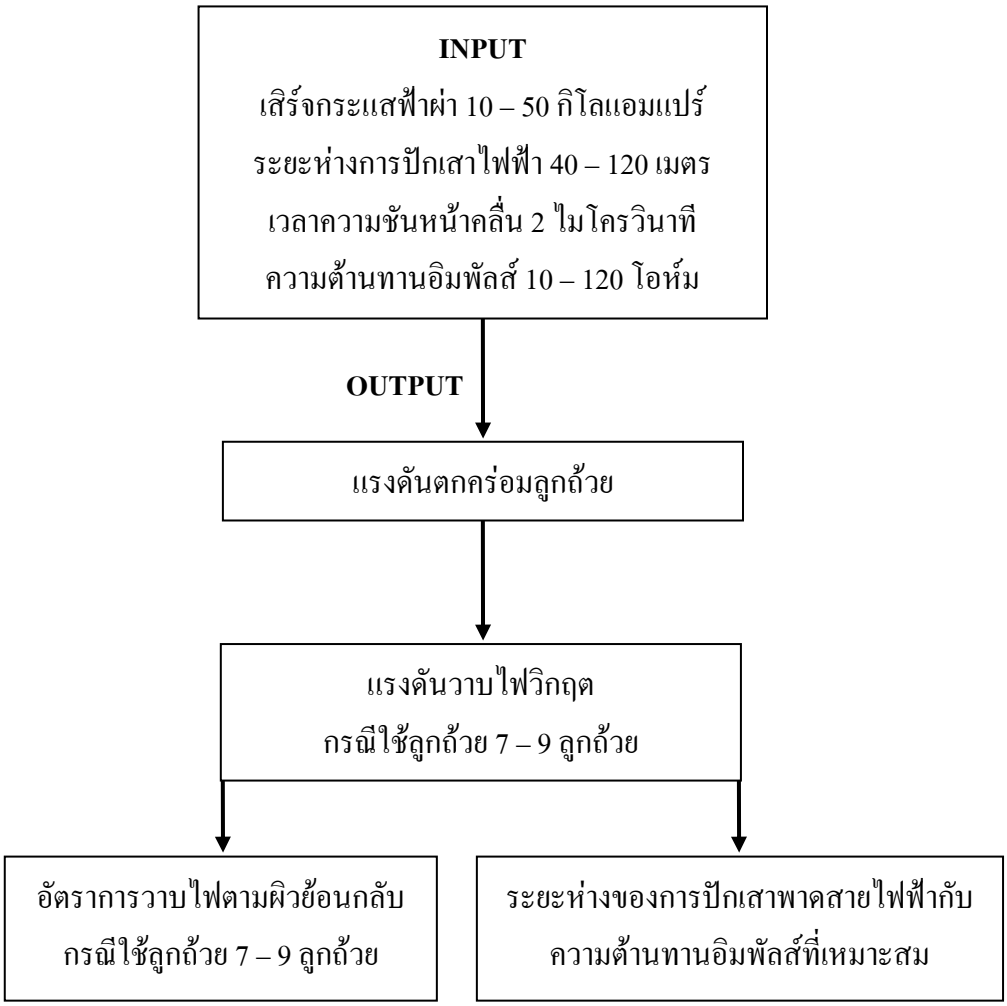
# บทที่ 4
# กระบวนการและผลการวิเคราะห์

## 4.1 กระบวนการวิเคราะห์

กระบวนการวิเคราะห์ของแบบจำลองเสิร์จฟ้าผ่า เวลาหน้าคลื่น ระยะห่างการปักเสาพาดสายไฟฟ้าและความต้านทานอิมพลัส์ที่ฐานเสา เพื่อหาผลแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย เพื่อนำข้อมูลที่ได้มาหาค่าอัตราการเกิดวาบไฟตามผิวลูกถ้วย ดังรูปที่ 4.1

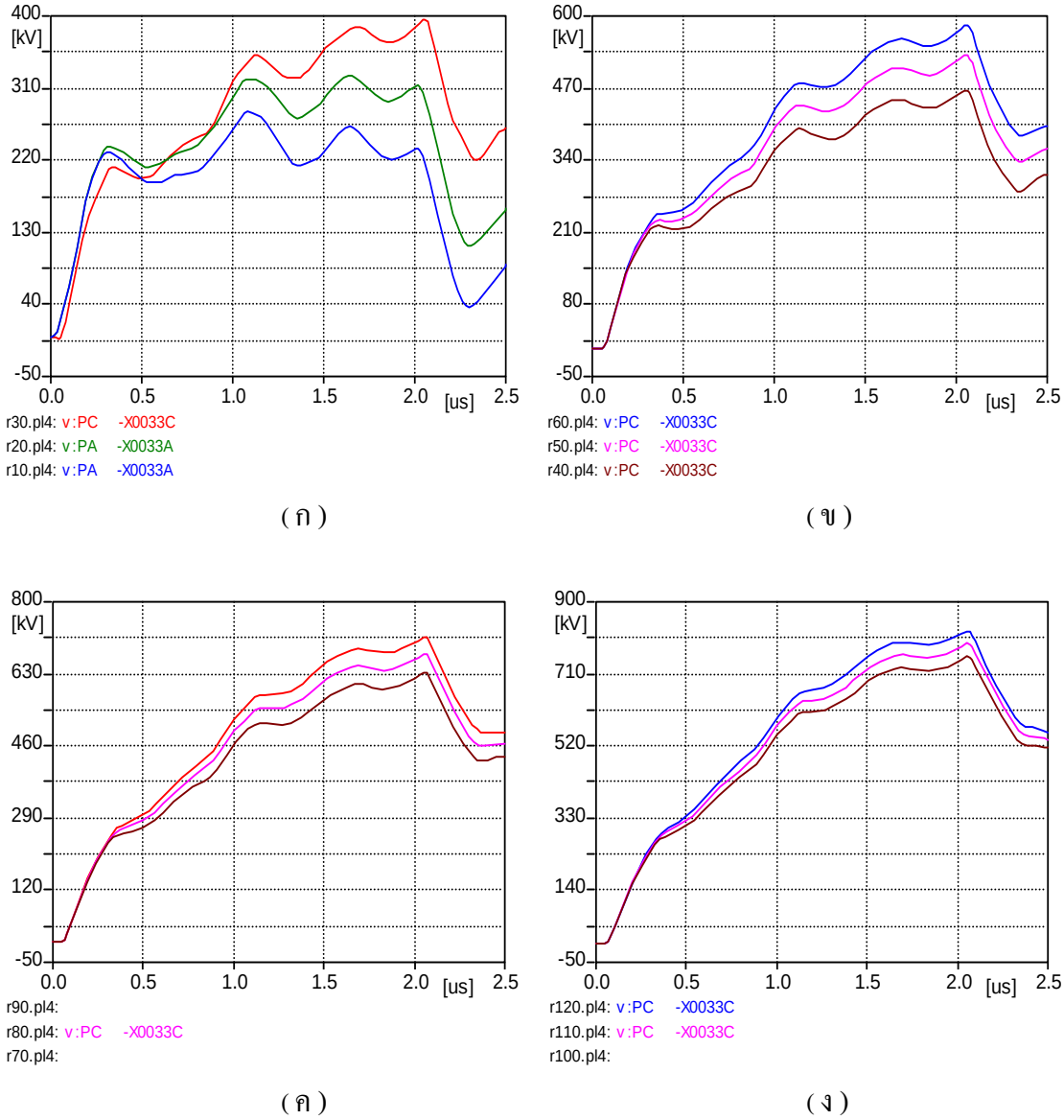



**รูปที่ 4.1** ขั้นตอนของการศึกษา

## 4.2 ผลการวิเคราะห์

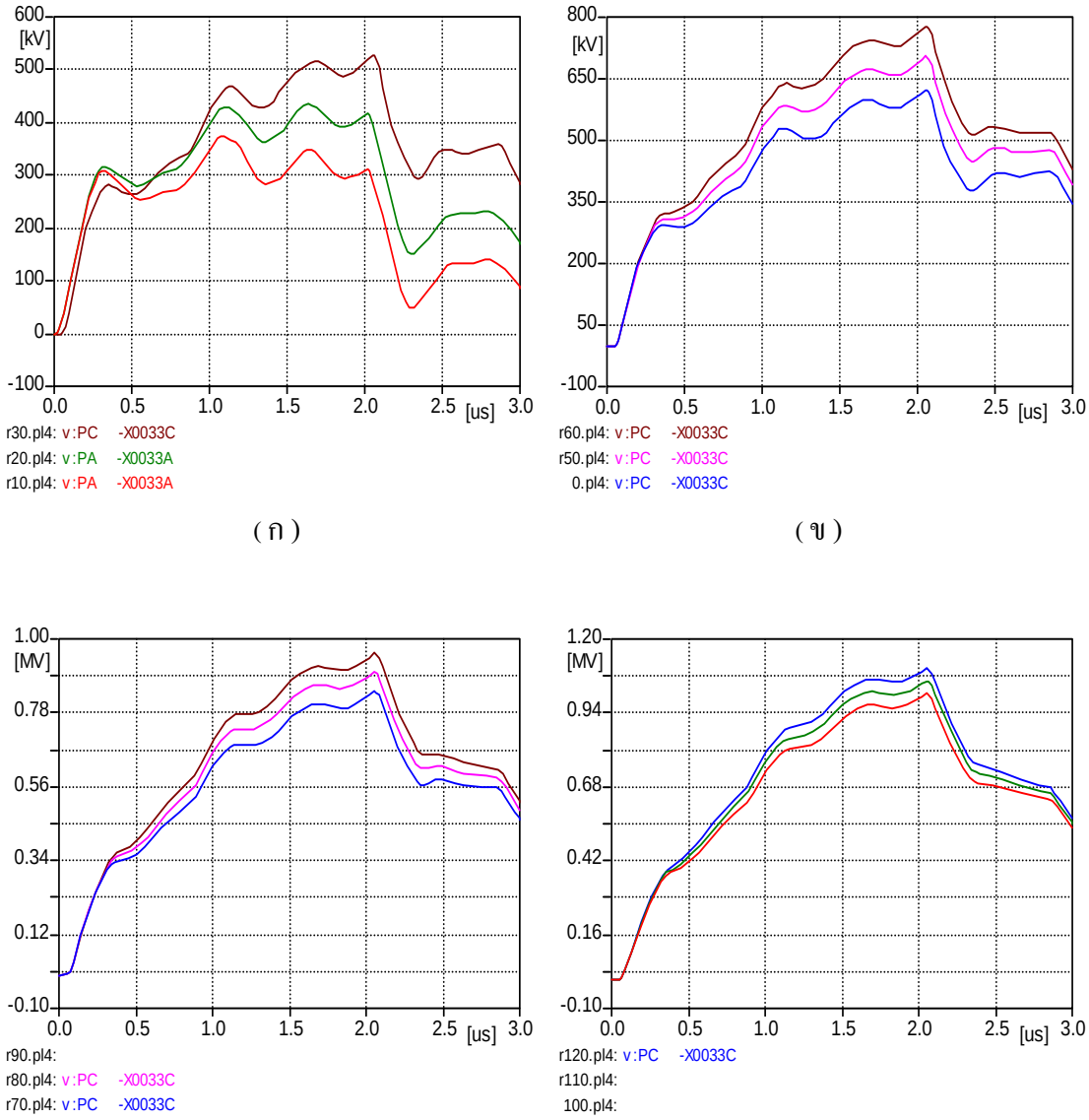
ผลการวิเคราะห์ที่ได้จะเห็นว่าระหว่างระยะห่างการปักเสาพาดสาย ค่าความต้านทานอิมพัลส์และจำนวนลูกถ้วยมีผลต่อค่าแรงดันตกคร่อมบนลูกถ้วย ค่าแรงดันวิกฤตวาบไฟตามผิวลูกถ้วย และอัตราการวาบไฟตามผิวลูกถ้วย ซึ่งการหาระยะห่างการปักเสาพาดสาย ค่าความต้านทานอิมพัลส์และจำนวนลูกถ้วยที่เหมาะสม เป็นอีกหนึ่งวิธีที่ช่วยแก้ปัญหาจากการใช้งานจริงที่เกิดขึ้น ในกรณีที่ไม่สามารถทำความต้านทานดินที่ฐานเสาได้ตามมาตรฐาน

จากรูปที่ 4.2 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 40 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP



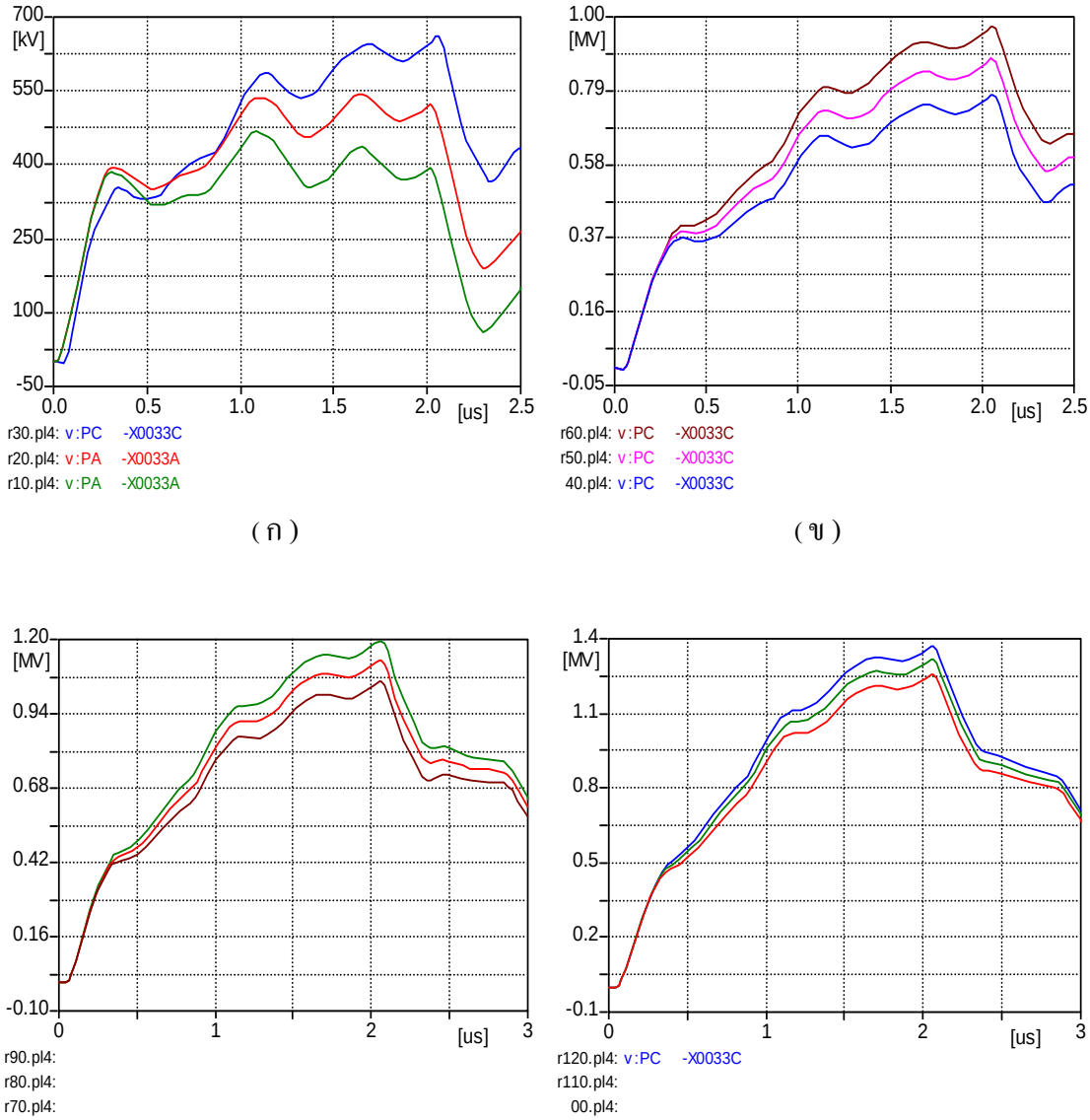

**รูปที่ 4.2** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 40 เมตร

จากรูปที่ 4.3 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 40 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.3** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 40 เมตร

จากรูปที่ 4.4 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 40 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




( ก ) ( ข )

( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.4** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 40 เมตร

จากตารางที่ 4.1 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 40 เมตร

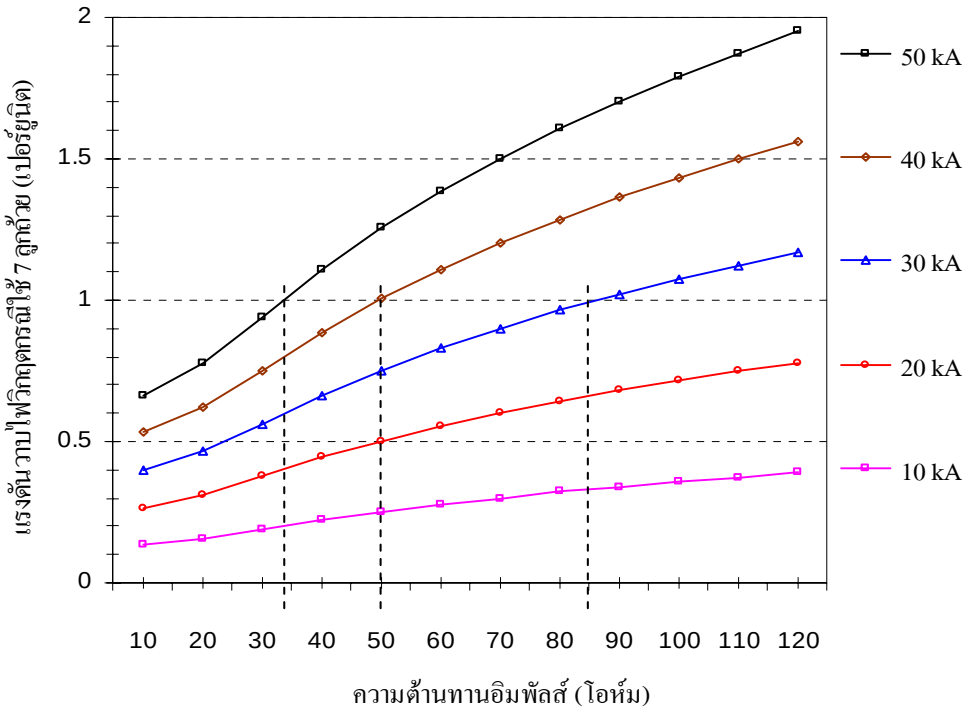
**ตารางที่ 4.1** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 40 เมตร

