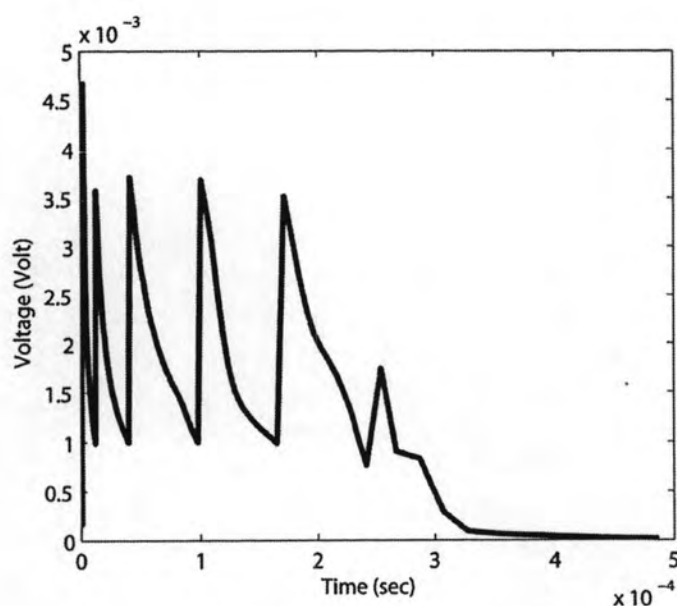


รูปที่ 4-2 การเปรียบเทียบแรงดัน $v(1,t)$ ระหว่าง Hspice กับ DSV ของวงจรในรูปที่ 4-1



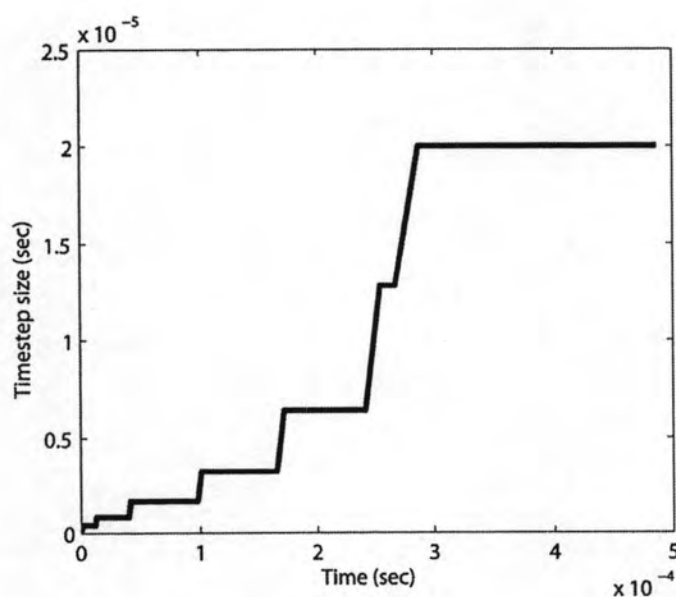
รูปที่ 4-3 การเปรียบเทียบแรงดันแรงดัน $v(0,t)$ ระหว่าง Hspice กับ DSV ของวงจรในรูปที่ 4-1

ผลการวิเคราะห์แรงดันที่ปลายสายส่งในรูปที่ 4-3 และ รูปที่ 4-2 จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกับผลวิเคราะห์จากโปรแกรม Hspice แต่ผลวิเคราะห์ที่ได้จะมีความชันขาขึ้นของแรงดันน้อยกว่า เนื่องจากการกำหนดค่า LTE_{max} ที่มากเกินไป เห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของ LTE_n ที่คำนวณในแต่ละจุดเวลาในรูปที่ 4-4



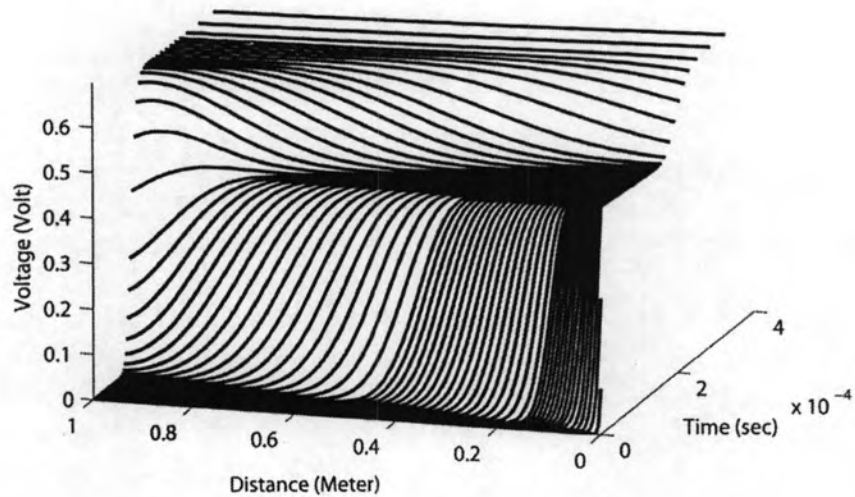
รูปที่ 4-4 ค่าความผิดพลาดจากการตัดปลาย (LTE) ที่เวลาต่างๆ ของการวิเคราะห์วงจรในรูปที่

4-1



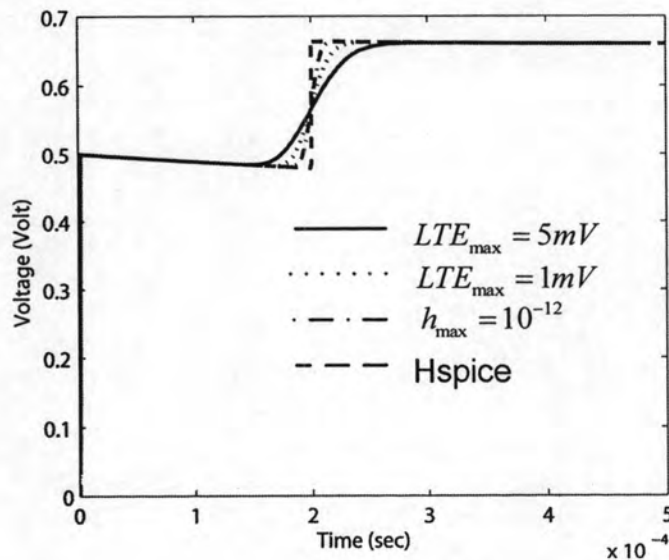
รูปที่ 4-5 การเปลี่ยนแปลงขนาดขั้นเวลาระหว่างการวิเคราะห์วงจรในรูปที่ 4-1

ช่วงแรกที่คลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในสายส่งค่า LTE_n จะสูงและลดลงเมื่อคลื่นเคลื่อนที่เข้าไปในสายส่งทั้งหมด เมื่อ LTE_n ลดลงถึง $0.2LTE_{max}$ ระบบจะเพิ่มขนาดของขั้นเวลาขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4-5 การปรับเพิ่มขั้นเวลานั้นทำให้ค่าความแม่นยำของการวิเคราะห์ลดลง โดยดูจากค่า LTE_n ที่เพิ่มขึ้นทุกครั้งที่เพิ่มขนาดขั้นเวลา และเมื่อพิจารณาการกระจายของแรงดันในสายส่งในรูปที่ 4-6 พบว่าหน้าคลื่นมีการแพร่กระจาย (Dispersion) เพิ่มมากขึ้นและทำให้แรงดันที่ปรากฏที่ปลายสายมีความชันลดลง