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 93,328 | 186,655 | 279,983 | 373,311 | 466,639 |
| 20 | 108,803 | 217,606 | 326,409 | 435,212 | 544,015 |
| 30 | 131,947 | 263,894 | 395,841 | 527,788 | 659,735 |
| 40 | 155,532 | 311,064 | 466,597 | 622,129 | 777,661 |
| 50 | 176,185 | 352,370 | 528,555 | 704,740 | 880,924 |
| 60 | 194,499 | 388,998 | 583,497 | 777,996 | 972,495 |
| 70 | 210,919 | 421,838 | 632,756 | 843,675 | 1,054,590 |
| 80 | 225,778 | 451,557 | 677,335 | 903,114 | 1,128,890 |
| 90 | 239,331 | 478,662 | 717,993 | 957,324 | 1,196,650 |
| 100 | 251,775 | 503,550 | 755,324 | 1,007,100 | 1,258,870 |
| 110 | 263,266 | 526,532 | 789,799 | 1,053,060 | 1,316,330 |
| 120 | 273,929 | 547,859 | 821,788 | 1,095,720 | 1,369,650 |

จากตารางที่ 4.2 และ รูปที่ 4.5 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 40 เมตร

**ตารางที่ 4.2** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.13 | 0.27 | 0.40 | 0.53 | 0.66 |
| 20 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.62 | 0.77 |
| 30 | 0.19 | 0.38 | 0.56 | 0.75 | 0.94 |
| 40 | 0.22 | 0.44 | 0.66 | 0.89 | 1.11 |
| 50 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 |
| 60 | 0.28 | 0.55 | 0.83 | 1.11 | 1.38 |
| 70 | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 1.50 |
| 80 | 0.32 | 0.64 | 0.96 | 1.29 | 1.61 |
| 90 | 0.34 | 0.68 | 1.02 | 1.36 | 1.70 |
| 100 | 0.36 | 0.72 | 1.08 | 1.43 | 1.79 |
| 110 | 0.37 | 0.75 | 1.12 | 1.50 | 1.87 |
| 120 | 0.39 | 0.78 | 1.17 | 1.56 | 1.95 |

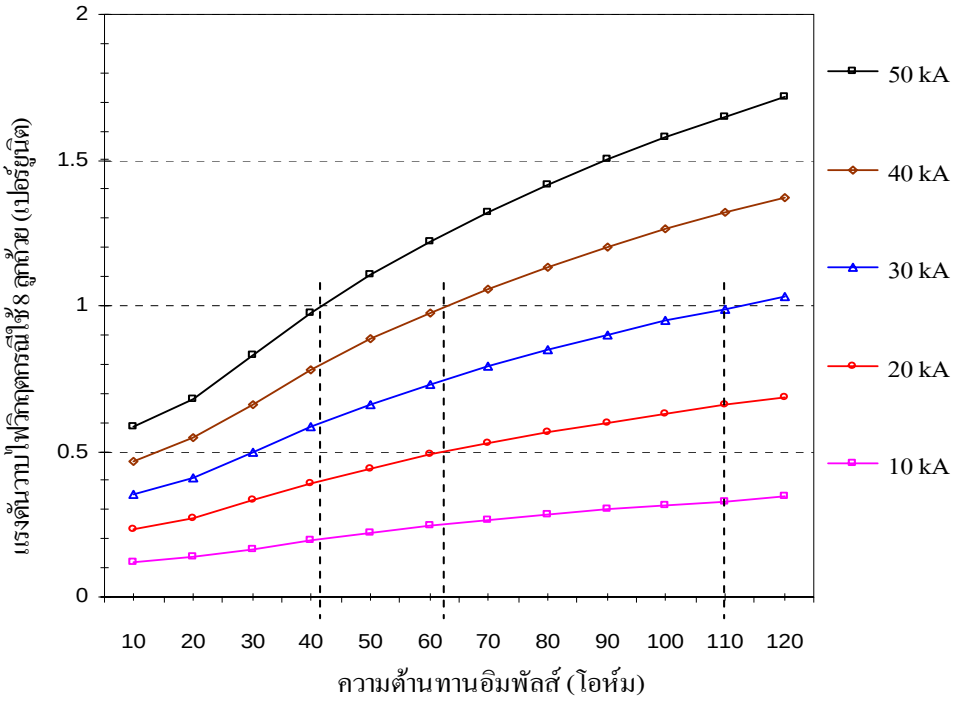



**รูปที่ 4.5** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.3 และ รูปที่ 4.6 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 40 เมตร

**ตารางที่ 4.3** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.12 | 0.23 | 0.35 | 0.47 | 0.59 |
| 20 | 0.14 | 0.27 | 0.41 | 0.55 | 0.68 |
| 30 | 0.17 | 0.33 | 0.50 | 0.66 | 0.83 |
| 40 | 0.20 | 0.39 | 0.59 | 0.78 | 0.98 |
| 50 | 0.22 | 0.44 | 0.66 | 0.88 | 1.10 |
| 60 | 0.24 | 0.49 | 0.73 | 0.98 | 1.22 |
| 70 | 0.26 | 0.53 | 0.79 | 1.06 | 1.32 |
| 80 | 0.28 | 0.57 | 0.85 | 1.13 | 1.42 |
| 90 | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 1.50 |
| 100 | 0.32 | 0.63 | 0.95 | 1.26 | 1.58 |
| 110 | 0.33 | 0.66 | 0.99 | 1.32 | 1.65 |
| 120 | 0.34 | 0.69 | 1.03 | 1.37 | 1.72 |

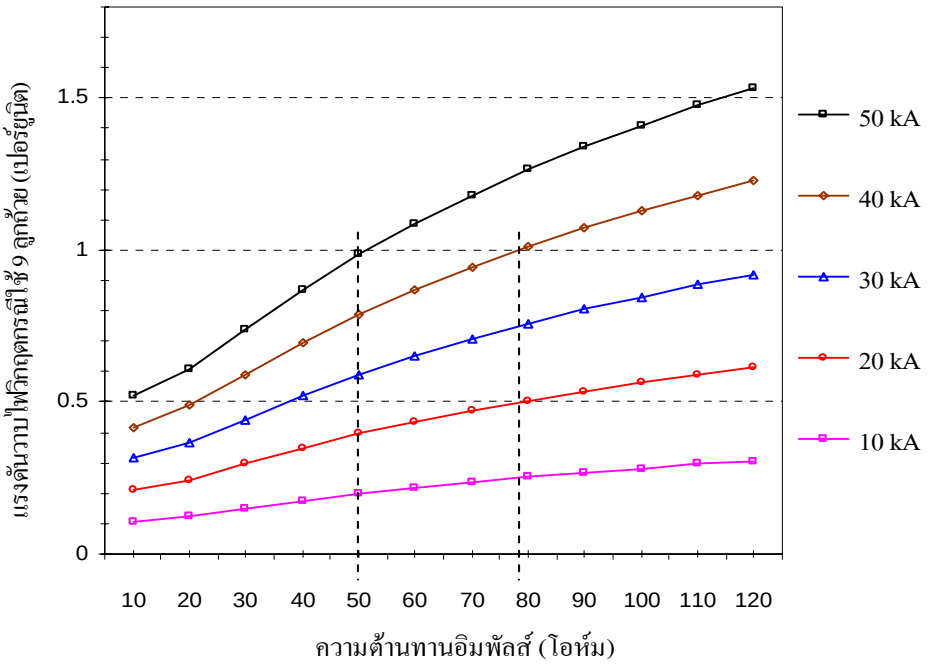



**รูปที่ 4.6** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.4 และ รูปที่ 4.7 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 40 เมตร

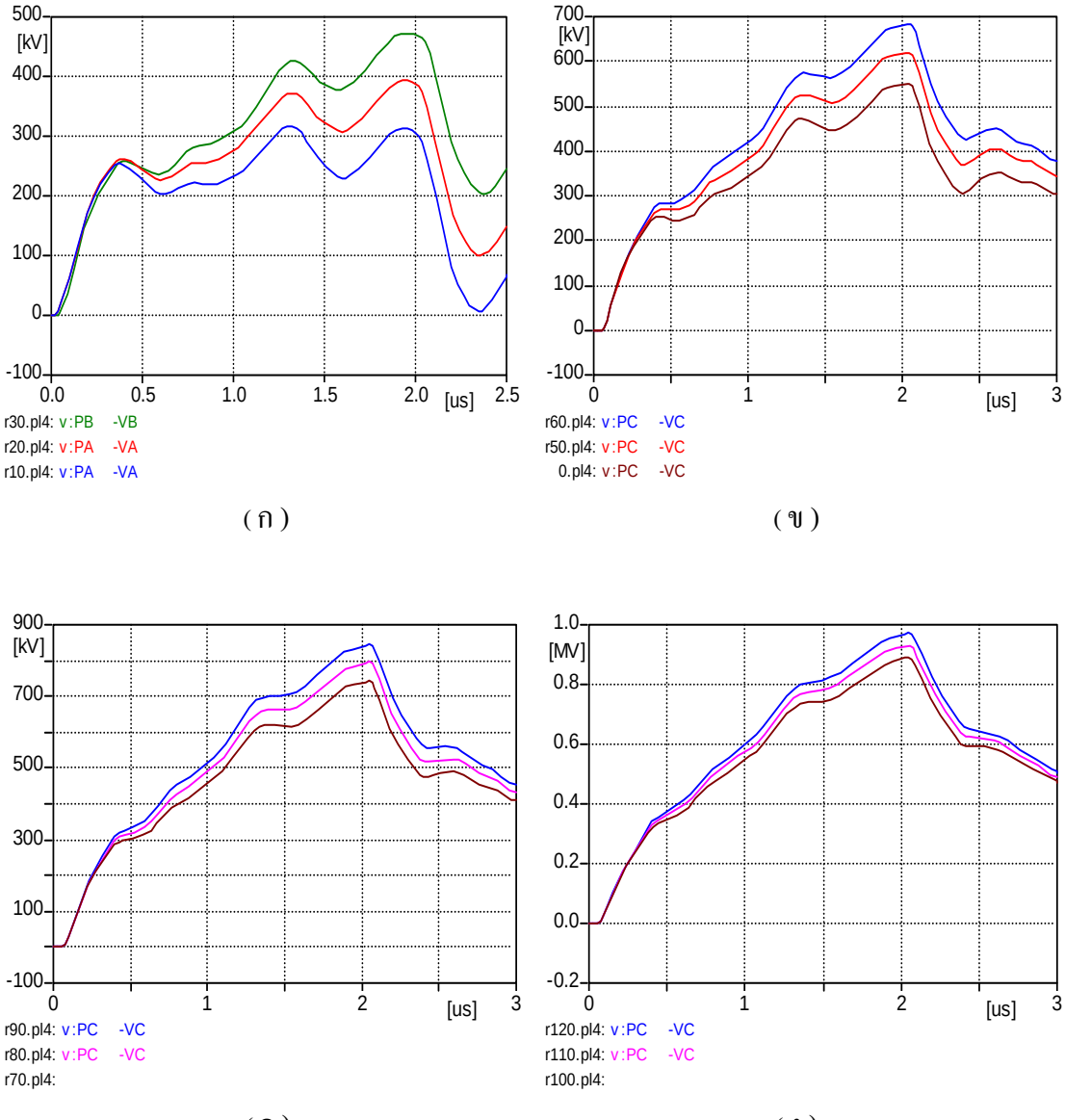
**ตารางที่ 4.4** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.10 | 0.21 | 0.31 | 0.42 | 0.52 |
| 20 | 0.12 | 0.24 | 0.37 | 0.49 | 0.61 |
| 30 | 0.15 | 0.30 | 0.44 | 0.59 | 0.74 |
| 40 | 0.17 | 0.35 | 0.52 | 0.70 | 0.87 |
| 50 | 0.20 | 0.39 | 0.59 | 0.79 | 0.99 |
| 60 | 0.22 | 0.44 | 0.65 | 0.87 | 1.09 |
| 70 | 0.24 | 0.47 | 0.71 | 0.95 | 1.18 |
| 80 | 0.25 | 0.51 | 0.76 | 1.01 | 1.26 |
| 90 | 0.27 | 0.54 | 0.80 | 1.07 | 1.34 |
| 100 | 0.28 | 0.56 | 0.85 | 1.13 | 1.41 |
| 110 | 0.29 | 0.59 | 0.88 | 1.18 | 1.47 |
| 120 | 0.31 | 0.61 | 0.92 | 1.23 | 1.53 |



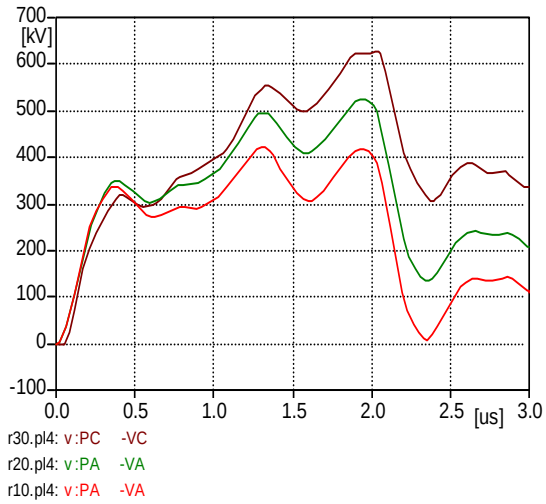

**รูปที่ 4.7** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

จากรูปที่ 4.8 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 50 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP

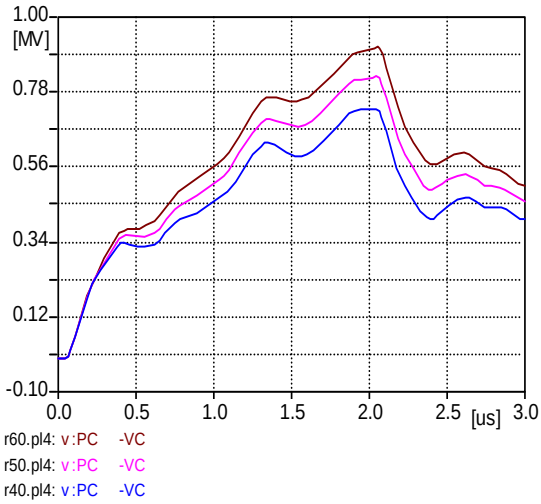



**รูปที่ 4.8** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 50 เมตร

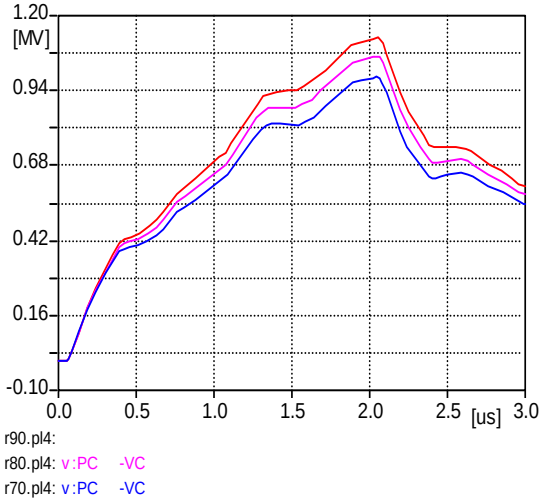
จากรูปที่ 4.9 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 50 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP



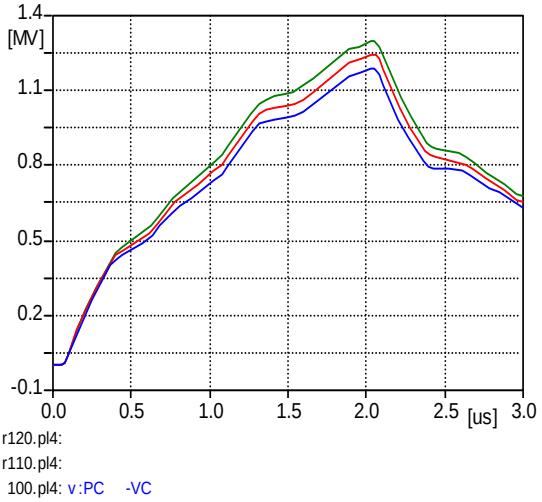

( ก )




( ข )



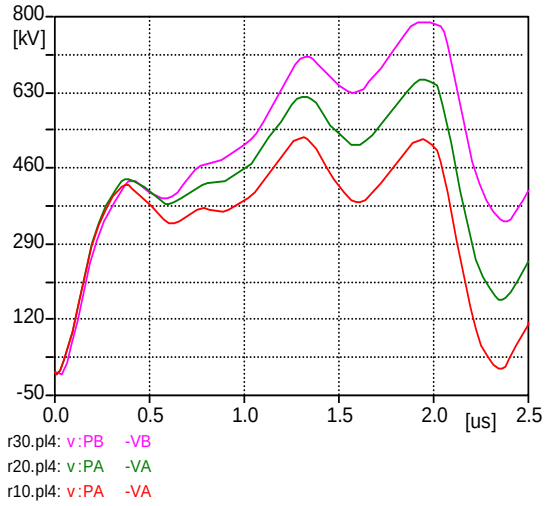

( ค )



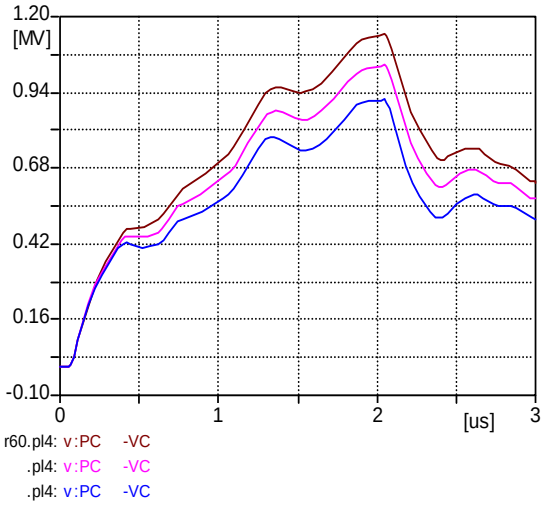

( ง )

**รูปที่ 4.9** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 50 เมตร

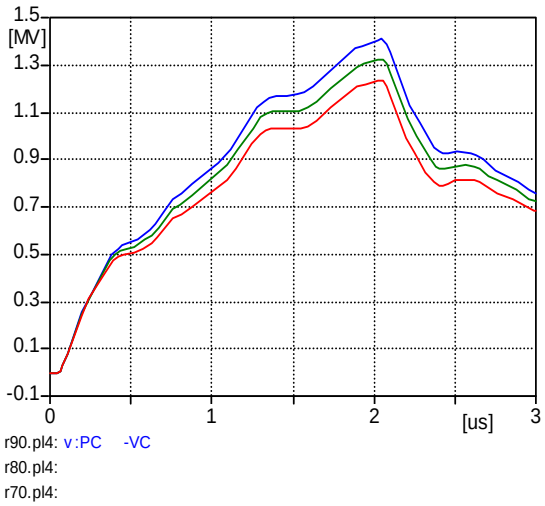
จากรูปที่ 4.10 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 50 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP



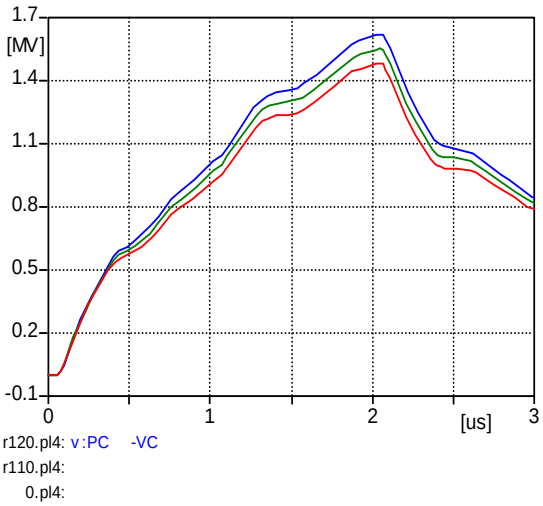

( ก )




( ข )




( ค )




( ง )

**รูปที่ 4.10** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 50 เมตร

จากตารางที่ 4.5 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 50 เมตร

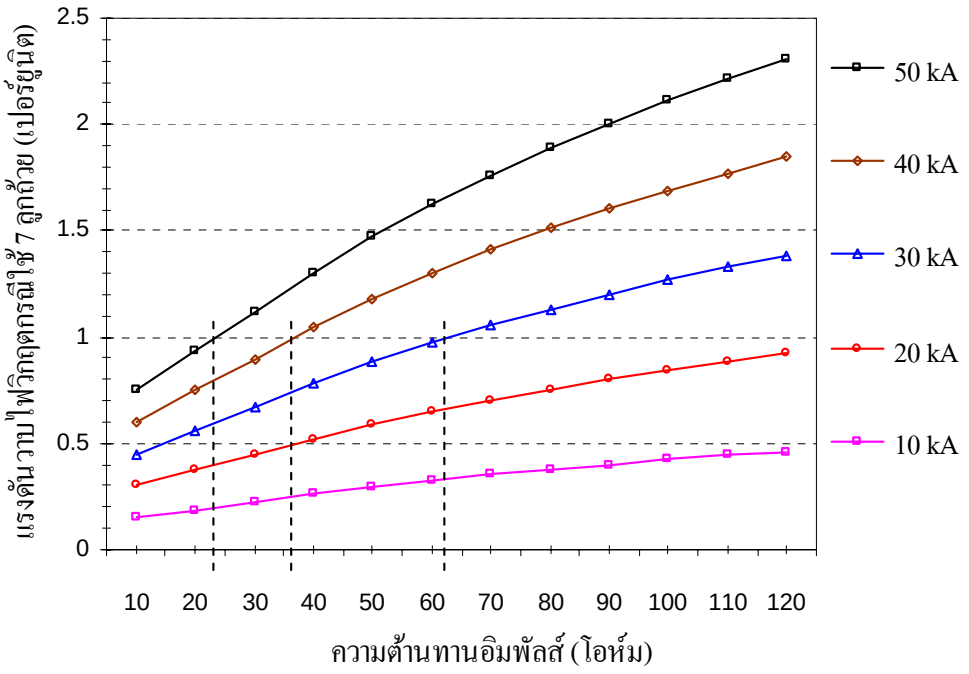
**ตารางที่ 4.5** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 50 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 105,501 | 211,001 | 316,502 | 422,003 | 527,504 |
| 20 | 131,571 | 263,143 | 394,714 | 526,285 | 657,857 |
| 30 | 157,465 | 314,931 | 472,396 | 629,861 | 787,327 |
| 40 | 183,051 | 366,101 | 549,152 | 732,202 | 915,253 |
| 50 | 206,695 | 413,389 | 620,084 | 826,779 | 1,033,470 |
| 60 | 228,003 | 456,005 | 684,008 | 912,010 | 1,140,010 |
| 70 | 247,382 | 494,765 | 742,147 | 989,529 | 1,236,910 |
| 80 | 265,156 | 530,312 | 795,468 | 1,060,620 | 1,325,780 |
| 90 | 281,582 | 563,163 | 844,745 | 1,126,330 | 1,407,910 |
| 100 | 296,844 | 593,688 | 890,532 | 1,187,380 | 1,484,220 |
| 110 | 311,100 | 622,199 | 933,299 | 1,244,400 | 1,555,500 |
| 120 | 324,474 | 648,948 | 973,422 | 1,297,900 | 1,622,370 |

จากตารางที่ 4.6 และ รูปที่ 4.11 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 50 เมตร

**ตารางที่ 4.6** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.15 | 0.30 | 0.45 | 0.60 | 0.75 |
| 20 | 0.19 | 0.37 | 0.56 | 0.75 | 0.94 |
| 30 | 0.22 | 0.45 | 0.67 | 0.90 | 1.12 |
| 40 | 0.26 | 0.52 | 0.78 | 1.04 | 1.30 |
| 50 | 0.29 | 0.59 | 0.88 | 1.18 | 1.47 |
| 60 | 0.32 | 0.65 | 0.97 | 1.30 | 1.62 |
| 70 | 0.35 | 0.70 | 1.06 | 1.41 | 1.76 |
| 80 | 0.38 | 0.76 | 1.13 | 1.51 | 1.89 |
| 90 | 0.40 | 0.80 | 1.20 | 1.60 | 2.00 |
| 100 | 0.42 | 0.85 | 1.27 | 1.69 | 2.11 |
| 110 | 0.44 | 0.89 | 1.33 | 1.77 | 2.21 |
| 120 | 0.46 | 0.92 | 1.39 | 1.85 | 2.31 |

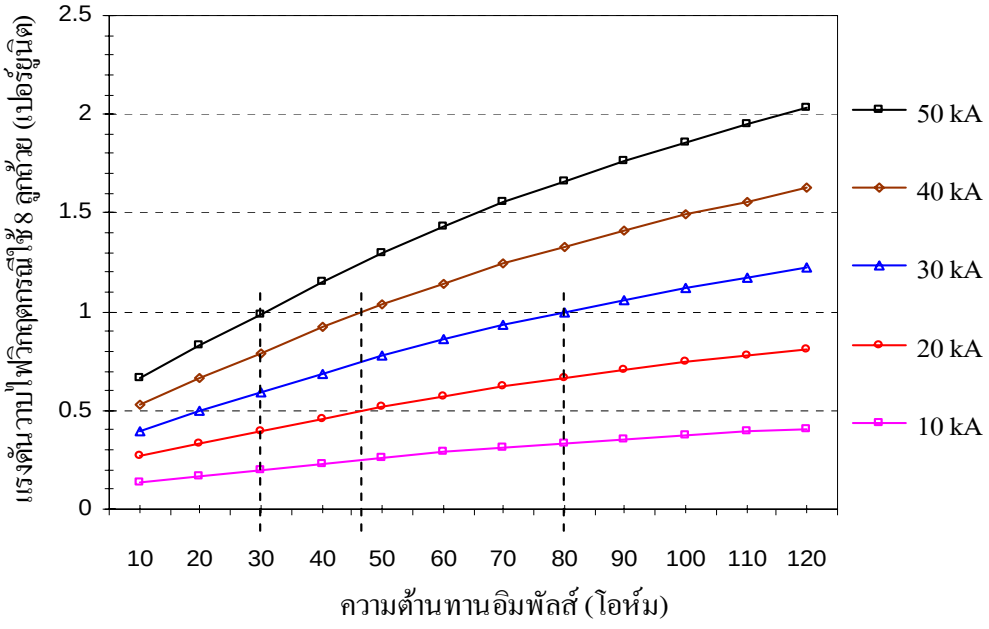



**รูปที่ 4.11** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.12 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 50 เมตร

**ตารางที่ 4.7** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.13 | 0.26 | 0.40 | 0.53 | 0.66 |
| 20 | 0.16 | 0.33 | 0.49 | 0.66 | 0.82 |
| 30 | 0.20 | 0.39 | 0.59 | 0.79 | 0.99 |
| 40 | 0.23 | 0.46 | 0.69 | 0.92 | 1.15 |
| 50 | 0.26 | 0.52 | 0.78 | 1.04 | 1.30 |
| 60 | 0.29 | 0.57 | 0.86 | 1.14 | 1.43 |
| 70 | 0.31 | 0.62 | 0.93 | 1.24 | 1.55 |
| 80 | 0.33 | 0.66 | 1.00 | 1.33 | 1.66 |
| 90 | 0.35 | 0.71 | 1.06 | 1.41 | 1.77 |
| 100 | 0.37 | 0.74 | 1.12 | 1.49 | 1.86 |
| 110 | 0.39 | 0.78 | 1.17 | 1.56 | 1.95 |
| 120 | 0.41 | 0.81 | 1.22 | 1.63 | 2.03 |

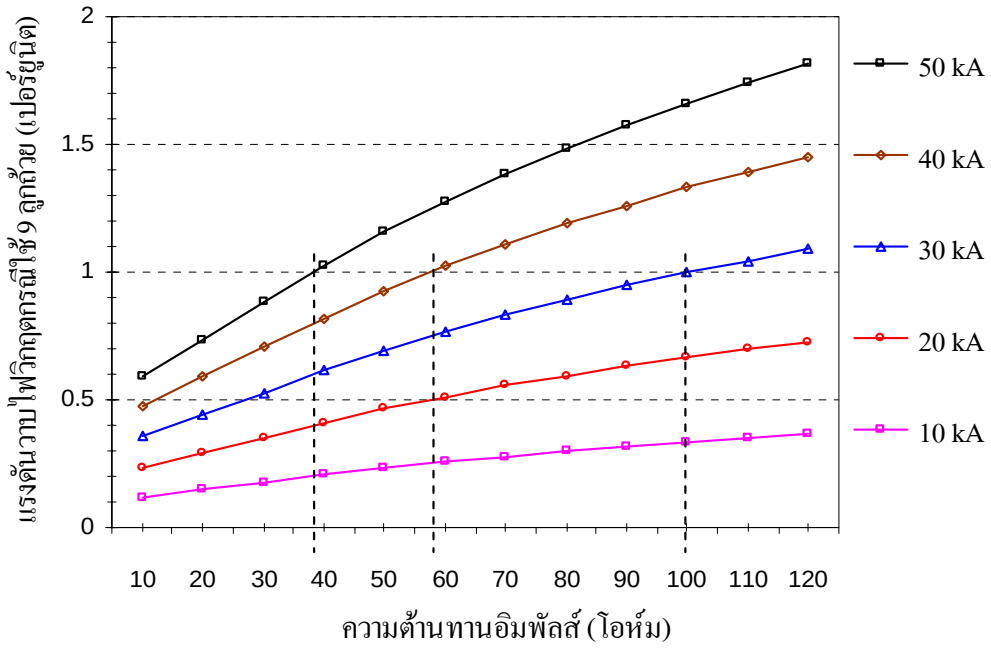



**รูปที่ 4.12** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.13 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 50 เมตร

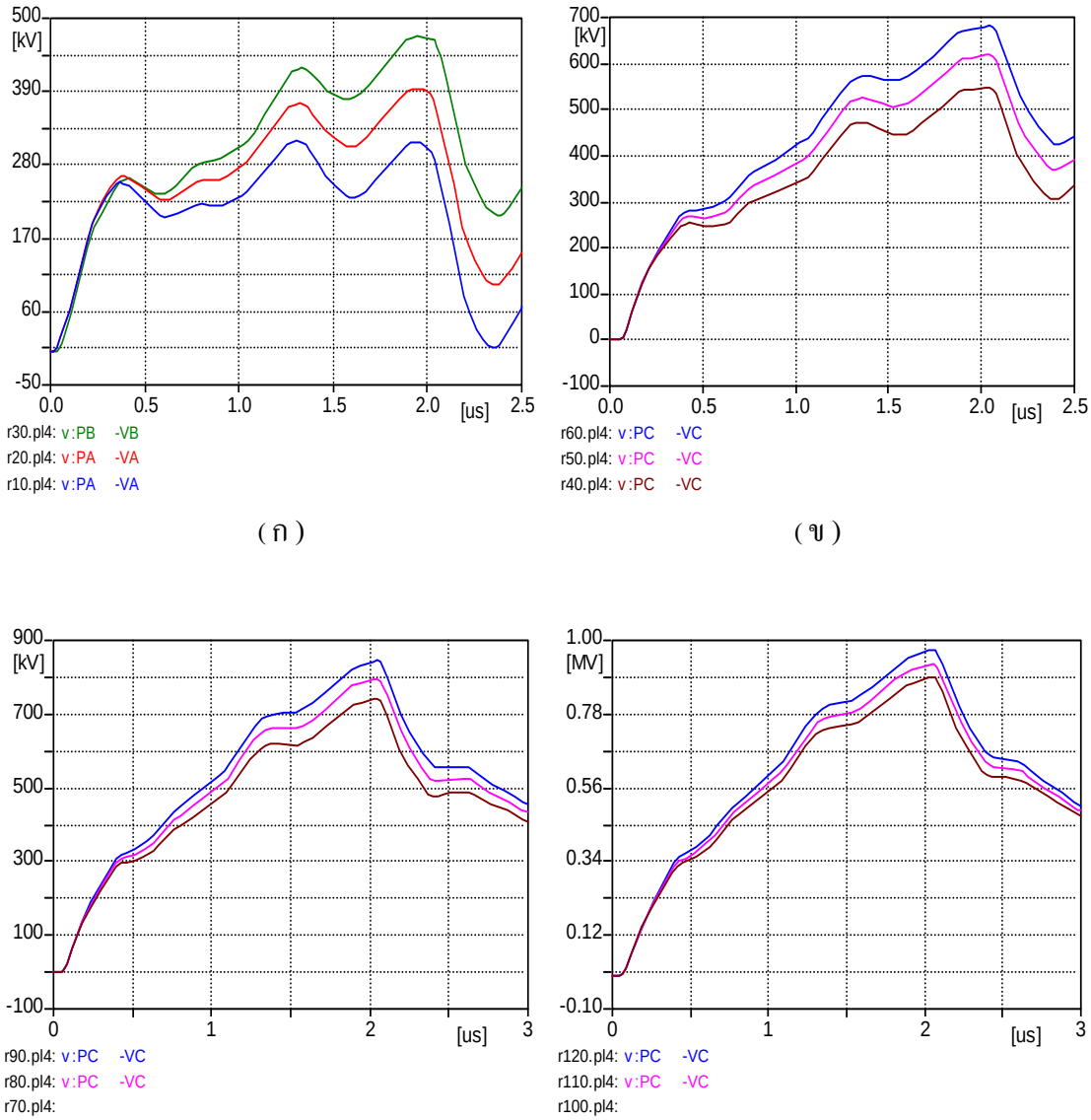
**ตารางที่ 4.8** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.12 | 0.24 | 0.35 | 0.47 | 0.59 |
| 20 | 0.15 | 0.29 | 0.44 | 0.59 | 0.74 |
| 30 | 0.18 | 0.35 | 0.53 | 0.71 | 0.88 |
| 40 | 0.21 | 0.41 | 0.62 | 0.82 | 1.03 |
| 50 | 0.23 | 0.46 | 0.69 | 0.93 | 1.16 |
| 60 | 0.26 | 0.51 | 0.77 | 1.02 | 1.28 |
| 70 | 0.28 | 0.55 | 0.83 | 1.11 | 1.39 |
| 80 | 0.30 | 0.59 | 0.89 | 1.19 | 1.49 |
| 90 | 0.32 | 0.63 | 0.95 | 1.26 | 1.58 |
| 100 | 0.33 | 0.66 | 1.00 | 1.33 | 1.66 |
| 110 | 0.35 | 0.70 | 1.05 | 1.39 | 1.74 |
| 120 | 0.36 | 0.73 | 1.09 | 1.45 | 1.82 |



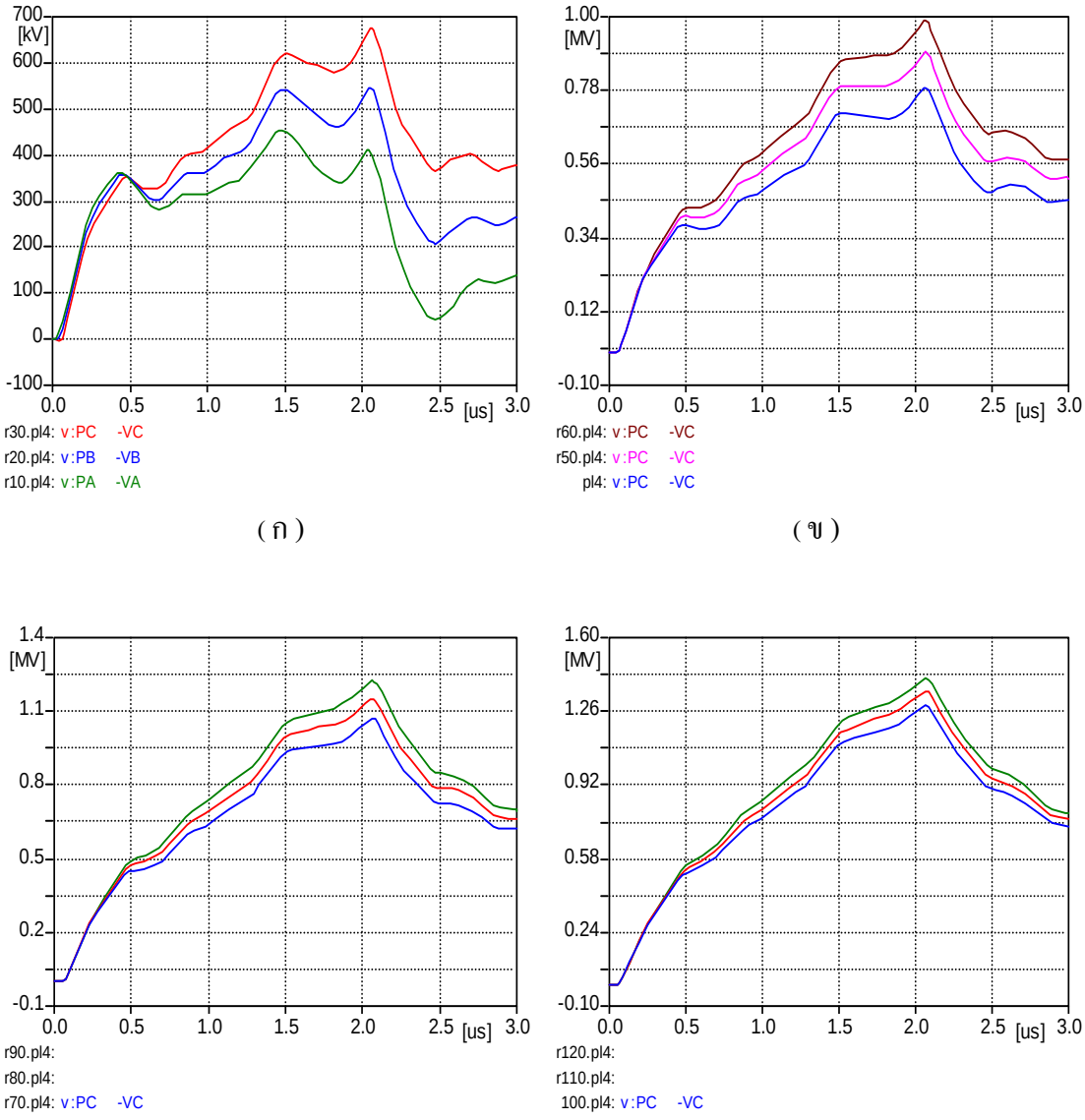

**รูปที่ 4.13** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

จากรูปที่ 4.14 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 60 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP