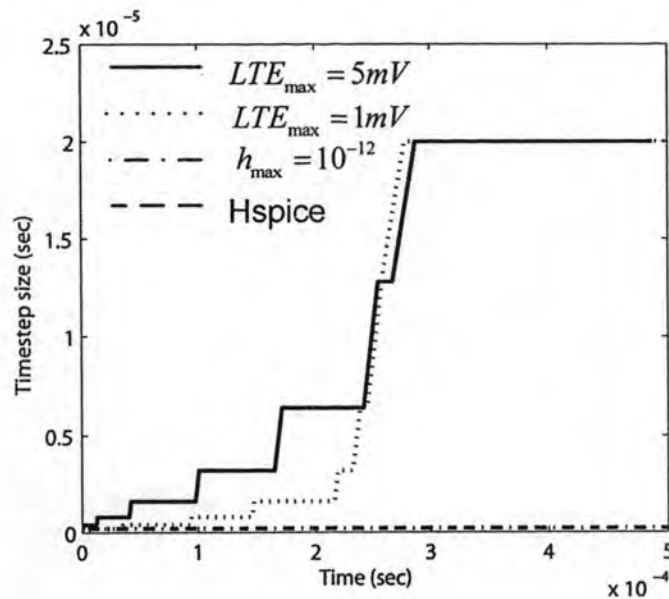


รูปที่ 4-6 การกระจายของแรงดันในสายส่งที่เวลาต่างๆกัน

เห็นได้ว่า LTE_{\max} และ h_{\max} เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการวิเคราะห์ เราจึงทดลองปรับค่า LTE_{\max} และ h_{\max} เพื่อดูผลที่เกิดขึ้นต่อความแม่นยำและจำนวนท่อนย่อย โดยวิเคราะห์วงจรในรูปที่ 4-1 ใหม่สองกรณีคือ หนึ่งปรับ LTE_{\max} จาก $5mV$ เป็น $1mV$ และกรณีที่สองปรับ h_{\max} จาก $0.02msec$ เป็น $0.2\mu sec$ โดยแสดงรูปการเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ตำแหน่ง $x = 0$ ไว้ในรูปที่ 4-7



รูปที่ 4-7 เปรียบเทียบแรงดัน $v(0,t)$ ที่ค่า LTE_{\max} และ h_{\max} แตกต่างกัน

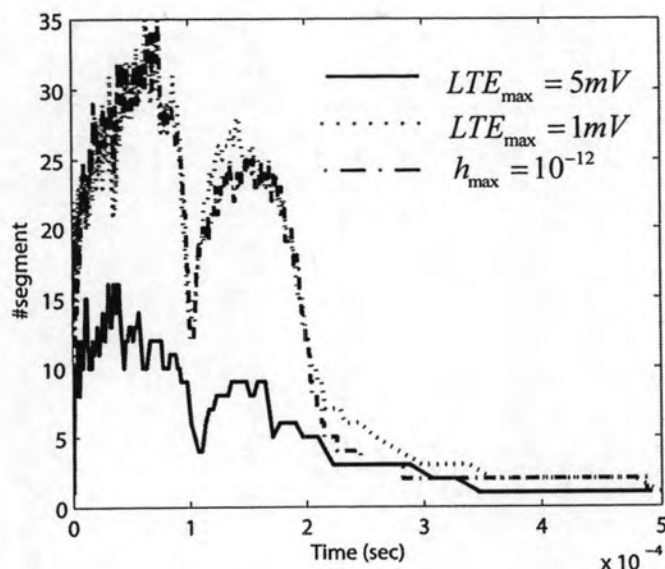


รูปที่ 4-8 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงขั้นเวลาที่ค่า LTE_{max} และ h_{max} แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบผลวิเคราะห์ที่ LTE_{max} ระหว่างกับ $1mV$ และ $5mV$ แสดงว่าอัตราของการเปลี่ยนระดับแรงดันที่เวลา $0.2msec$ เพิ่มขึ้น เนื่องจากในขณะที่คลื่นเคลื่อนที่ในสายส่งมีการเปลี่ยนขนาดขั้นเวลาน้อยกว่าดังแสดงกราฟเปรียบเทียบไว้ในรูปที่ 4-8 ดังนั้นเราสามารถควบคุมความแม่นยำของการวิเคราะห์โดยการกำหนดค่า LTE_{max} ได้ อย่างไรก็ตามก็ดีเนื่องจากการใช้ขั้นเวลาขนาดเล็กในช่วงแรกทำให้จำนวนขั้นเวลาเพิ่มจาก 149 เป็น 560 และเมื่อเปรียบเทียบผลกรณีที่ LTE_{max} เท่ากับ $5mV$ กับกรณี $h_{max} = 0.2\mu sec$ ผลของกรณี $h_{max} = 0.2\mu sec$ มีค่าใกล้เคียงโปรแกรม Hspice มากกว่า แต่จำนวนขั้นเวลาที่ใช้เท่ากับ 2512 ขั้น ซึ่งสูงมากเมื่อเทียบกับการปรับค่า LTE_{max} เนื่องจากขั้นเวลาที่ใช้อย่างถูกบีบให้ไม่เกิด h_{max} แม้ว่าแรงดันจะมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย

การวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงจำนวนท่อนย่อยในรูปที่ 4-9 กับการเคลื่อนที่คลื่นแรงดันในสายส่งที่แสดงไว้ในรูปที่ 4-6 พบว่าการแบ่งท่อนสูงสุดอยู่ในช่วง 0 ถึง $0.1msec$ ซึ่งเป็นช่วงที่หน้าคลื่นเคลื่อนเข้าไปในสายส่ง และจำนวนท่อนจะลดลงเนื่องจากคลื่นเดินทางมาถึงปลายอีกด้านของสายส่ง ช่วงเวลาระหว่าง $0.1msec$ ถึง $0.2msec$ การแบ่งท่อนจะเพิ่มอีก เนื่องจากคลื่นที่สะท้อนกลับจากปลายที่ $x=1$ ไปยังตำแหน่ง $x=0$ ในสายส่ง และจะลดลงจนเหลือหนึ่งท่อนเมื่อไม่มีการเปลี่ยนแปลงของแรงดันในสายส่ง เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงท่อนเมื่อปรับค่า LTE_{max} และ h_{max} พบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของท่อนย่อยในแต่ละช่วงเวลายังคงเหมือนกัน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนท่อนย่อยที่เกิดขึ้นสัมพันธ์กับลักษณะของคลื่นที่เคลื่อนที่ในสายส่งตามที่ได้ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตามการปรับค่า LTE_{max} และ h_{max} ทำให้จำนวนท่อนที่ใช้สูงสุดเพิ่มจาก 16 ท่อนเป็น 35 ท่อน เนื่องจากเราใช้ αLTE_{n} เพื่อกำหนดความผิดพลาดสูงสุด

ของการประมาณการกระจายแรงดันและกระแสในสายส่ง เมื่อปรับลดค่า LTE_{max} และ h_{max} ทำให้ค่า LTE_{n} ลดลงด้วย โดยตารางที่ 4-1 สรุปจำนวนท่อนย่อยสูงสุดและจำนวนขั้นเวลาที่ใช้ของแต่ละวิธี



รูปที่ 4-9 เปรียบเทียบจำนวนท่อนย่อยที่ค่า LTE_{max} และ h_{max} ต่างกัน

ตารางที่ 4-1 ตารางเปรียบเทียบผลการปรับค่า LTE_{max} และ h_{max} ของวงจรในรูปที่ 4-1