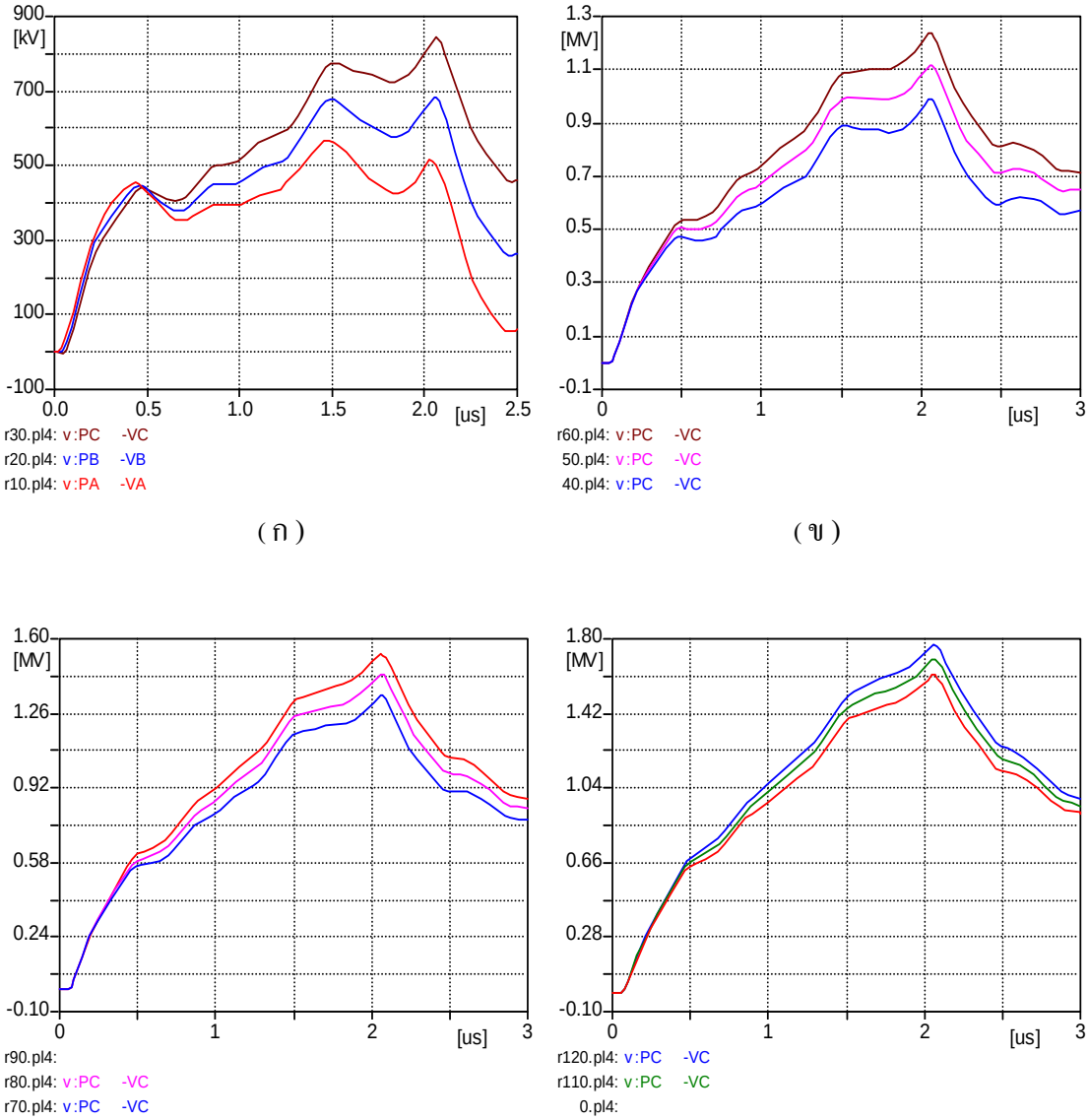

**รูปที่ 4.14** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 60 เมตร

จากรูปที่ 4.15 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 60 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.15** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 60 เมตร

จากรูปที่ 4.16 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 60 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.16** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 60 เมตร

จากตารางที่ 4.9 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 60 เมตร

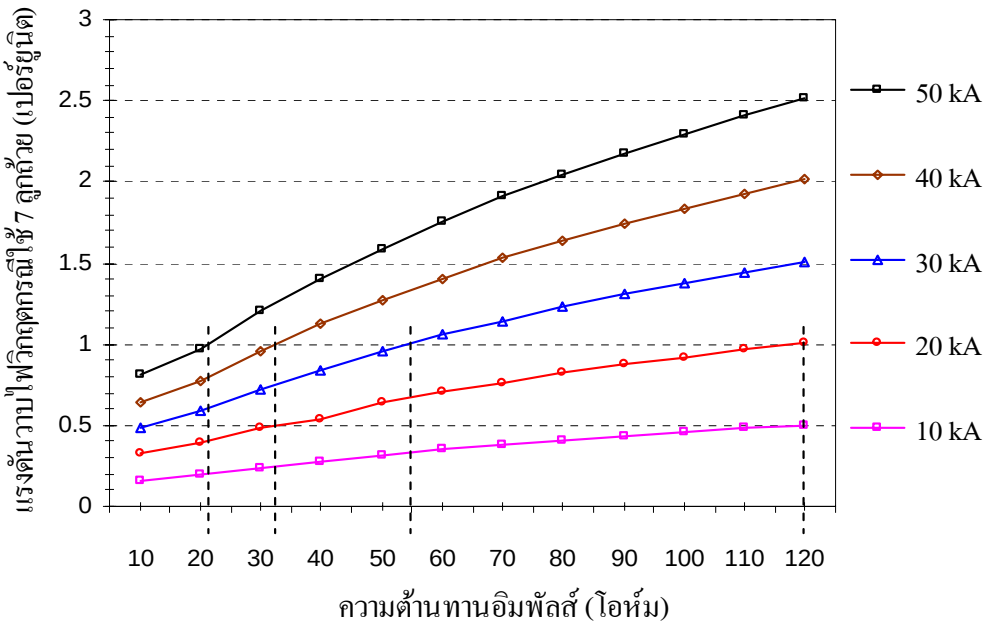
**ตารางที่ 4.9** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 60 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 113,372 | 226,745 | 340,117 | 453,490 | 566,862 |
| 20 | 136,521 | 273,042 | 409,563 | 546,084 | 682,605 |
| 30 | 168,488 | 336,977 | 505,465 | 668,064 | 842,442 |
| 40 | 197,560 | 373,038 | 592,681 | 790,241 | 987,801 |
| 50 | 223,530 | 447,060 | 670,590 | 894,120 | 1,117,650 |
| 60 | 246,971 | 493,941 | 740,912 | 987,883 | 1,234,850 |
| 70 | 268,321 | 536,643 | 804,964 | 1,073,290 | 1,341,610 |
| 80 | 287,922 | 575,845 | 863,767 | 1,151,690 | 1,439,610 |
| 90 | 306,040 | 612,081 | 918,121 | 1,224,160 | 1,530,200 |
| 100 | 322,887 | 645,775 | 968,662 | 1,291,550 | 1,614,440 |
| 110 | 338,633 | 677,265 | 1,015,900 | 1,354,530 | 1,693,160 |
| 120 | 353,413 | 706,827 | 1,060,240 | 1,413,650 | 1,767,070 |

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.17 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 60 เมตร

**ตารางที่ 4.10** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.16 | 0.32 | 0.48 | 0.65 | 0.81 |
| 20 | 0.19 | 0.39 | 0.58 | 0.78 | 0.97 |
| 30 | 0.24 | 0.48 | 0.72 | 0.95 | 1.20 |
| 40 | 0.28 | 0.53 | 0.84 | 1.13 | 1.41 |
| 50 | 0.32 | 0.64 | 0.95 | 1.27 | 1.59 |
| 60 | 0.35 | 0.70 | 1.06 | 1.41 | 1.76 |
| 70 | 0.38 | 0.76 | 1.15 | 1.53 | 1.91 |
| 80 | 0.41 | 0.82 | 1.23 | 1.64 | 2.05 |
| 90 | 0.44 | 0.87 | 1.31 | 1.74 | 2.18 |
| 100 | 0.46 | 0.92 | 1.38 | 1.84 | 2.30 |
| 110 | 0.48 | 0.96 | 1.45 | 1.93 | 2.41 |
| 120 | 0.50 | 1.01 | 1.51 | 2.01 | 2.52 |

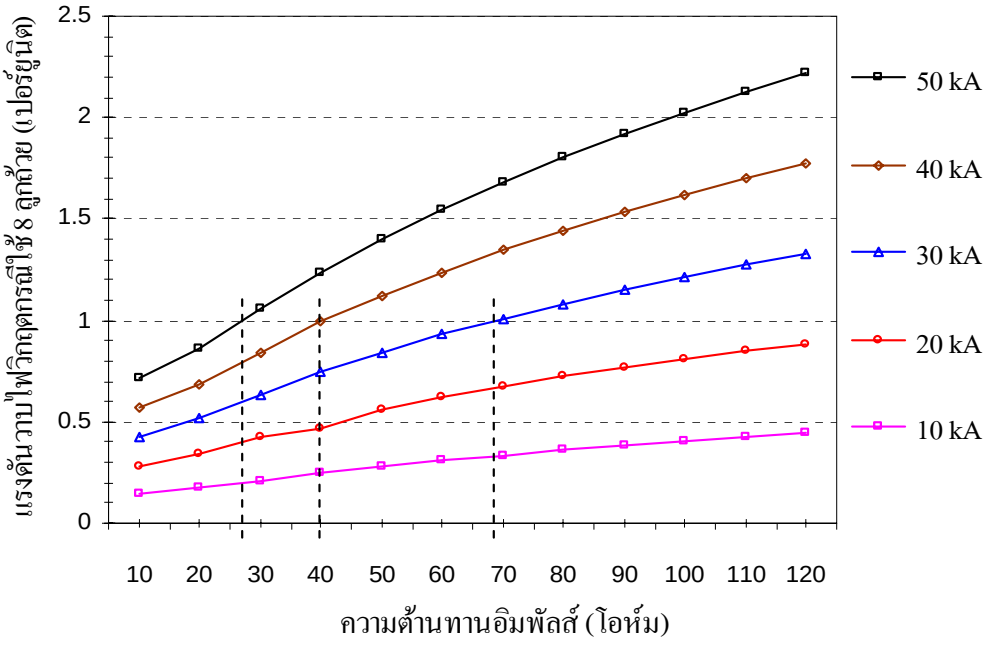



**รูปที่ 4.17** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.18 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 60 เมตร

**ตารางที่ 4.11** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.14 | 0.28 | 0.43 | 0.57 | 0.71 |
| 20 | 0.17 | 0.34 | 0.51 | 0.68 | 0.86 |
| 30 | 0.21 | 0.42 | 0.63 | 0.84 | 1.06 |
| 40 | 0.25 | 0.47 | 0.74 | 0.99 | 1.24 |
| 50 | 0.28 | 0.56 | 0.84 | 1.12 | 1.40 |
| 60 | 0.31 | 0.62 | 0.93 | 1.24 | 1.55 |
| 70 | 0.34 | 0.67 | 1.01 | 1.35 | 1.68 |
| 80 | 0.36 | 0.72 | 1.08 | 1.44 | 1.81 |
| 90 | 0.38 | 0.77 | 1.15 | 1.53 | 1.92 |
| 100 | 0.40 | 0.81 | 1.21 | 1.62 | 2.02 |
| 110 | 0.42 | 0.85 | 1.27 | 1.70 | 2.12 |
| 120 | 0.44 | 0.89 | 1.33 | 1.77 | 2.22 |

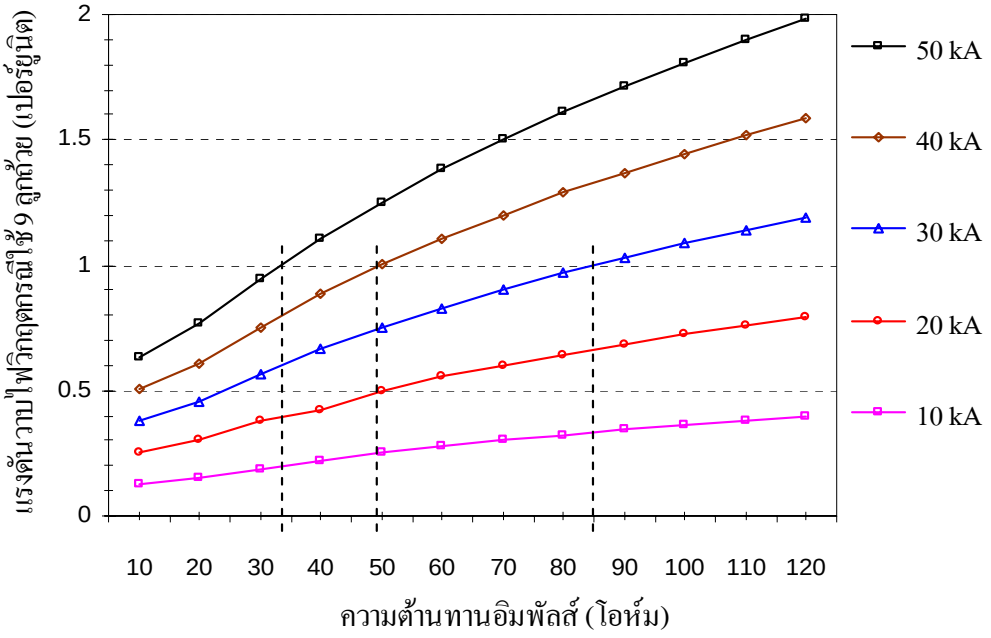



**รูปที่ 4.18** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.12 และรูปที่ 4.19 แสดงค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต กรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 60 เมตร

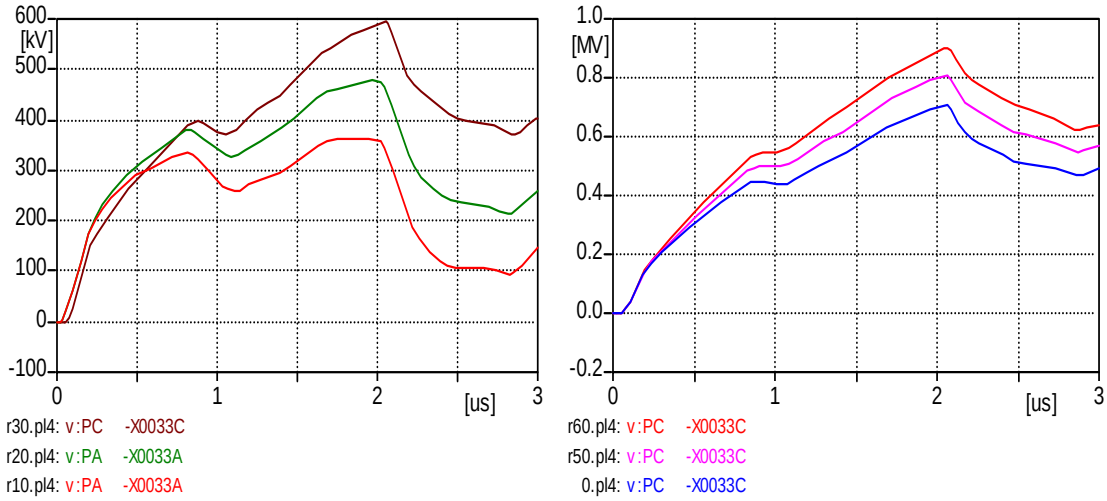
**ตารางที่ 4.12** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.13 | 0.25 | 0.38 | 0.51 | 0.63 |
| 20 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.61 | 0.76 |
| 30 | 0.19 | 0.38 | 0.57 | 0.75 | 0.94 |
| 40 | 0.22 | 0.42 | 0.66 | 0.89 | 1.11 |
| 50 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 |
| 60 | 0.28 | 0.55 | 0.83 | 1.11 | 1.38 |
| 70 | 0.30 | 0.60 | 0.90 | 1.20 | 1.50 |
| 80 | 0.32 | 0.65 | 0.97 | 1.29 | 1.61 |
| 90 | 0.34 | 0.69 | 1.03 | 1.37 | 1.71 |
| 100 | 0.36 | 0.72 | 1.09 | 1.45 | 1.81 |
| 110 | 0.38 | 0.76 | 1.14 | 1.52 | 1.90 |
| 120 | 0.40 | 0.79 | 1.19 | 1.58 | 1.98 |




**รูปที่ 4.19** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

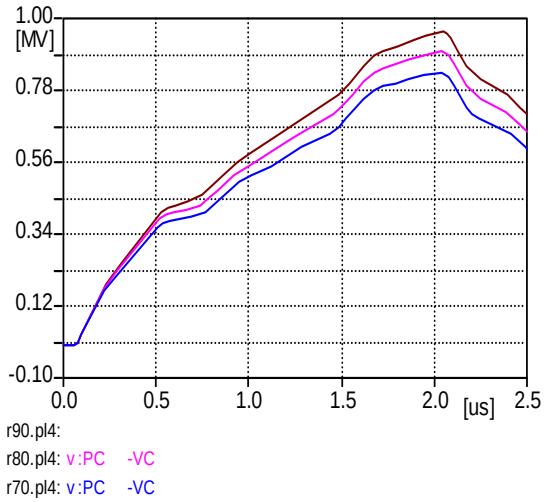
จากรูปที่ 4.20 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 70 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP



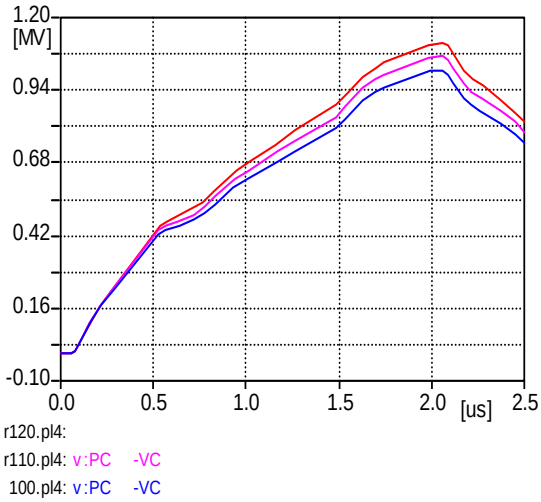

( ก )