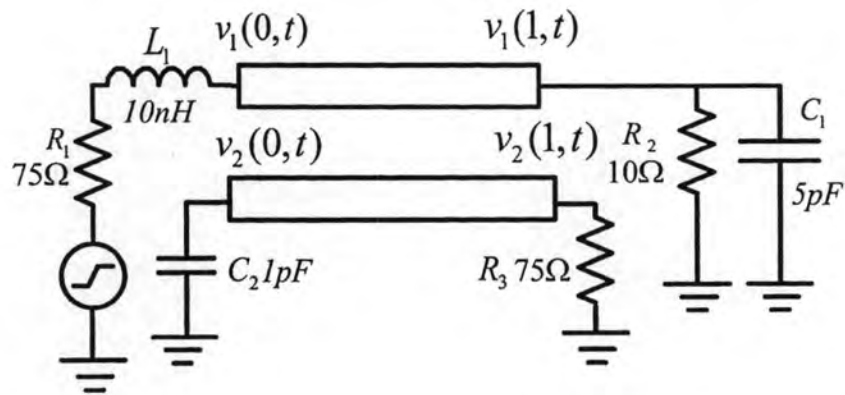
| | $LTE_{max} = 0.005V$ | $LTE_{max} = 0.001V$ | $h_{max} = 0.2 \mu sec$ |
|-----------------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|
| จำนวนท่อนย่อยสูงสุด | 16 | 35 | 35 |
| จำนวนขั้นเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ | 149 | 560 | 2512 |

4.2 การวิเคราะห์สายส่งที่มีการเชื่อมโยงกัน

วงจรในตัวอย่างที่สองใช้สายส่งที่มีความสูญเสียสองเส้นยาว 1 เมตร ต่อเป็นวงจรตามรูปที่ 4-10 โดยสายส่งมีค่าพารามิเตอร์ดังนี้

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} 10 & 0 \\ 0 & 10 \end{bmatrix} \Omega/m \quad \mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} mS/m \quad \mathbf{L} = \begin{bmatrix} 100 & 25 \\ 25 & 100 \end{bmatrix} nH/m$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 50 & -10 \\ -10 & 60 \end{bmatrix} pF/m$$



รูปที่ 4-10 วงจรสายส่งสองเส้นที่มีการเชื่อมโยงกัน

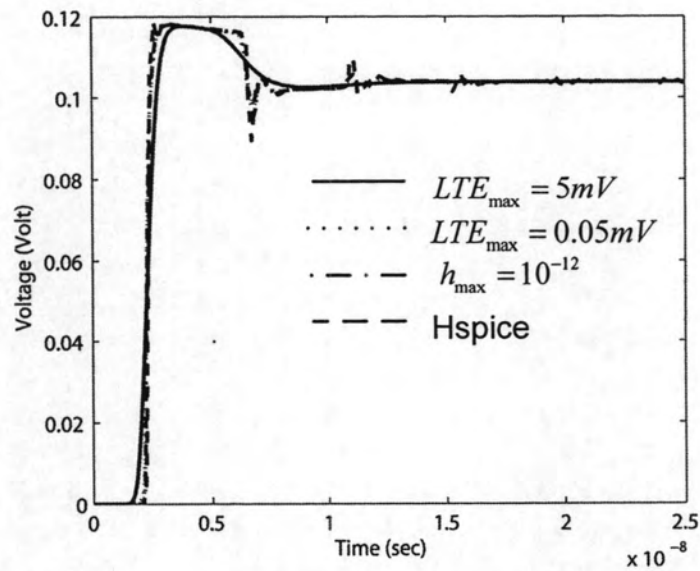
แหล่งจ่ายแรงดันเป็นแบบขั้นมีขนาด $1V$ และช่วงเวลาเพิ่มระดับ (rise time) มีค่าเท่ากับ 10 psec การวิเคราะห์ผลตอบสนองเชิงเวลาของวงจรจะแบ่งเป็นสามกรณีคือ

กรณีที่ 1 : $LTE_{\max} = 0.005V$, $h_{\max} = 1 \times 10^{-7}\text{ sec}$ และ $\alpha = 0.1$

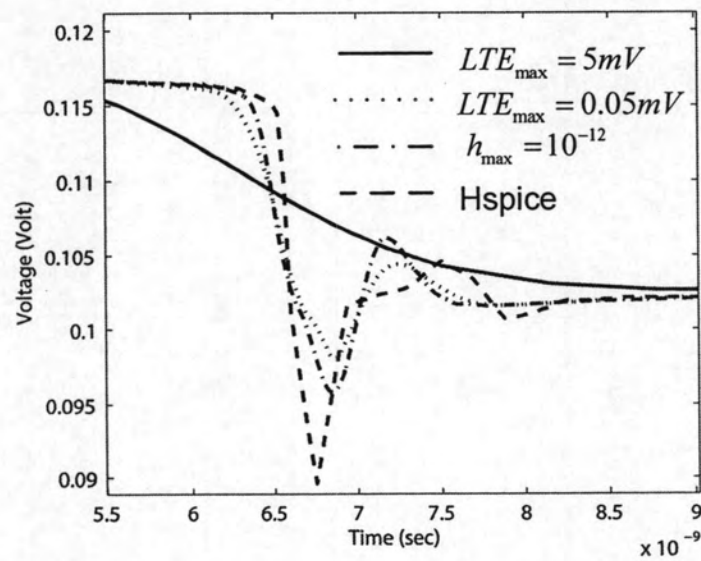
กรณีที่ 2 : $LTE_{\max} = 0.005V$, $h_{\max} = 1 \times 10^{-12}\text{ sec}$ และ $\alpha = 0.1$

กรณีที่ 3 : $LTE_{\max} = 0.0005V$, $h_{\max} = 1 \times 10^{-7}\text{ sec}$ และ $\alpha = 0.1$

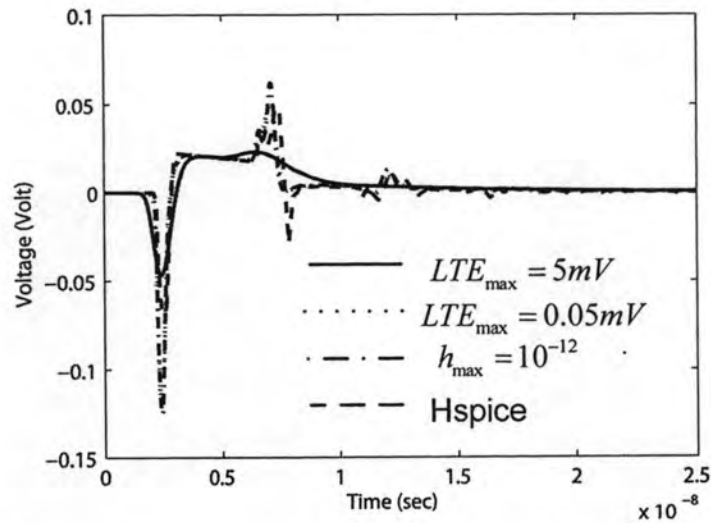
แรงดันที่ปลายสายส่ง ($x=1$) ของเส้นบน $v_1(1,t)$ แสดงไว้ในรูปที่ 4-11 และแรงดันที่เหนี่ยวนำมายังสายส่งเส้นล่าง $v_2(1,t)$ แสดงไว้ในรูปที่ 4-13 ผลวิเคราะห์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับของโปรแกรม Hspice อย่างไรก็ดีการกระพือมของแรงดันในช่วงตั้งแต่เวลา 5 nsec ที่วิเคราะห์ได้จะน้อยกว่าของ Hspice โดยดูจากกราฟของแรงดันของสายส่งเส้นบนและเส้นล่างในช่วงเวลา 5.5 nsec ถึง 8.5 nsec ที่แสดงไว้ในรูปที่ 4-12 และ รูปที่ 4-14 ตามลำดับ โดยกรณี $LTE_{\max} = 0.05\text{ mV}$ และ $h_{\max} = 1 \times 10^{-12}\text{ sec}$ มีการกระพือมของสัญญาณใกล้เคียงผลของ Hspice มากกว่า $LTE_{\max} = 5\text{ mV}$ ส่วนจำนวนท่อนและจำนวนขั้นเวลาที่ใช้ของกรณี $LTE_{\max} = 5\text{ mV}$ จะแสดงในตารางที่ 4-2



รูปที่ 4-11 ผลวิเคราะห์แรงดัน $v_1(1,t)$ ด้วยวิธี DSV ที่เงื่อนไขต่างๆ เปรียบเทียบกับโปรแกรม Hspice

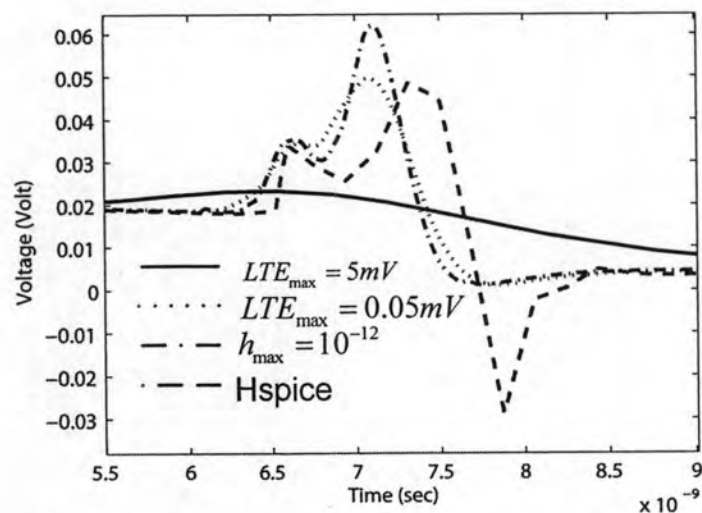


รูปที่ 4-12 ผลเปรียบเทียบแรงดันกระพือมของเส้นที่ 1 ระหว่างวิธี DSV กับโปรแกรม Hspice ที่ช่วงเวลา 5.5nsec ถึง 8.5nsec



รูปที่ 4-13 ผลวิเคราะห์แรงดัน $v_2(1,t)$ ด้วยวิธี DSV ที่เงื่อนไขต่างๆ เปรียบเทียบกับโปรแกรม

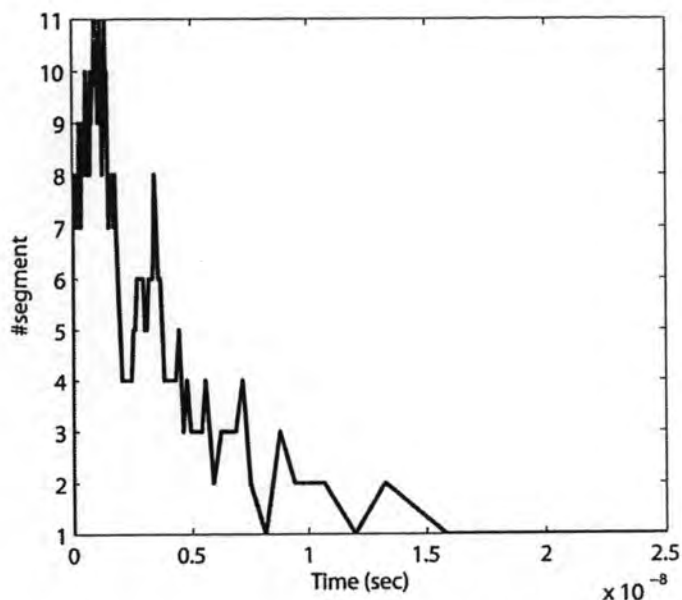
Hspice



รูปที่ 4-14 ผลเปรียบเทียบแรงดันกระเพื่อมของเส้นที่ 2 ระหว่างวิธี DSV กับโปรแกรม Hspice ที่ช่วงเวลา 5.5nsec ถึง 9nsec

การเปลี่ยนแปลงท่อนย่อยที่เวลาใดของสายส่งสองเส้นมีแนวโน้มเช่นเดียวกับของสายส่งหนึ่งเส้นดังแสดงในรูปที่ 4-15 คือ จำนวนท่อนจะถูกแบ่งมากในช่วงแรกที่หน้าคลื่นเข้ามาในสายส่ง เมื่อคลื่นเดินทางไปยังปลายอีกด้านแล้วจำนวนท่อนจะลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในสายน้อย ตารางที่ 4-2 สรุปจำนวนท่อนและชั้นเวลาที่ใช้ของแต่ละกรณี

ในกรณี $LTE_{\max} = 0.05 mV$ จำนวนท่อนย่อยที่เกิดขึ้นจะสูงกว่ากรณี $h_{\max} = 1 \times 10^{-12} \text{ sec}$ เนื่องจากเราใช้ αLTE_n ในการกำหนดเงื่อนไขของการประมาณค่าการกระจายในสายส่ง ดังนั้นเมื่อลดค่า LTE_{\max} ลงมากๆ จึงส่งผลให้จำนวนท่อนสูงสุดเพิ่มขึ้น และเพิ่มความซับซ้อนของการวิเคราะห์ด้วยเช่นเดียวกัน



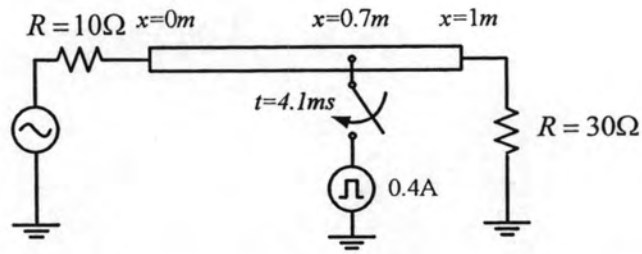
รูปที่ 4-15 การเปลี่ยนแปลงจำนวนท่อนย่อยกรณีกำหนด $LTE_{\max} = 0.005$ และ $h_{\max} = 1 \times 10^{-7}$

ตารางที่ 4-2 ตารางเปรียบเทียบผลการปรับค่า LTE_{\max} และ h_{\max} ของกรณีสายส่งสองเส้น

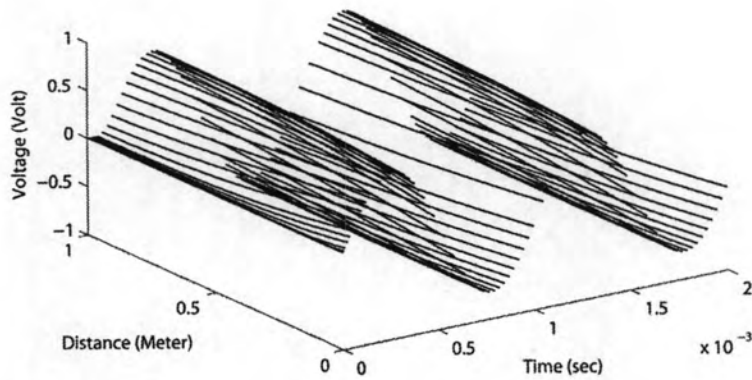
| | $LTE_{\max} = 0.005V$ | $LTE_{\max} = 0.0005V$ | $h_{\max} = 1 \times 10^{-12}$ |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------------|
| จำนวนท่อนย่อยสูงสุด | 11 | 159 | 68 |
| จำนวนขั้นเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์ | 109 | 3894 | 20854 |