( ข )



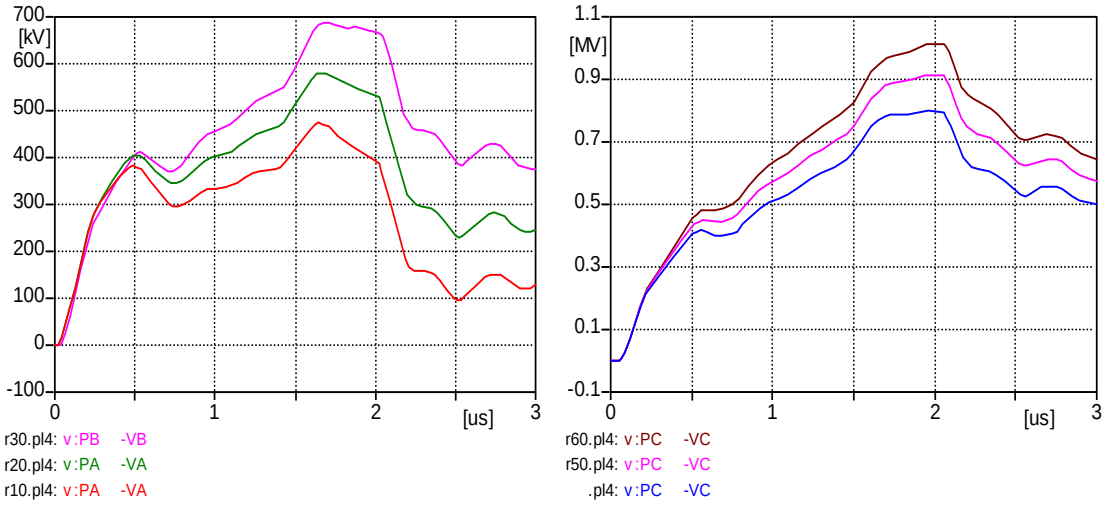

( ค )




( ง )

**รูปที่ 4.20** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 70 เมตร

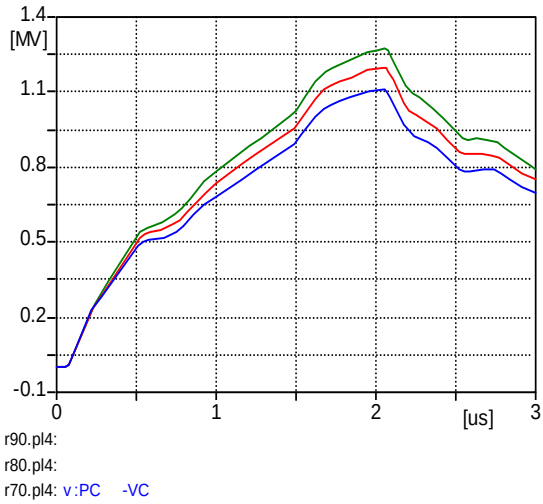
จากรูปที่ 4.21 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 70 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP



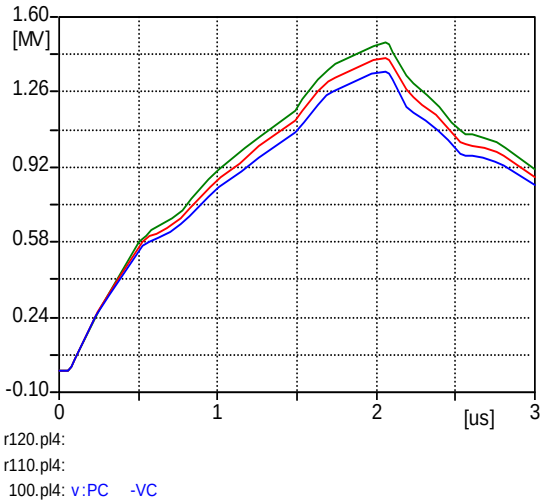

( ก )




( ข )



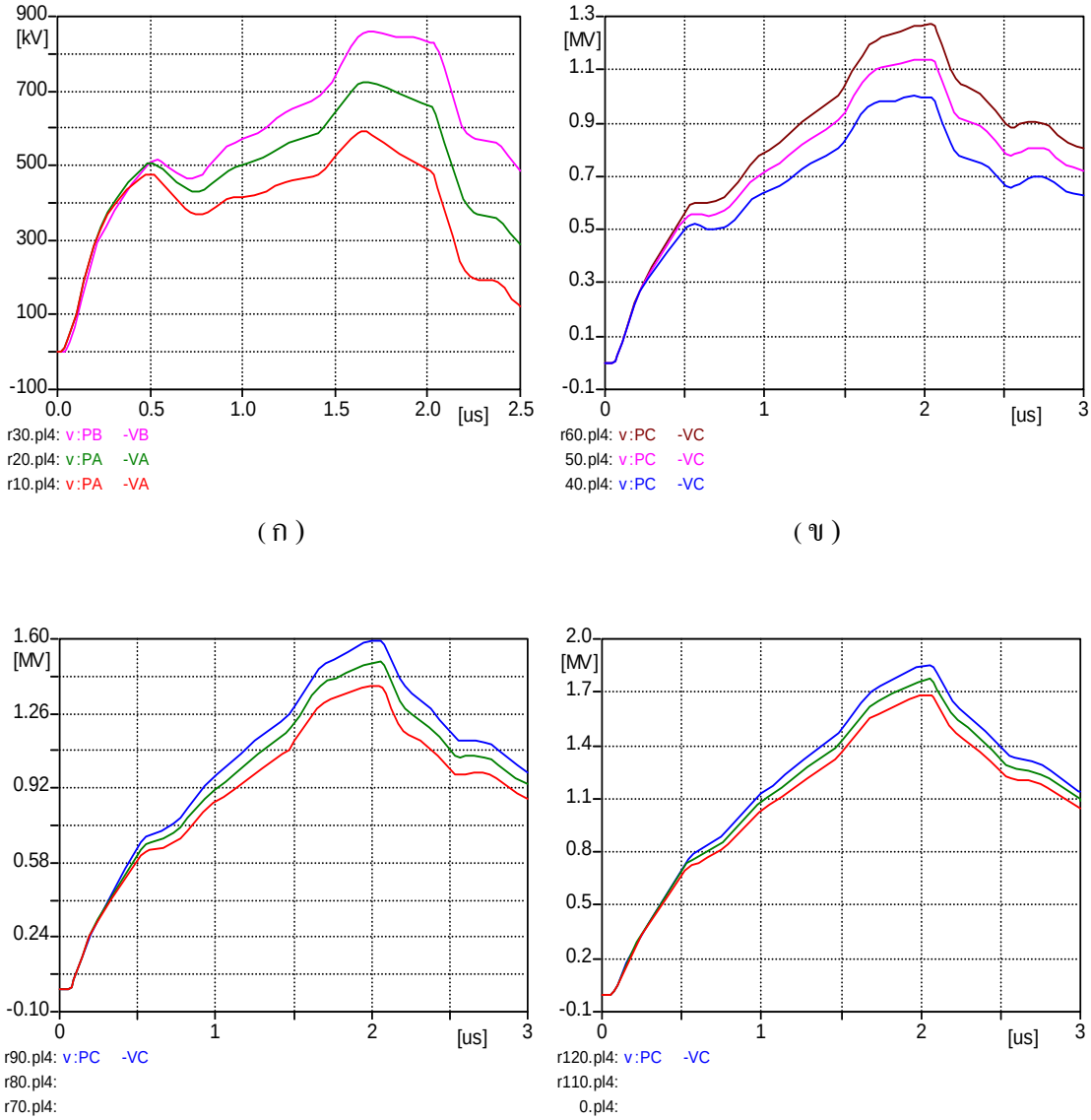

( ค )




( ง )

**รูปที่ 4.21** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 70 เมตร

จากรูปที่ 4.22 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 70 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.22** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 70 เมตร

จากตารางที่ 4.13 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 70 เมตร

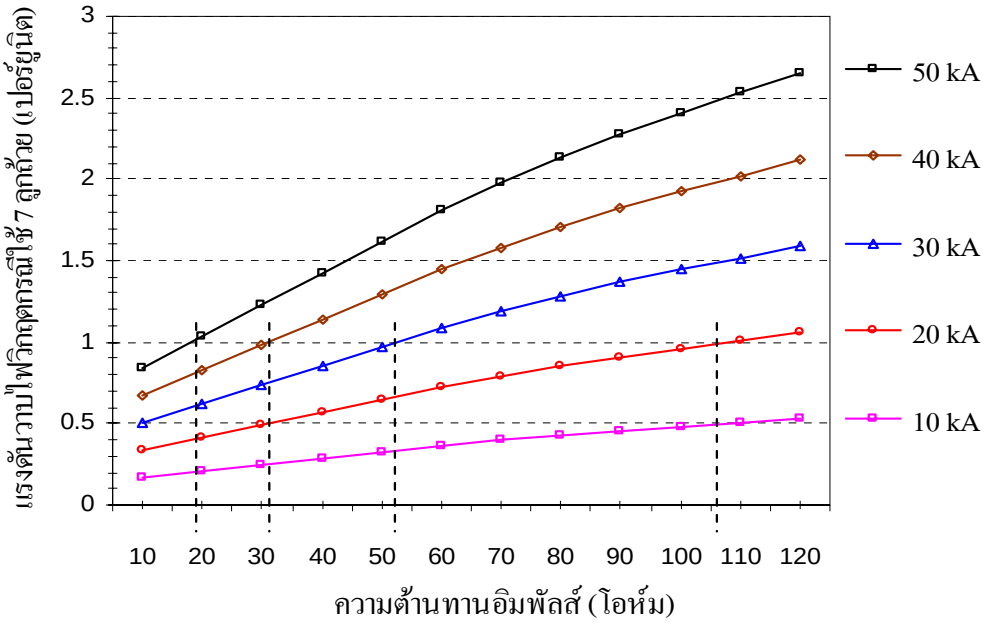
**ตารางที่ 4.13** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 70 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 118,204 | 236,407 | 354,611 | 472,814 | 591,018 |
| 20 | 145,197 | 290,394 | 435,591 | 580,788 | 725,985 |
| 30 | 172,140 | 344,279 | 516,419 | 688,559 | 860,699 |
| 40 | 199,985 | 395,120 | 599,955 | 799,940 | 999,924 |
| 50 | 227,874 | 455,748 | 683,622 | 911,496 | 1,139,370 |
| 60 | 253,952 | 507,905 | 761,857 | 1,015,810 | 1,269,760 |
| 70 | 277,658 | 555,316 | 832,975 | 1,110,630 | 1,388,290 |
| 80 | 299,374 | 598,749 | 898,123 | 1,197,500 | 1,496,870 |
| 90 | 319,392 | 638,784 | 958,175 | 1,277,570 | 1,596,960 |
| 100 | 337,964 | 675,928 | 1,013,890 | 1,351,860 | 1,689,820 |
| 110 | 355,274 | 710,548 | 1,065,820 | 1,421,100 | 1,776,370 |
| 120 | 371,489 | 742,977 | 1,114,470 | 1,485,950 | 1,857,440 |

จากตารางที่ 4.14 และรูปที่ 4.23 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 70 เมตร

**ตารางที่ 4.14** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.17 | 0.34 | 0.50 | 0.67 | 0.84 |
| 20 | 0.21 | 0.41 | 0.62 | 0.83 | 1.03 |
| 30 | 0.25 | 0.49 | 0.74 | 0.98 | 1.23 |
| 40 | 0.28 | 0.56 | 0.85 | 1.14 | 1.42 |
| 50 | 0.32 | 0.65 | 0.97 | 1.30 | 1.62 |
| 60 | 0.36 | 0.72 | 1.08 | 1.45 | 1.81 |
| 70 | 0.40 | 0.79 | 1.19 | 1.58 | 1.98 |
| 80 | 0.43 | 0.85 | 1.28 | 1.71 | 2.13 |
| 90 | 0.45 | 0.91 | 1.36 | 1.82 | 2.27 |
| 100 | 0.48 | 0.96 | 1.44 | 1.92 | 2.41 |
| 110 | 0.51 | 1.01 | 1.52 | 2.02 | 2.53 |
| 120 | 0.53 | 1.06 | 1.59 | 2.12 | 2.64 |

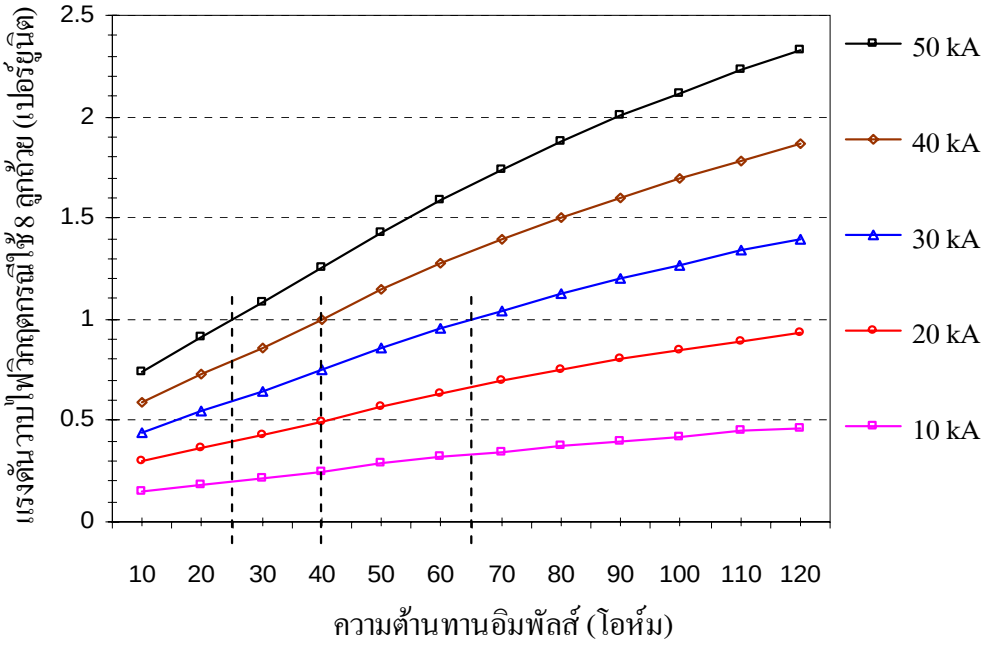



**รูปที่ 4.23** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.15 และรูปที่ 4.24 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 70 เมตร

**ตารางที่ 4.15** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.15 | 0.30 | 0.44 | 0.59 | 0.74 |
| 20 | 0.18 | 0.36 | 0.55 | 0.73 | 0.91 |
| 30 | 0.22 | 0.43 | 0.65 | 0.86 | 1.08 |
| 40 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.25 |
| 50 | 0.29 | 0.57 | 0.86 | 1.14 | 1.43 |
| 60 | 0.32 | 0.64 | 0.96 | 1.27 | 1.59 |
| 70 | 0.35 | 0.70 | 1.04 | 1.39 | 1.74 |
| 80 | 0.38 | 0.75 | 1.13 | 1.50 | 1.88 |
| 90 | 0.40 | 0.80 | 1.20 | 1.60 | 2.00 |
| 100 | 0.42 | 0.85 | 1.27 | 1.70 | 2.12 |
| 110 | 0.45 | 0.89 | 1.34 | 1.78 | 2.23 |
| 120 | 0.47 | 0.93 | 1.40 | 1.86 | 2.33 |

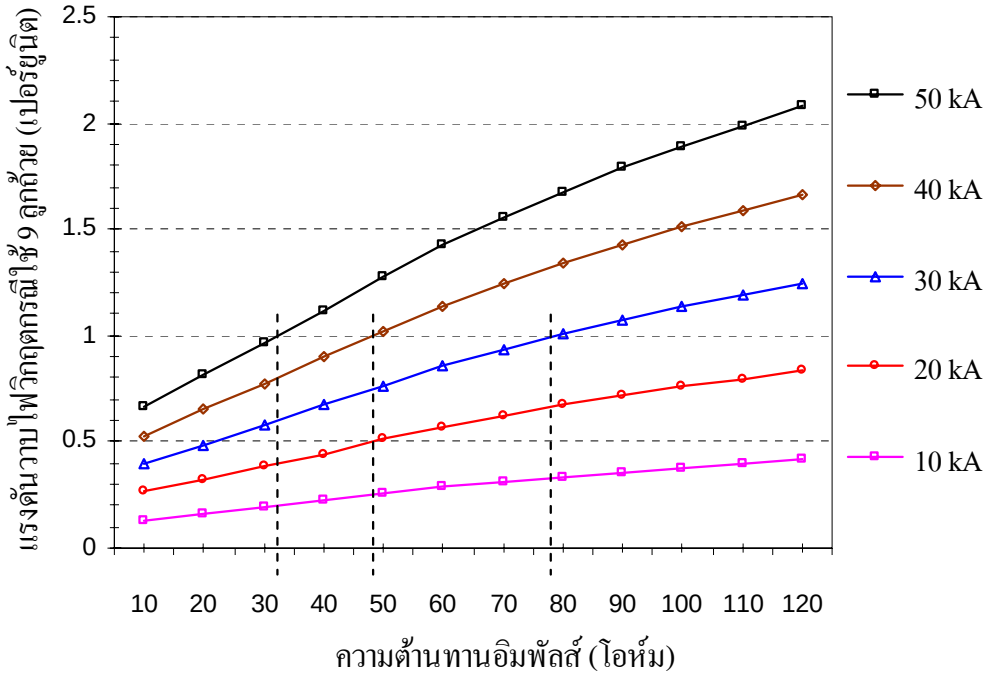



**รูปที่ 4.24** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.16 และรูปที่ 4.25 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 70 เมตร