4.3 การจำลองผลของกระแสพัลส์ในสายส่งที่มีการสูญเสียหนึ่งเส้น

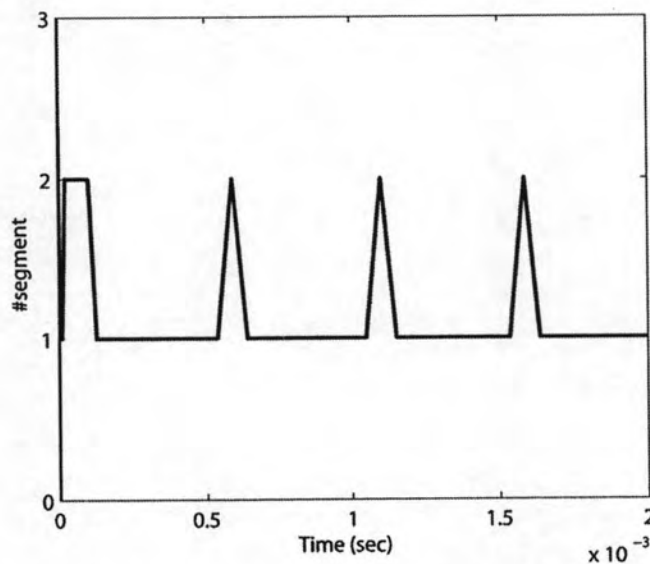
รูปที่ 4-16 แสดงวงจรสายส่งที่มีการสูญเสียหนึ่งเส้นที่มีกระแสพัลส์เกิดขึ้นในสายพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของสายส่งมีค่าดังนี้ $L = 1mH/m$, $C = 10\mu F/m$, $G = 0.02S/m$ และ $R = 1\Omega/m$ ปลายด้านหนึ่งต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันไซน์ที่มีขนาดแอมพลิจูด $1V$ ความถี่ $1kHz$ เราจะแบ่งการแสดงผลวิเคราะห์เป็นสองช่วงคือ ช่วงแรกที่เริ่มจ่ายสัญญาณไชนระหว่าง $0msec$ ถึง $2msec$ เมื่อกำหนดให้ $LTE_{\max} = 0.005V$ และ $h_{\max} = 1 \times 10^{-12}V$ โดยแสดงรูปการกระจายของแรงดันในสายส่งไว้ในรูปที่ 4-17 และจำนวนท่อนย่อยที่เปลี่ยนแปลงที่เวลาต่างๆ แสดงไว้ในรูปที่ 4-18



รูปที่ 4-16 วงจรสายส่งมีความสูญเสียหนึ่งเส้นโดยใส่กระแสพัลส์เข้าที่ตำแหน่ง $x = 0.7$



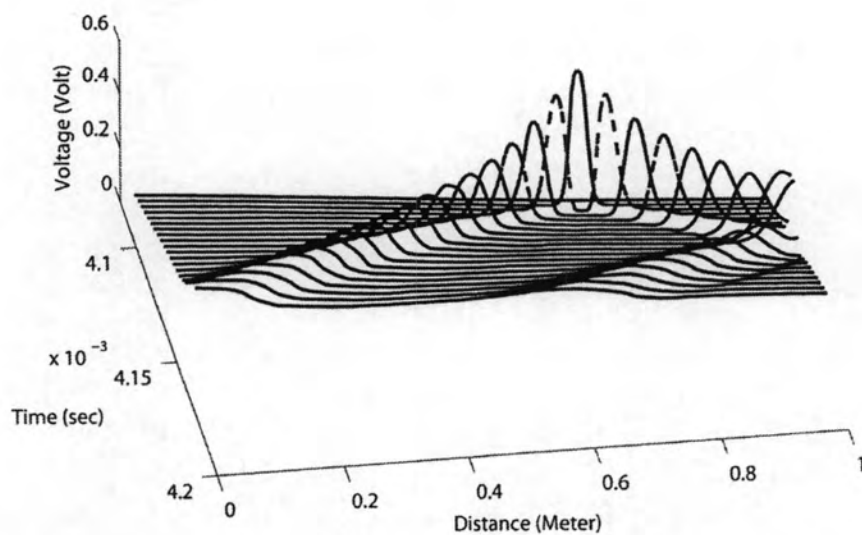
รูปที่ 4-17 การกระจายของแรงดันของสายส่งของวงจรในรูปที่ 4-16 ในช่วงเวลา $0 - 2\text{m sec}$ เมื่อ
ยังไม่มีกระแสพัลส์



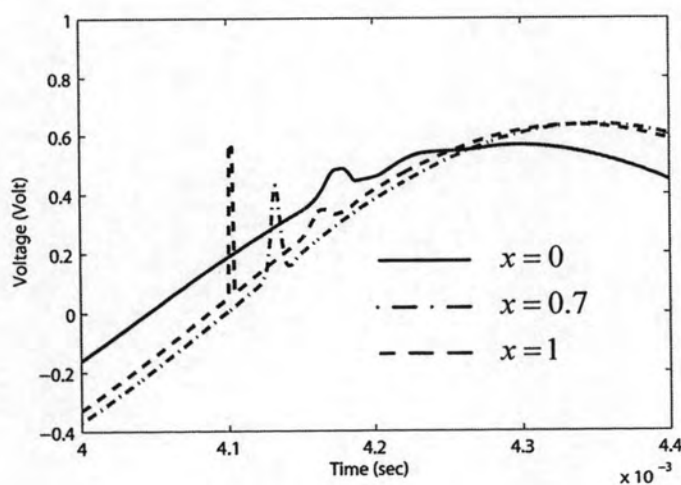
รูปที่ 4-18 การเปลี่ยนแปลงจำนวนท่อนย่อยในช่วงที่สัญญาณเข้าเป็นไซน์

การเปลี่ยนแปลงของจำนวนท่อนในรูปที่ 4-18 เห็นได้ว่าจำนวนท่อนย่อยสูงสุดคือ 2 ท่อน เนื่องจากการกระจายของแรงดันในสายส่งเป็นเส้นโค้งซึ่งง่ายต่อการประมาณด้วยฟังก์ชันเลขชี้กำลัง

ช่วงที่สองจะจำลองพัลส์กระแสขนาด 0.4 A และความกว้าง $3\mu\text{sec}$ เข้าไปในสายส่งที่ระยะ 0.7 m ที่เวลา 4.1 msec และเพื่อลดผลของการแพร่กระจาย (dispersion) ของสัญญาณเนื่องจากการปรับขึ้นเวลาอัตโนมัติจึงกำหนดขนาดขึ้นเวลาคงที่เท่ากับ $0.2\mu\text{sec}$ โดยแสดงการเคลื่อนที่ของพัลส์แรงดันในสายส่งไว้รูปที่ 4-19 และแรงดันที่ตำแหน่ง $x=0$, $x=0.7$ และ $x=1$ ไว้ในรูปที่ 4-20



รูปที่ 4-19 การเคลื่อนที่ของพัลส์ในสายส่งระหว่างเวลา 4.1 msec ถึง 4.2 msec



รูปที่ 4-20 การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่ตำแหน่ง $x=0$, $x=0.7$ และ $x=1$

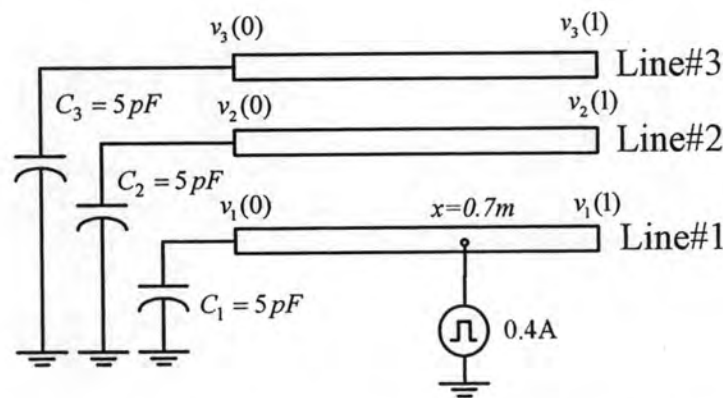
4.4 การจำลองผลของกระแสพัลส์ในสายส่งที่มีการเชื่อมโยงกัน

รูปที่ 4-21 แสดงสายส่งที่มีการเชื่อมโยงกันสามเส้นยาว 1 เมตรที่มีกระแสพัลส์เกิดในสายส่งเส้นที่หนึ่ง โดยมีพารามิเตอร์ดังนี้

$$\mathbf{L} = \begin{bmatrix} 100 & 25 & 2.5 \\ 25 & 100 & 25 \\ 2.5 & 25 & 100 \end{bmatrix} nH/m \quad \mathbf{C} = \begin{bmatrix} 50 & -10 & -1 \\ -10 & 60 & -10 \\ -1 & -10 & 50 \end{bmatrix} pF/m$$

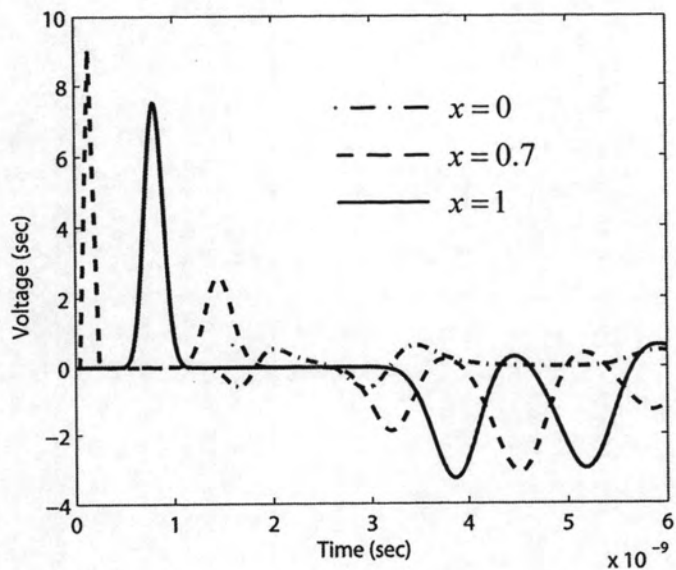
$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} mS/m \quad \mathbf{R} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \Omega/m$$

แหล่งจ่ายกระแสแบบพัลส์ในสายส่งขนาด 0.4 A และกว้าง 20 psec เกิดขึ้นที่ตำแหน่ง 0.7 m และการวิเคราะห์ใช้ขั้นตอนเวลาที่เท่ากับ 10^{-11} sec

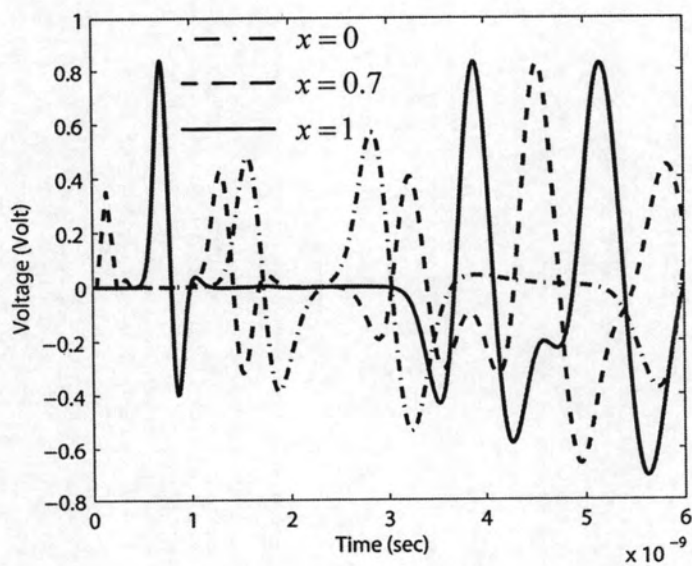


รูปที่ 4-21 วงจรสายส่งที่มีความเชื่อมโยงกันสามเส้นโดยใส่พัลส์เข้าที่สายส่งเส้นที่หนึ่ง

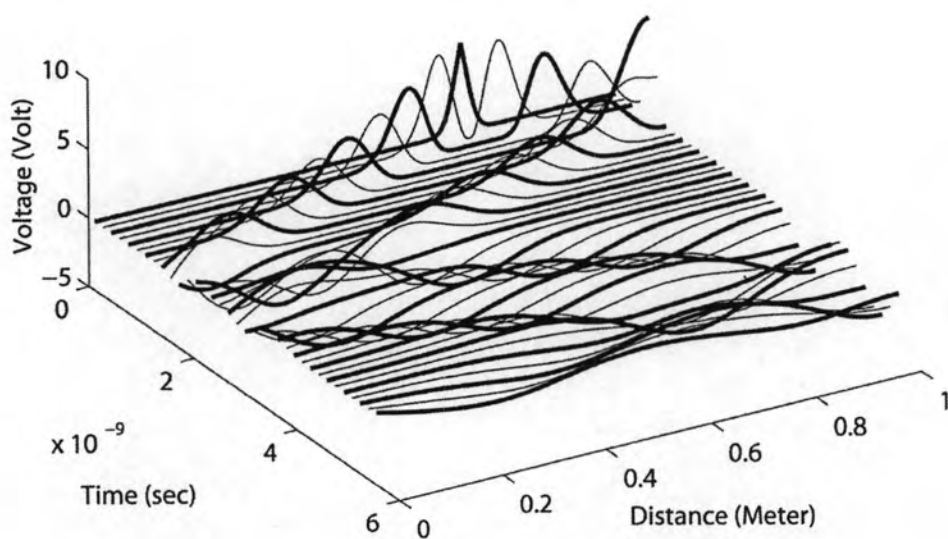
รูปที่ 4-22 และ รูปที่ 4-23 เป็นแรงดันที่ระยะห่าง 0.7 m และ 1 m ที่วิเคราะห์ได้ระหว่างช่วงเวลา 0 ถึง 6 nsec ของสายที่ 1 และ 3 ตามลำดับ จะเห็นว่าลูกคลื่นพัลส์ที่เดินทางสะท้อนไปมาในสายส่งจะค่อยๆ กว้างขึ้นเนื่องจากการแพร่ขยาย (Dispersion) ของพัลส์ในสาย ดังแสดงไว้ในรูปที่ 4-24 และ รูปที่ 4-25 ซึ่งเป็นของเส้นที่ 1 และ 3 ตามลำดับ