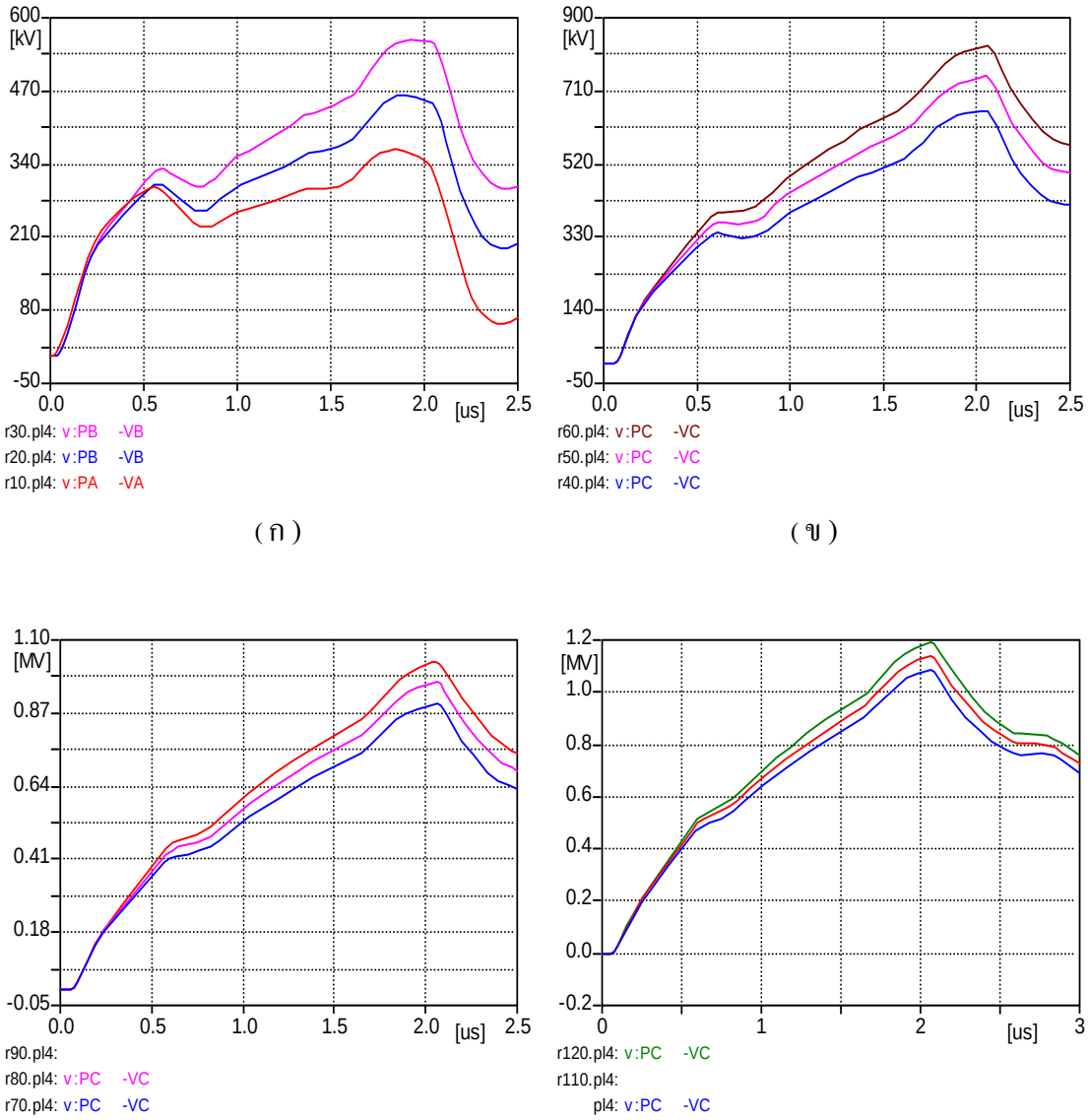
**ตารางที่ 4.16** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.13 | 0.26 | 0.40 | 0.53 | 0.66 |
| 20 | 0.16 | 0.33 | 0.49 | 0.65 | 0.81 |
| 30 | 0.19 | 0.39 | 0.58 | 0.77 | 0.96 |
| 40 | 0.22 | 0.44 | 0.67 | 0.90 | 1.12 |
| 50 | 0.26 | 0.51 | 0.77 | 1.02 | 1.28 |
| 60 | 0.28 | 0.57 | 0.85 | 1.14 | 1.42 |
| 70 | 0.31 | 0.62 | 0.93 | 1.24 | 1.56 |
| 80 | 0.34 | 0.67 | 1.01 | 1.34 | 1.68 |
| 90 | 0.36 | 0.72 | 1.07 | 1.43 | 1.79 |
| 100 | 0.38 | 0.76 | 1.14 | 1.51 | 1.89 |
| 110 | 0.40 | 0.80 | 1.19 | 1.59 | 1.99 |
| 120 | 0.42 | 0.83 | 1.25 | 1.66 | 2.08 |



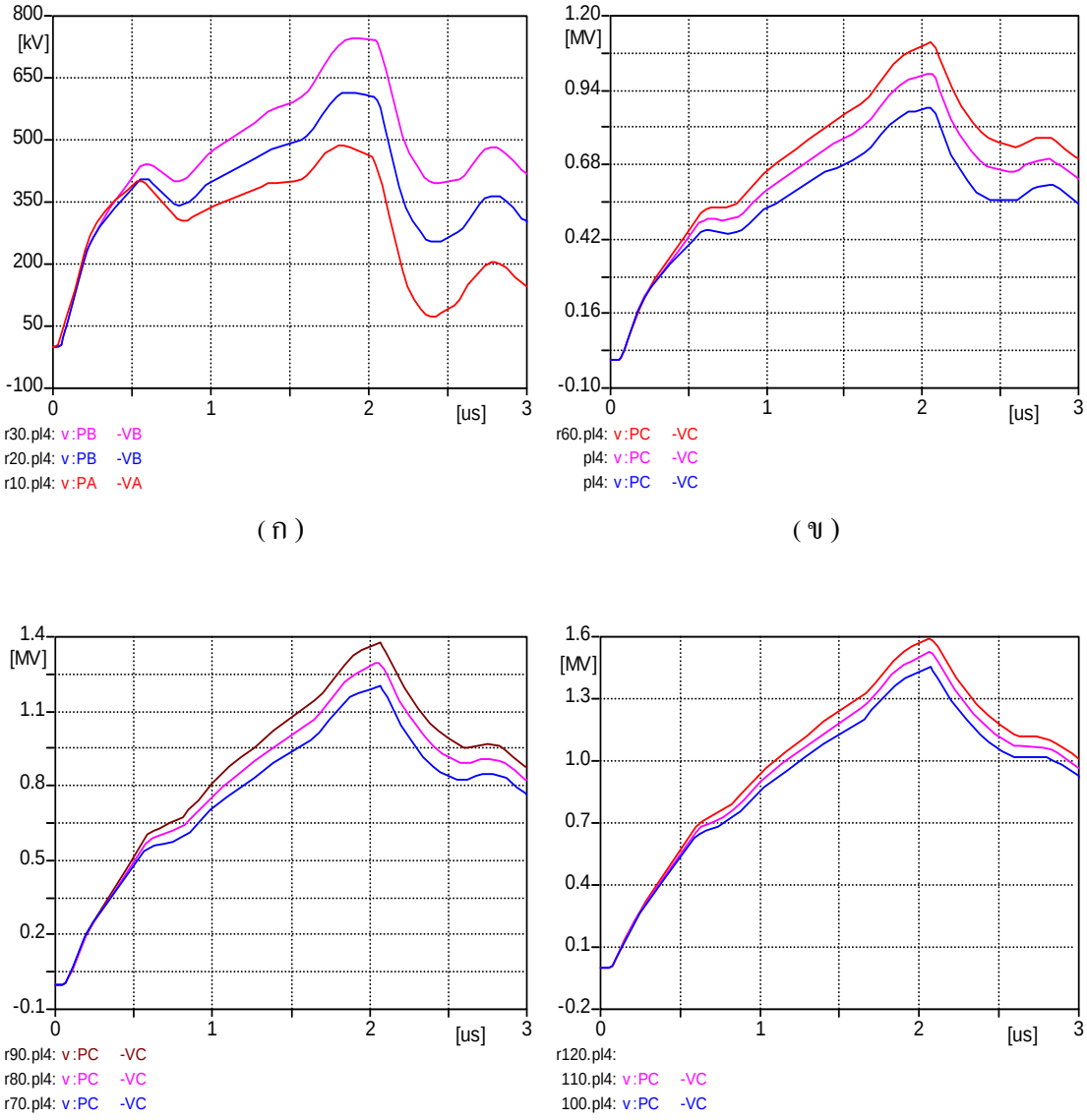

**รูปที่ 4.25** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

จากรูปที่ 4.26 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 80 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.26** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 80 เมตร

จากรูปที่ 4.27 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 80 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP

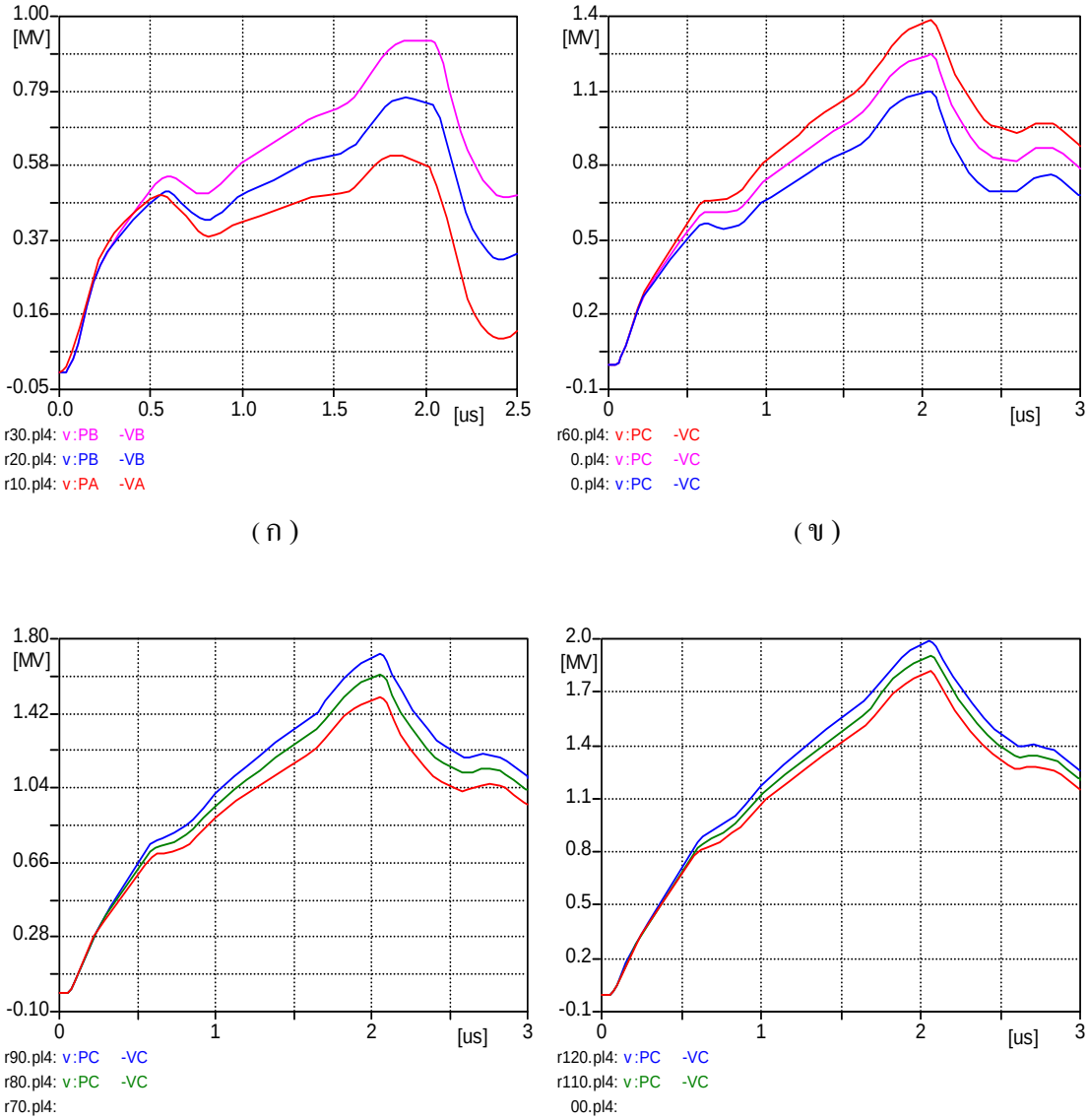



( ก ) ( ข )

( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.27** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 80 เมตร

จากรูปที่ 4.28 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 80 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.28** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 80 เมตร

จากตารางที่ 4.17 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 80 เมตร

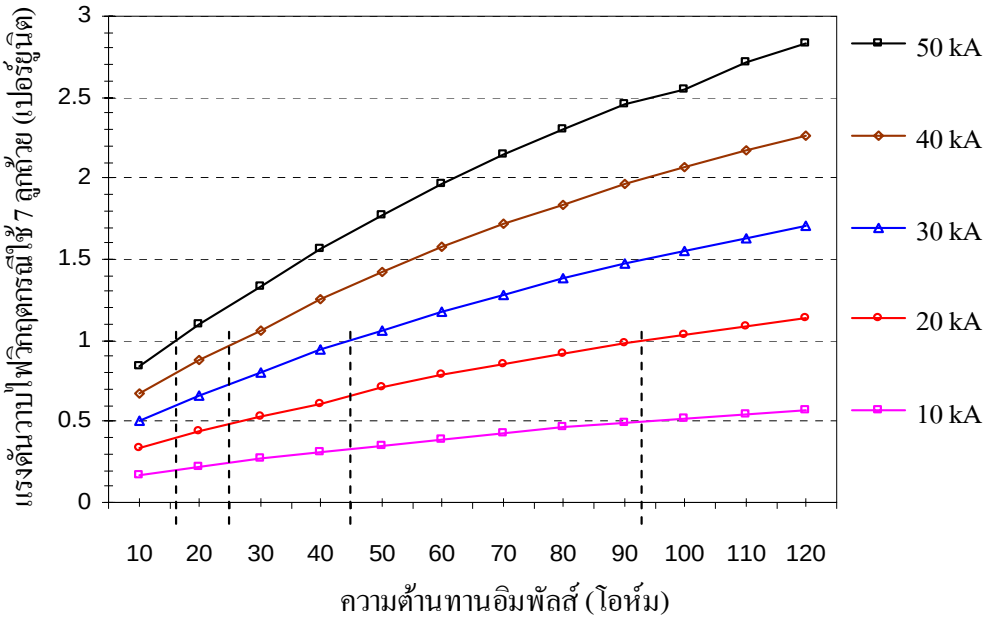
**ตารางที่ 4.17** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 80 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 118,374 | 236,749 | 355,123 | 473,497 | 591,872 |
| 20 | 153,968 | 307,937 | 461,905 | 615,873 | 769,842 |
| 30 | 186,519 | 373,038 | 559,557 | 746,077 | 932,596 |
| 40 | 219,682 | 426,885 | 659,047 | 878,730 | 1,098,410 |
| 50 | 249,559 | 499,117 | 748,676 | 998,235 | 1,247,790 |
| 60 | 276,517 | 553,033 | 829,550 | 1,106,070 | 1,382,580 |
| 70 | 301,017 | 602,033 | 903,050 | 1,204,070 | 1,505,080 |
| 80 | 323,479 | 646,958 | 970,438 | 1,293,920 | 1,617,400 |
| 90 | 344,191 | 688,383 | 1,032,570 | 1,376,770 | 1,720,960 |
| 100 | 363,410 | 726,820 | 1,090,230 | 1,453,640 | 1,792,200 |
| 110 | 381,353 | 762,707 | 1,144,060 | 1,525,410 | 1,906,770 |
| 120 | 398,172 | 796,344 | 1,194,520 | 1,592,690 | 1,990,860 |

จากตารางที่ 4.18และรูปที่ 4.29 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 80 เมตร

**ตารางที่ 4.18** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.17 | 0.34 | 0.51 | 0.67 | 0.84 |
| 20 | 0.22 | 0.44 | 0.66 | 0.88 | 1.10 |
| 30 | 0.27 | 0.53 | 0.80 | 1.06 | 1.33 |
| 40 | 0.31 | 0.61 | 0.94 | 1.25 | 1.56 |
| 50 | 0.36 | 0.71 | 1.07 | 1.42 | 1.78 |
| 60 | 0.39 | 0.79 | 1.18 | 1.57 | 1.97 |
| 70 | 0.43 | 0.86 | 1.29 | 1.71 | 2.14 |
| 80 | 0.46 | 0.92 | 1.38 | 1.84 | 2.30 |
| 90 | 0.49 | 0.98 | 1.47 | 1.96 | 2.45 |
| 100 | 0.52 | 1.03 | 1.55 | 2.07 | 2.55 |
| 110 | 0.54 | 1.09 | 1.63 | 2.17 | 2.72 |
| 120 | 0.57 | 1.13 | 1.70 | 2.27 | 2.83 |

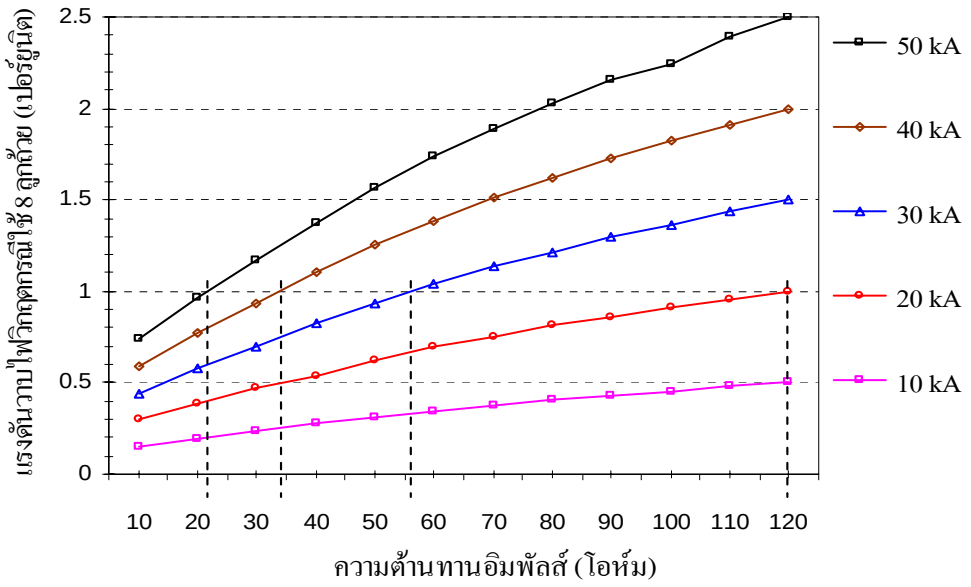



**รูปที่ 4.29** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.19 และรูปที่ 4.30 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 80 เมตร