รูปที่ 4-22 แรงดันที่ตำแหน่งต่างๆในสายส่งเส้นที่ 1 ของวงจรในรูปที่ 4-21

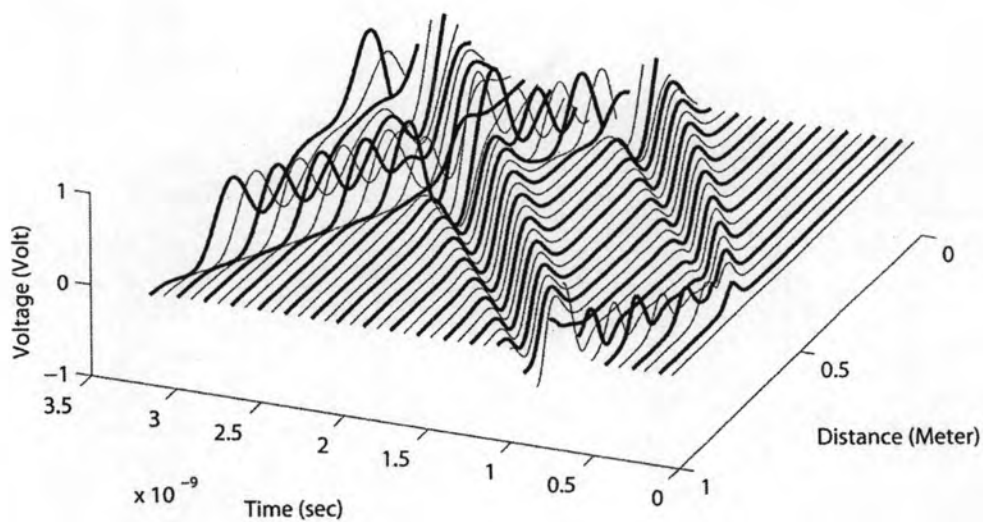


รูปที่ 4-23 แรงดันที่ตำแหน่งต่างๆในสายส่งเส้นที่ 3 ของวงจรในรูปที่ 4-21



รูปที่ 4-24 การกระจายของแรงดันในสายส่งเส้นที่ 1 ระหว่างเวลา 0 ถึง 4 nsec ของวงจรในรูปที่

4-21

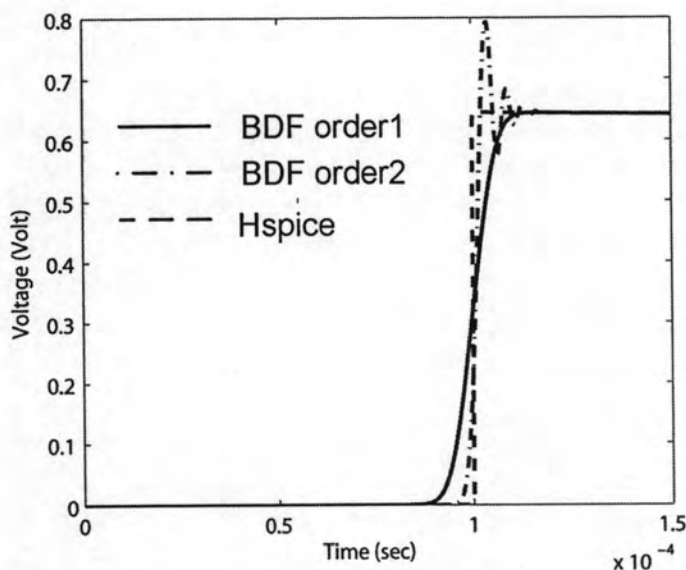


รูปที่ 4-25 A การกระจายของแรงดันในสายส่งเส้นที่ 3 ระหว่างเวลา 0 ถึง 4 nsec ของวงจรในรูป

ที่ 4-21

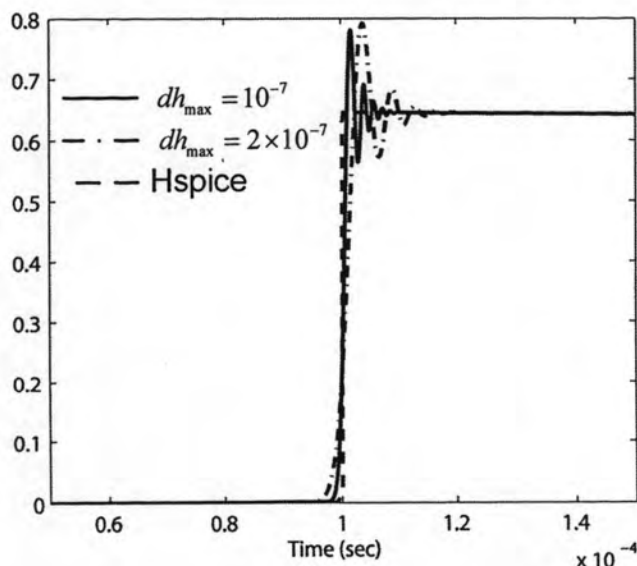
4.5 การเปรียบเทียบผลของ BDF อันดับ 1 และ 2 ต่อความแม่นยำของการวิเคราะห์

เราจะใช้วงจรตัวอย่างที่หนึ่งในรูปที่ 4-1 โดยกำหนดขั้นเวลาคงที่ (h_n) เท่ากับ $0.2\mu\text{sec}$ แล้วเปรียบเทียบแรงดัน $v(1,t)$ ที่วิเคราะห์ได้ระหว่าง BDF อันดับ 1 และ 2 ดังแสดงในรูปที่ 4-26 เห็นได้ว่าการเปลี่ยนระดับแรงดันขึ้นกรณีใช้ BDF อันดับที่ 2 ใกล้เคียงกับ Hspice มากกว่า BDF อันดับที่ 1 แต่มีการกระเพื่อมของแรงดันก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุล ส่งผลให้จำนวนท่อน้อยที่สุดที่ใช้เป็น 269 ท่อน



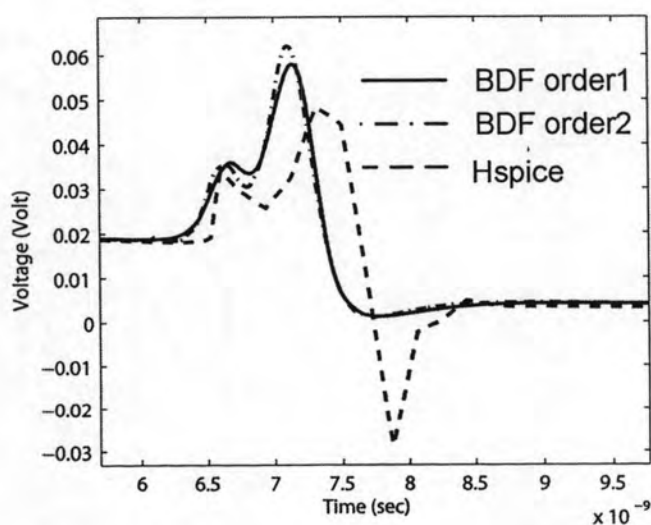
รูปที่ 4-26 แรงดัน $v(1,t)$ เปรียบเทียบระหว่าง BDF อันดับที่ 1 และ 2 กับ Hspice

การกระเพื่อมของแรงดันก่อนเข้าสู่สภาวะสมดุลเมื่อใช้ BDF อันดับที่ 2 ขึ้นกับขนาดของขั้นเวลาที่ใช้ โดยเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ระหว่าง $h_n = 0.2\mu\text{sec}$ และ $h_n = 0.1\mu\text{sec}$ พบว่าขนาดของยอดและเวลาที่ใช้ในการเข้าสู่สภาวะสมดุลจะลดลงดังแสดงในรูปที่ 4-27

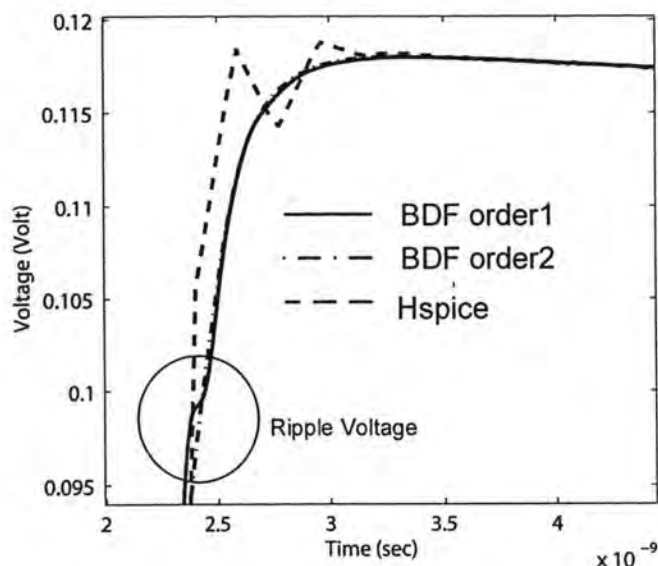


รูปที่ 4-27 เปรียบเทียบผลการกระเพื่อมของแรงดัน $v(1,t)$ ที่ชั้นเวลาต่างๆกัน

ต่อไปเราทดสอบกับสายส่งที่มีการเชื่อมโยงกันโดยใช้วงจรของตัวอย่างที่ 2 ในรูปที่ 4-10 ผลการวิเคราะห์ BDF อันดับที่ 2 ที่กำหนดให้ชั้นเวลาที่เท่ากับ 1×10^{-12} เปรียบเทียบกับกรณี BDF อันดับที่ 1 เมื่อกำหนด $LTE_{\max} = 0.005V$, $h_{\max} = 1 \times 10^{-12} \text{ sec}$ และ Hspice ดังแสดงแรงดัน $v_2(1,t)$ ในช่วงเวลา 5.5 nsec ถึง 10 nsec ไว้ในรูปที่ 4-28 พบว่าทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงแรงดันในช่วงเวลา 2 nsec ถึง 4.5 nsec ที่แสดงไว้ในรูปที่ 4-29 เพื่อดูการกระเพื่อมที่เกิดจากการประมาณค่าด้วย BDF อันดับที่ 2 พบว่ามีผลน้อยกว่ากรณีของหนึ่งเส้น เนื่องจากผลการวิเคราะห์ปกติมีแรงดันพุ่งเกิน (overshoot) อยู่แล้ว



รูปที่ 4-28 การเปลี่ยนแปลงแรงดัน $v_2(1,t)$ เปรียบเทียบระหว่าง BDF อันดับที่ 1 และ BDF อันดับที่ 2 ในช่วงเวลา 5.5 nsec ถึง 10 nsec



รูปที่ 4-29 ภาพขยายแรงดันกระแสที่เพิ่มขึ้นกับ BDF อันดับที่ 2 ในช่วงเวลา 2nsec ถึง 4.5nsec

ถึงแม้ว่าผลการวิเคราะห์ของ BDF อันดับที่ 2 มีค่าใกล้เคียงกับ Hspice กว่า BDF อันดับหนึ่งที่ขนาดขั้นเวลา (h_n) เท่ากัน อย่างไรก็ตามการใช้ BDF อันดับที่ 2 มาใช้ในการสร้างแบบจำลองเชิงเวลาอาจไม่เหมาะสม เนื่องจากการกระเพื่อมของแรงดันและกระแสในกรณีที่มีสัญญาณมีอัตราการเปลี่ยนแปลงสูงซึ่งส่งผลต่อจำนวนท่อนและความซับซ้อนในการคำนวณ

กล่าวโดยสรุปเนื้อหาบทนี้จะประกอบด้วยผลการทดลองใช้วิธี DSV ร่วมกับ PEA ในการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้าที่มีสายส่งเป็นส่วนประกอบ ทั้งกรณีสายส่งที่มีการสูญเสียหนึ่งเส้นและสายส่งที่การเชื่อมโยงกันสองเส้น โดยแสดงถึงการปรับค่า LTE_{max} และ h_{max} เพื่อควบคุมความแม่นยำในการวิเคราะห์และผลของการปรับต่อความซับซ้อนในการวิเคราะห์ ในตัวอย่างที่ 1 และ 2 และการเปรียบเทียบผลของการประมาณค่าอนุพันธ์ทางเวลาด้วย Backward Differentiation Formula (BDF) อันดับ 1 และ 2 จากนั้นได้แสดงตัวอย่างการนำผลของการกระจายของแรงดันและกระแสในสายส่งมาพร้อมกับการวิเคราะห์ค่าที่ปลายสายมาแสดง

จากผลการทดลองการปรับค่า LTE_{max} เพื่อควบคุมความแม่นยำ จะส่งผลต่อจำนวนท่อนของสายส่งมากกว่าการปรับ h_{max} เนื่องจากการประมาณค่าการกระจายนั้นมีความสัมพันธ์กับ LTE_n แต่จะใช้จำนวนขั้นเวลาในการวิเคราะห์น้อยกว่าการปรับ h_{max} เนื่องจากความยืดหยุ่นในการปรับขนาดของขั้นเวลา โดยเห็นได้จากกรณีสายส่งเชื่อมโยงกันสองเส้นในตัวอย่างที่สอง

ผลการใช้วิธีประมาณค่าอนุพันธ์ทางเวลาด้วย Backward Differentiation Formula (BDF) อันดับ 1 และ 2 ในการสร้างแบบจำลองนั้น พบว่าการใช้ BDF อันดับที่สองจะทำให้

สัญญาณมีการกระเพื่อมในช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงของระดับแรงดันอย่างรวดเร็ว ดังเห็นได้จากตัวอย่างที่หนึ่ง ซึ่งส่งผลต่อจำนวนท่อนยอยและความซับซ้อนในการคำนวณด้วย แต่การใช้ BDF อันดับที่สอง นั้นให้ผลการตอบสนองที่ใกล้เคียงกับ Hspice มากกว่าในกรณีที่ขนาดขั้นเวลาเท่ากัน อย่างไรก็ตาม ใ้ไรก็ดีการใช้ BDF อันดับที่ 1 ร่วมกับปรับค่า LTE_{max} ก็สามารถให้ผลที่ใกล้เคียงกันได้

ส่วนสุดท้ายได้แสดงถึงข้อดีของวิธี DSV ที่ได้ผลของการกระจายของแรงดันและกระแสในสายส่งมาพร้อมกับการวิเคราะห์ค่าที่ปลายสาย ซึ่งสามารถเก็บไว้เพื่อนำมาวิเคราะห์ในภายหลังได้ ต่างกับ Hspice ที่ต้องมีการเตรียมการแบ่งท่อนไว้ล่วงหน้าก่อนการวิเคราะห์