**ตารางที่ 4.19** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.15 | 0.30 | 0.45 | 0.59 | 0.74 |
| 20 | 0.19 | 0.39 | 0.58 | 0.77 | 0.97 |
| 30 | 0.23 | 0.47 | 0.70 | 0.94 | 1.17 |
| 40 | 0.28 | 0.54 | 0.83 | 1.10 | 1.38 |
| 50 | 0.31 | 0.63 | 0.94 | 1.25 | 1.56 |
| 60 | 0.35 | 0.69 | 1.04 | 1.39 | 1.73 |
| 70 | 0.38 | 0.75 | 1.13 | 1.51 | 1.89 |
| 80 | 0.41 | 0.81 | 1.22 | 1.62 | 2.03 |
| 90 | 0.43 | 0.86 | 1.29 | 1.73 | 2.16 |
| 100 | 0.46 | 0.91 | 1.37 | 1.82 | 2.25 |
| 110 | 0.48 | 0.96 | 1.43 | 1.91 | 2.39 |
| 120 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 |

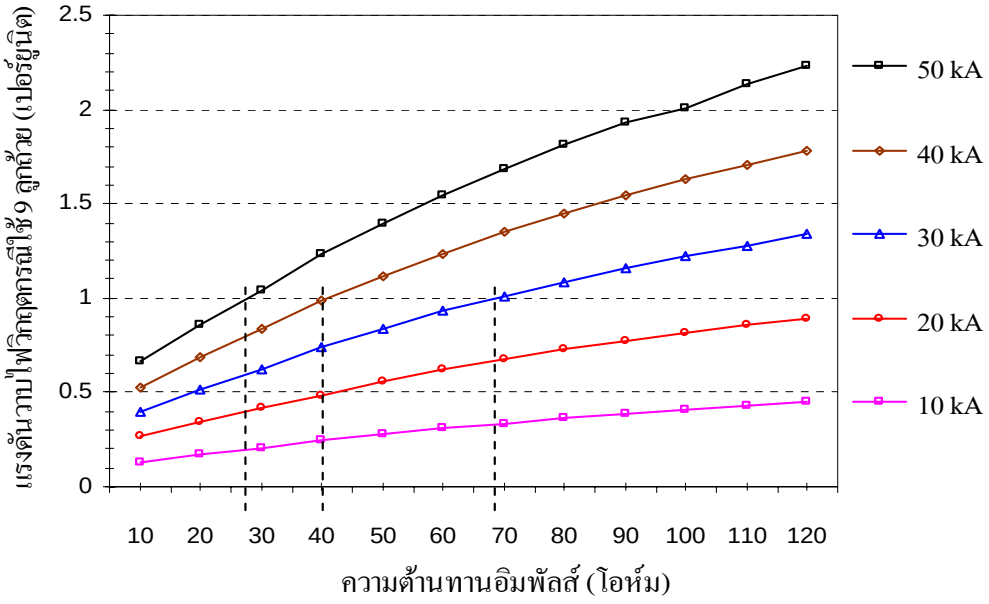



**รูปที่ 4.30** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.20 และรูปที่ 4.31 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 80 เมตร

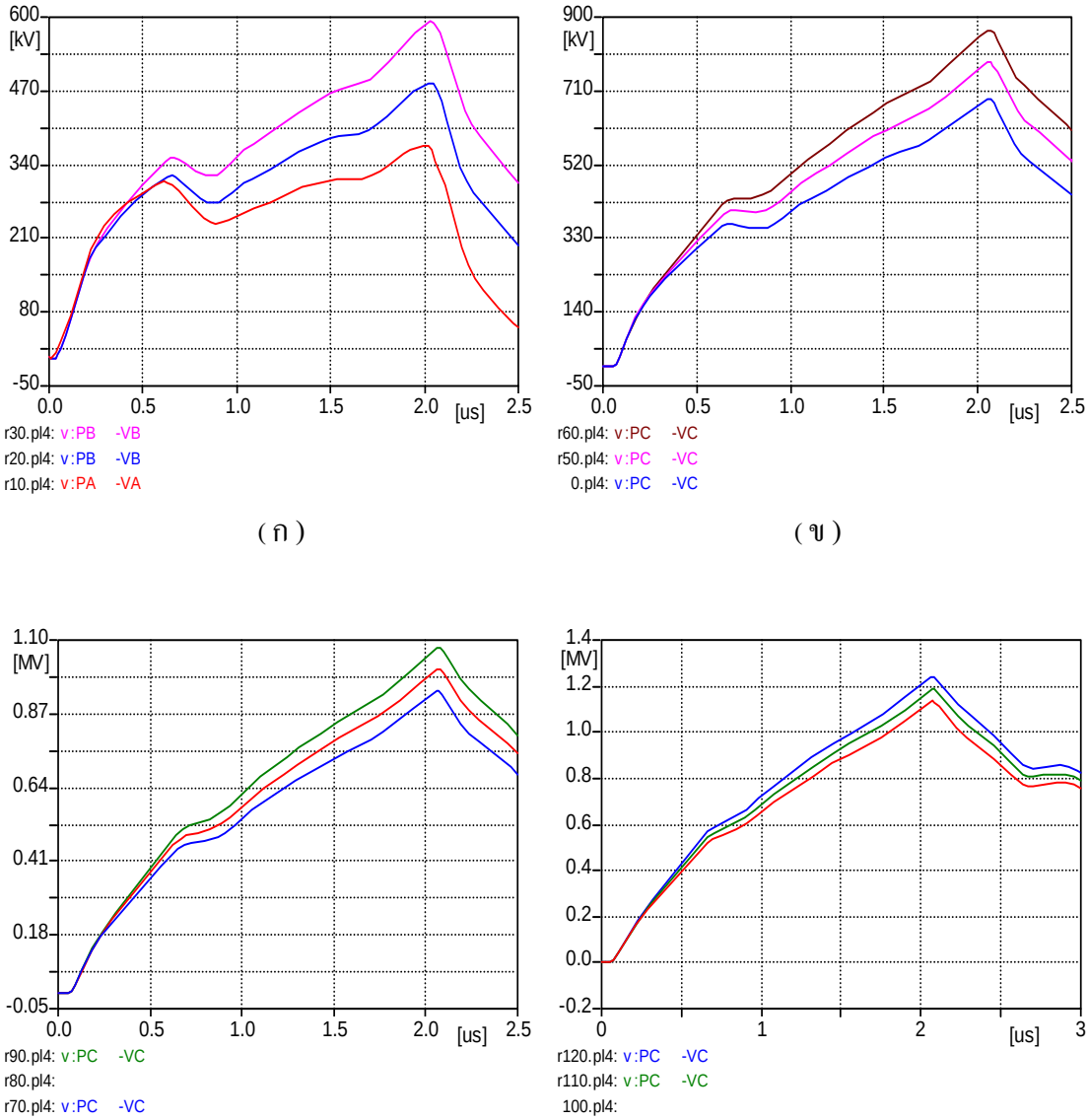
**ตารางที่ 4.20** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.13 | 0.27 | 0.40 | 0.53 | 0.66 |
| 20 | 0.17 | 0.34 | 0.52 | 0.69 | 0.86 |
| 30 | 0.21 | 0.42 | 0.63 | 0.84 | 1.04 |
| 40 | 0.25 | 0.48 | 0.74 | 0.98 | 1.23 |
| 50 | 0.28 | 0.56 | 0.84 | 1.12 | 1.40 |
| 60 | 0.31 | 0.62 | 0.93 | 1.24 | 1.55 |
| 70 | 0.34 | 0.67 | 1.01 | 1.35 | 1.69 |
| 80 | 0.36 | 0.72 | 1.09 | 1.45 | 1.81 |
| 90 | 0.39 | 0.77 | 1.16 | 1.54 | 1.93 |
| 100 | 0.41 | 0.81 | 1.22 | 1.63 | 2.01 |
| 110 | 0.43 | 0.85 | 1.28 | 1.71 | 2.14 |
| 120 | 0.45 | 0.89 | 1.34 | 1.78 | 2.23 |




**รูปที่ 4.31** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

จากรูปที่ 4.32 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 90 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP

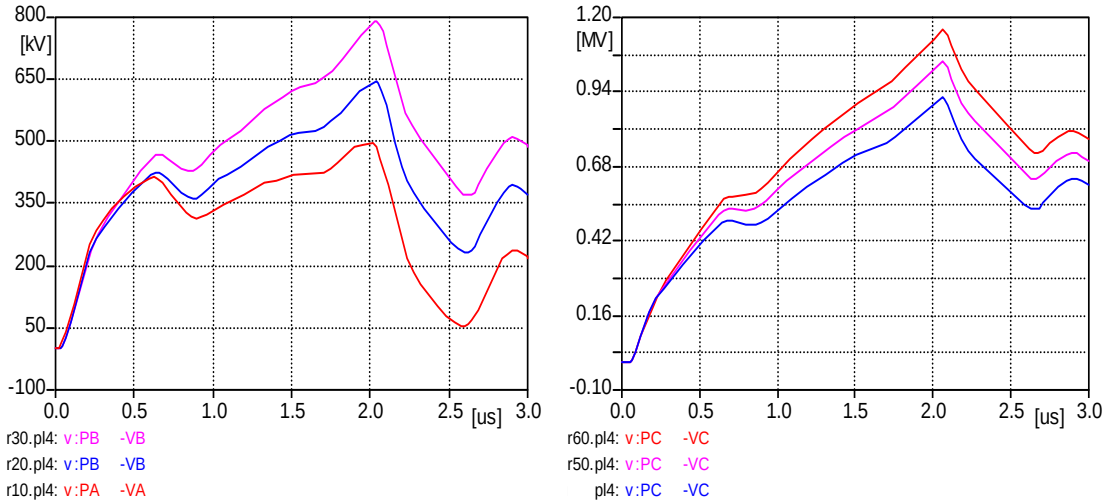



( ก ) ( ข )

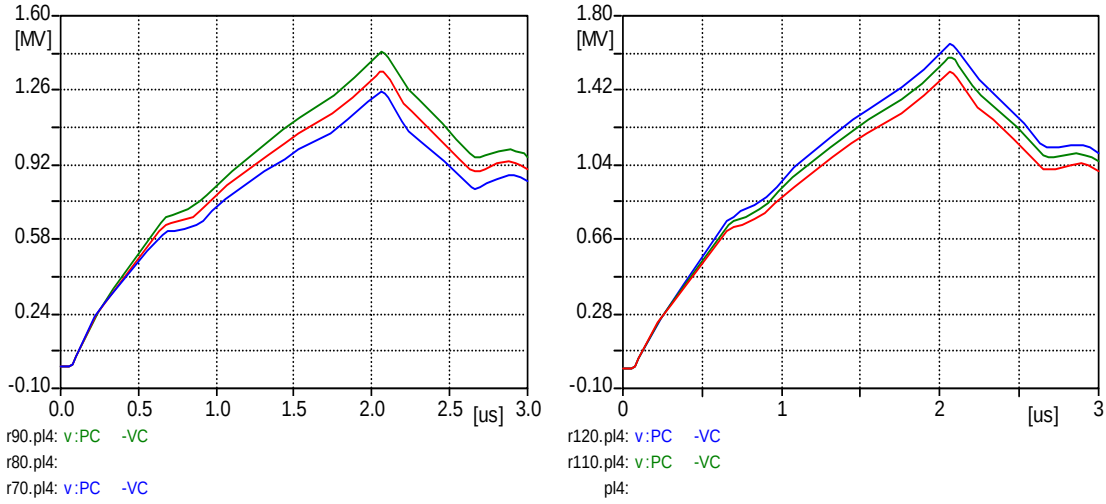
( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.32** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 90 เมตร

จากรูปที่ 4.33 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 90 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP



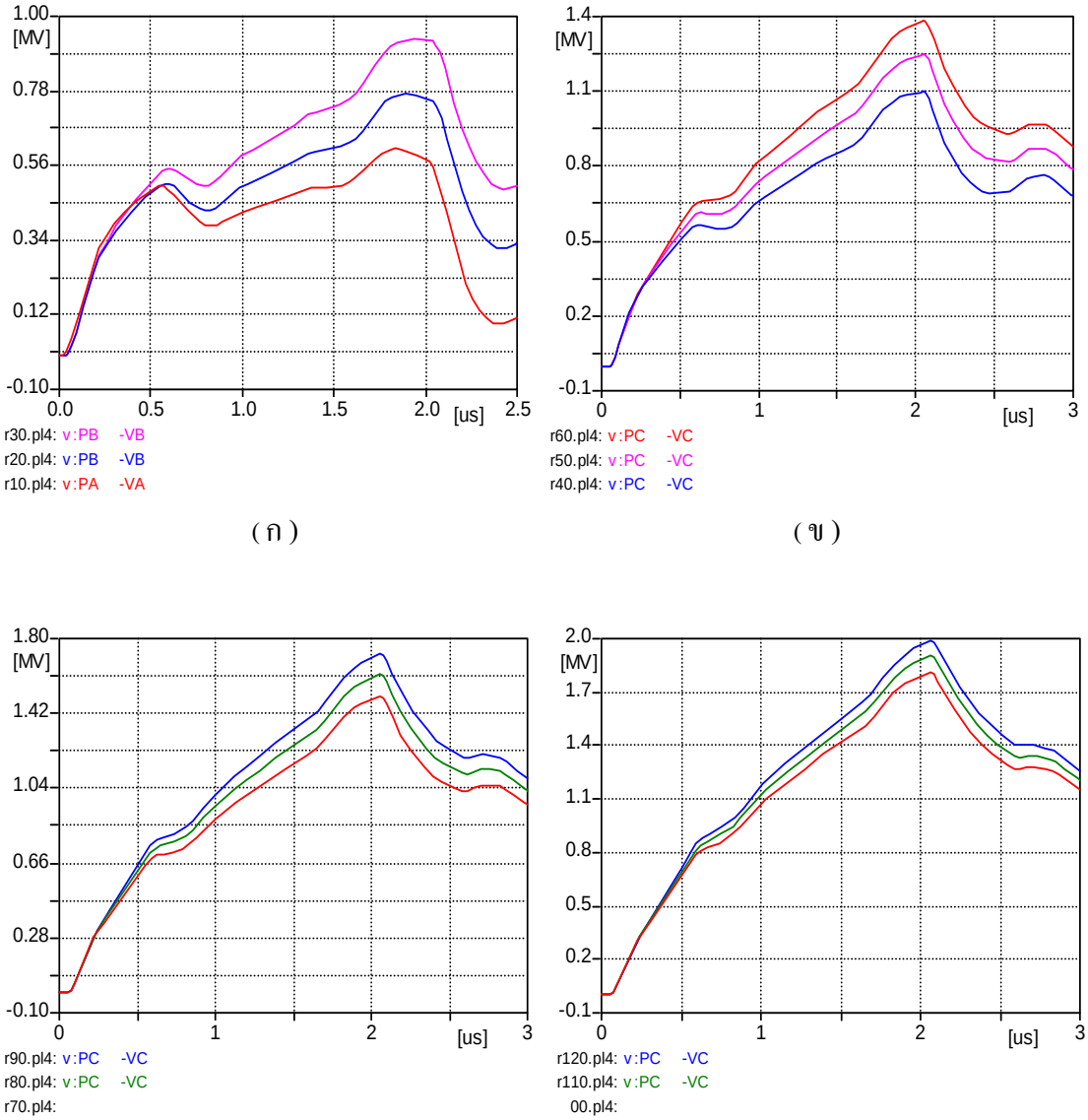

( ก ) ( ข )




( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.33** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 90 เมตร

จากรูปที่ 4.34 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 90 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.34** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 90 เมตร

จากตารางที่ 4.21 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 90 เมตร

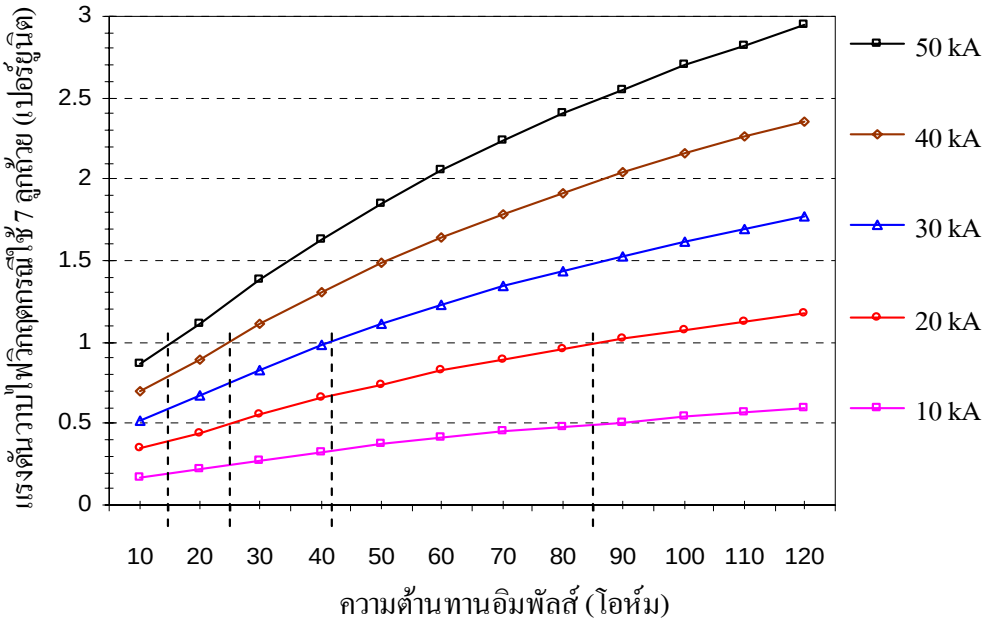
**ตารางที่ 4.21** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 90 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 121,631 | 243,263 | 364,894 | 486,525 | 608,157 |
| 20 | 156,441 | 312,881 | 469,322 | 625,763 | 782,204 |
| 30 | 194,612 | 389,223 | 583,835 | 778,447 | 973,059 |
| 40 | 229,338 | 458,677 | 688,015 | 917,353 | 1,146,690 |
| 50 | 260,612 | 521,225 | 781,837 | 1,042,450 | 1,303,060 |
| 60 | 288,772 | 577,544 | 866,316 | 1,155,090 | 1,443,860 |
| 70 | 313,992 | 627,983 | 941,975 | 1,255,970 | 1,569,960 |
| 80 | 337,116 | 674,231 | 1,011,350 | 1,348,460 | 1,685,580 |
| 90 | 358,440 | 716,881 | 1,075,320 | 1,433,760 | 1,792,200 |
| 100 | 378,235 | 756,469 | 1,134,700 | 1,512,940 | 1,898,050 |
| 110 | 396,711 | 793,421 | 1,190,130 | 1,586,840 | 1,983,550 |
| 120 | 414,028 | 828,055 | 1,242,080 | 1,656,110 | 2,070,140 |

จากตารางที่ 4.22 และรูปที่ 4.35 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 90 เมตร

**ตารางที่ 4.22** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.17 | 0.35 | 0.52 | 0.69 | 0.87 |
| 20 | 0.22 | 0.45 | 0.67 | 0.89 | 1.11 |
| 30 | 0.28 | 0.55 | 0.83 | 1.11 | 1.39 |
| 40 | 0.33 | 0.65 | 0.98 | 1.31 | 1.63 |
| 50 | 0.37 | 0.74 | 1.11 | 1.48 | 1.86 |
| 60 | 0.41 | 0.82 | 1.23 | 1.64 | 2.06 |
| 70 | 0.45 | 0.89 | 1.34 | 1.79 | 2.24 |
| 80 | 0.48 | 0.96 | 1.44 | 1.92 | 2.40 |
| 90 | 0.51 | 1.02 | 1.53 | 2.04 | 2.55 |
| 100 | 0.54 | 1.08 | 1.62 | 2.15 | 2.70 |
| 110 | 0.56 | 1.13 | 1.69 | 2.26 | 2.82 |
| 120 | 0.59 | 1.18 | 1.77 | 2.36 | 2.95 |

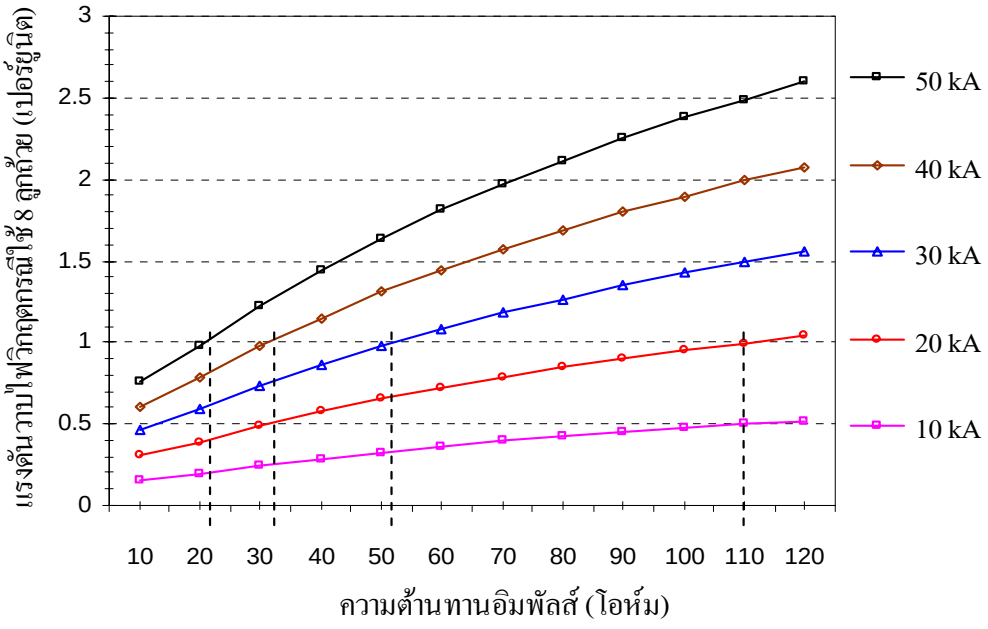



**รูปที่ 4.35** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.23 และรูปที่ 4.36 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 90 เมตร

**ตารางที่ 4.23** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.61 | 0.76 |
| 20 | 0.20 | 0.39 | 0.59 | 0.78 | 0.98 |
| 30 | 0.24 | 0.49 | 0.73 | 0.98 | 1.22 |
| 40 | 0.29 | 0.58 | 0.86 | 1.15 | 1.44 |
| 50 | 0.33 | 0.65 | 0.98 | 1.31 | 1.63 |
| 60 | 0.36 | 0.72 | 1.09 | 1.45 | 1.81 |
| 70 | 0.39 | 0.79 | 1.18 | 1.57 | 1.97 |
| 80 | 0.42 | 0.85 | 1.27 | 1.69 | 2.11 |
| 90 | 0.45 | 0.90 | 1.35 | 1.80 | 2.25 |
| 100 | 0.47 | 0.95 | 1.42 | 1.90 | 2.38 |
| 110 | 0.50 | 0.99 | 1.49 | 1.99 | 2.49 |
| 120 | 0.52 | 1.04 | 1.56 | 2.08 | 2.60 |

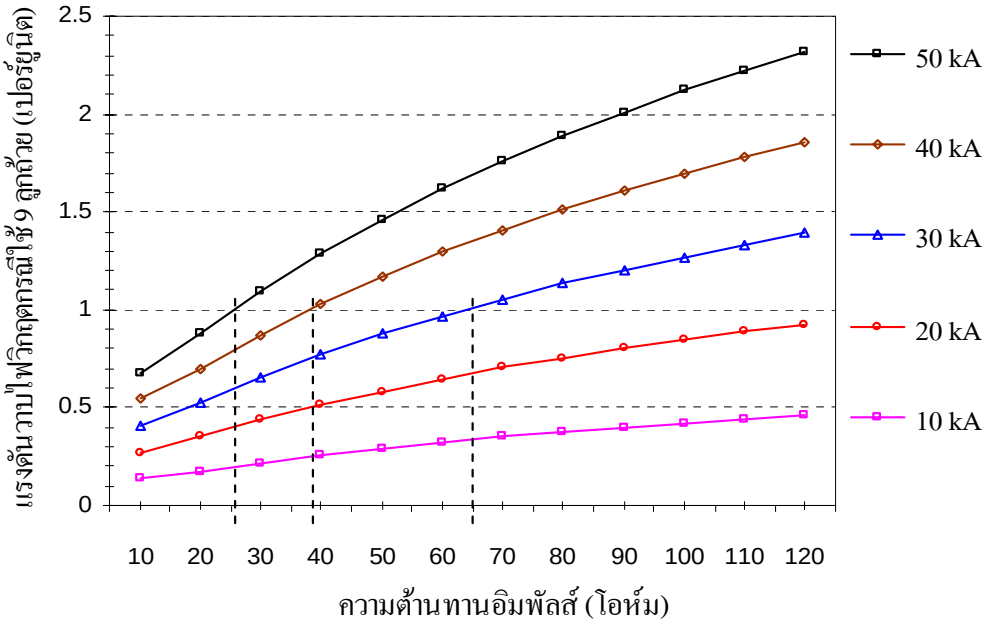



**รูปที่ 4.36** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.24 และรูปที่ 4.37 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 90 เมตร

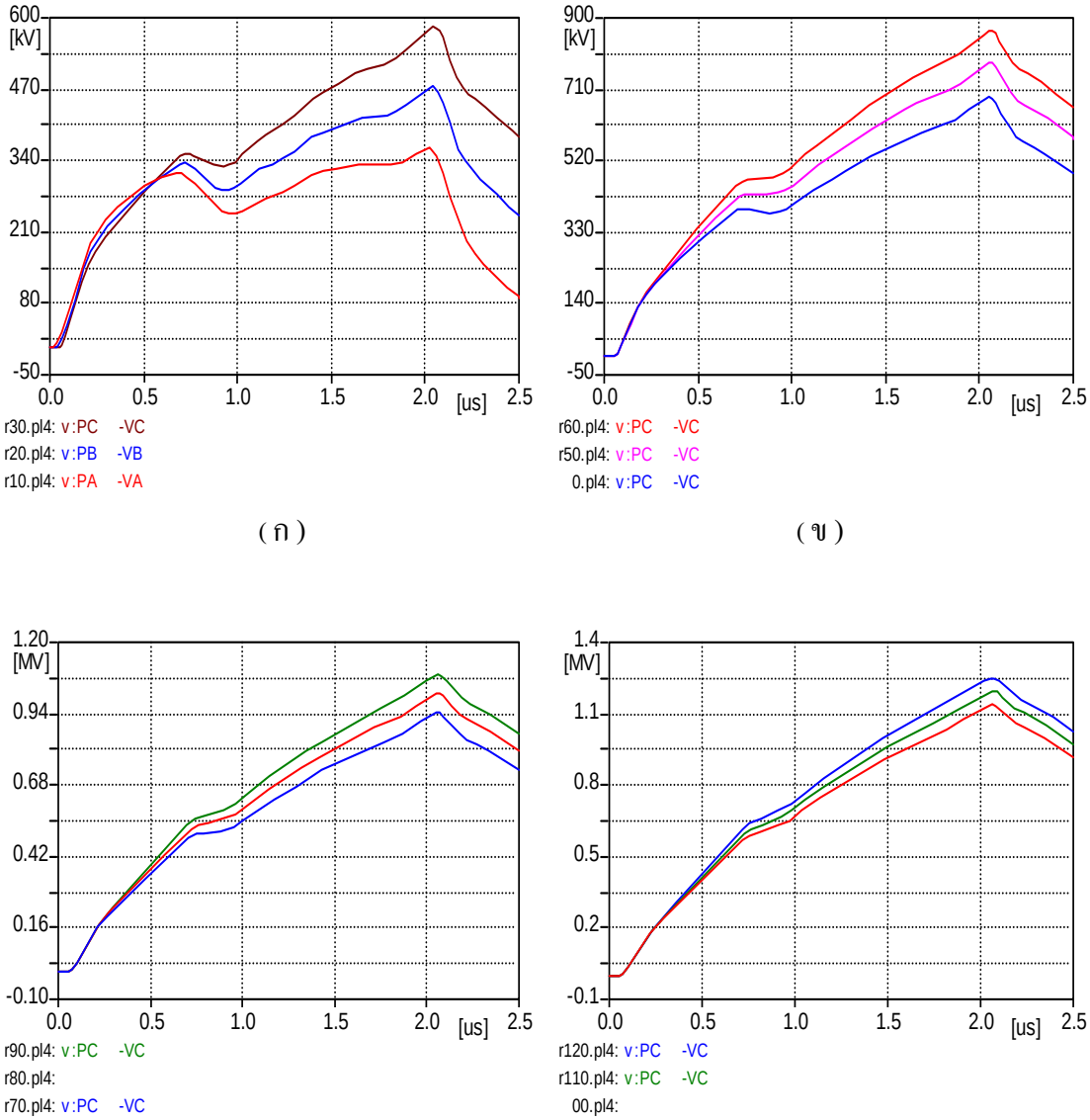
**ตารางที่ 4.24** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.14 | 0.27 | 0.41 | 0.54 | 0.68 |
| 20 | 0.18 | 0.35 | 0.53 | 0.70 | 0.88 |
| 30 | 0.22 | 0.44 | 0.65 | 0.87 | 1.09 |
| 40 | 0.26 | 0.51 | 0.77 | 1.03 | 1.28 |
| 50 | 0.29 | 0.58 | 0.88 | 1.17 | 1.46 |
| 60 | 0.32 | 0.65 | 0.97 | 1.29 | 1.62 |
| 70 | 0.35 | 0.70 | 1.06 | 1.41 | 1.76 |
| 80 | 0.38 | 0.76 | 1.13 | 1.51 | 1.89 |
| 90 | 0.40 | 0.80 | 1.20 | 1.61 | 2.01 |
| 100 | 0.42 | 0.85 | 1.27 | 1.69 | 2.13 |
| 110 | 0.44 | 0.89 | 1.33 | 1.78 | 2.22 |
| 120 | 0.46 | 0.93 | 1.39 | 1.86 | 2.32 |




**รูปที่ 4.37** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

จากรูปที่ 4.38 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 100 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP

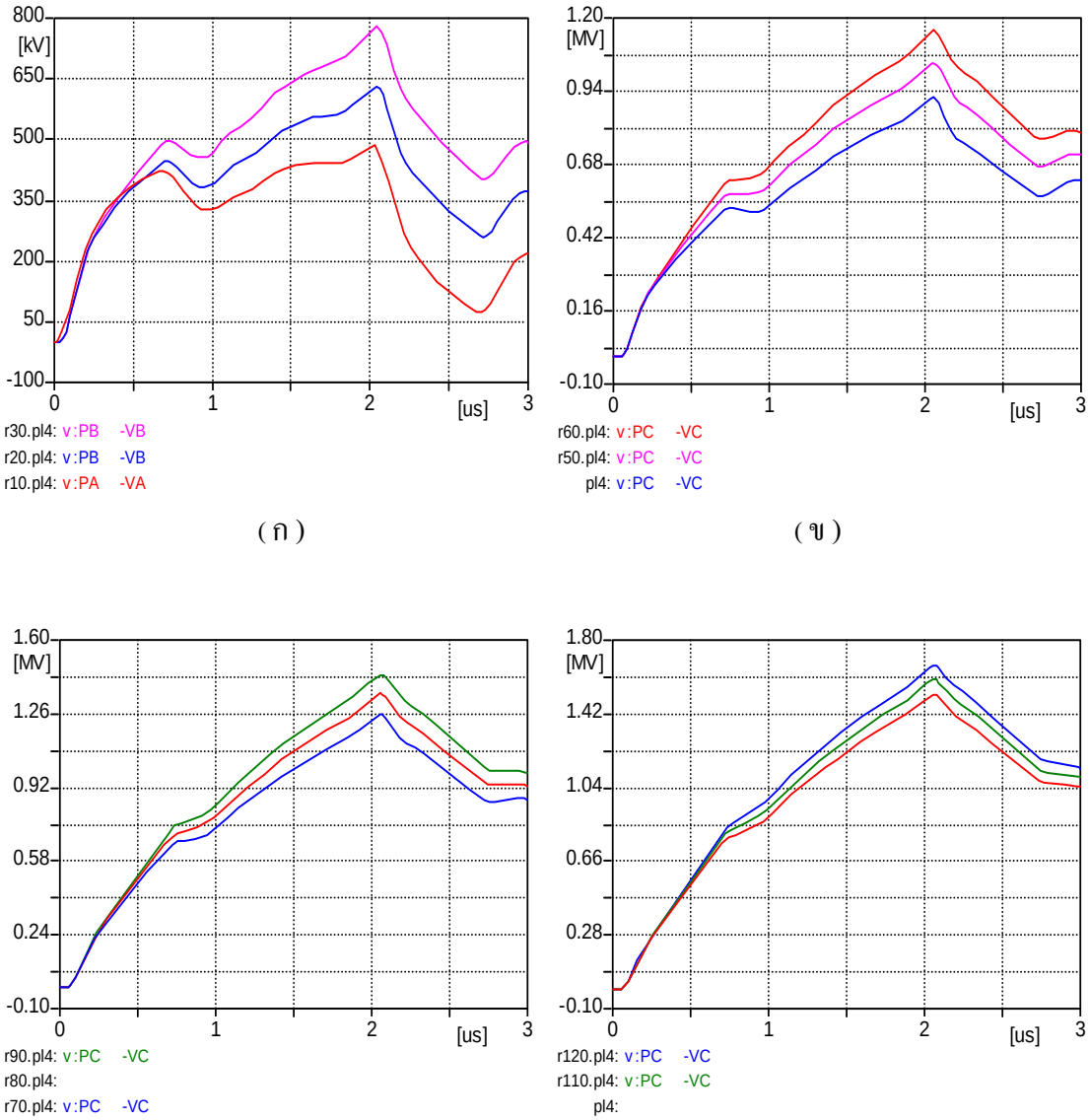



( ก ) ( ข )

( ค ) ( ง )

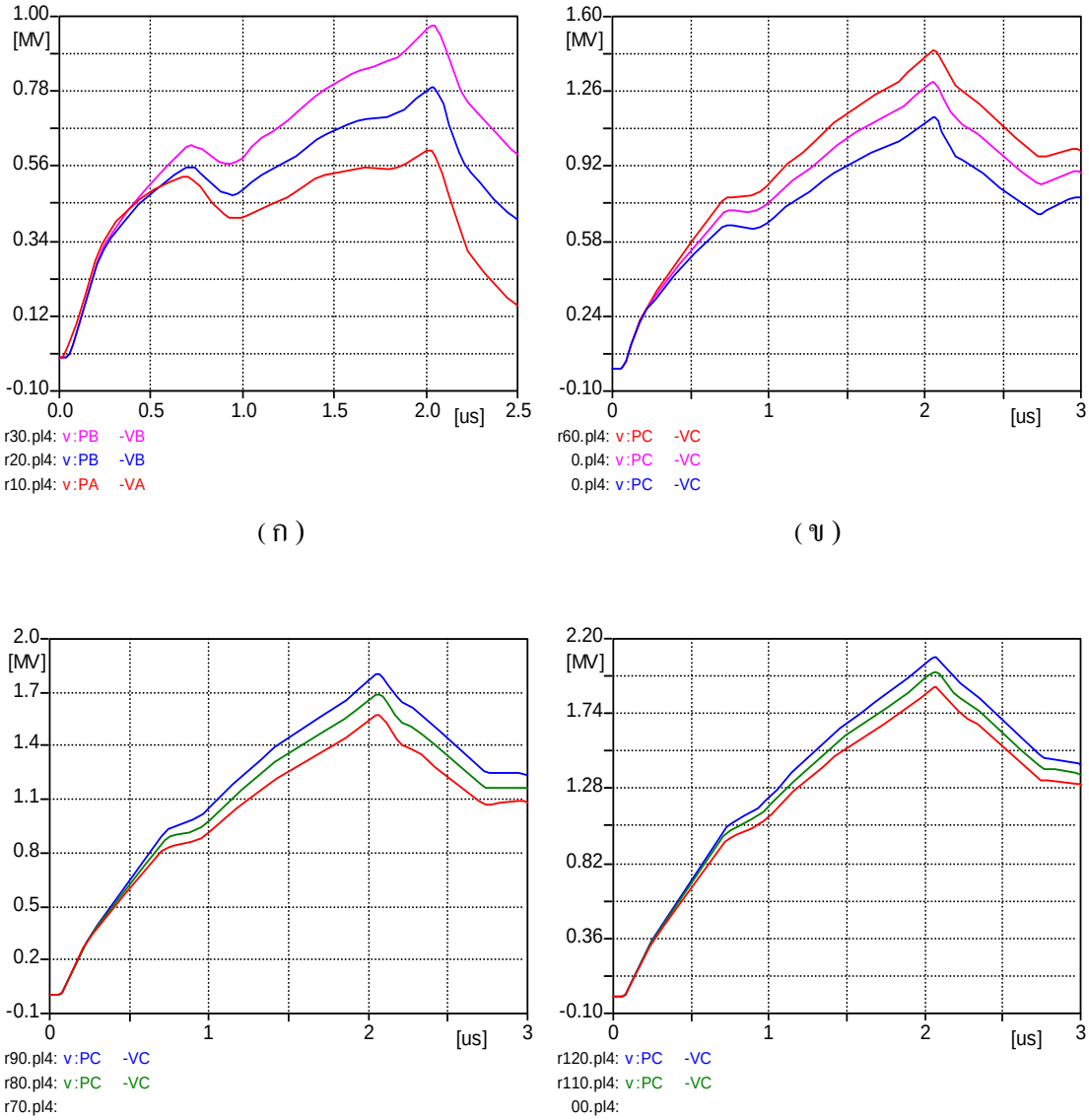
**รูปที่ 4.38** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 100 เมตร

จากรูปที่ 4.39 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 100 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.39** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 100 เมตร

จากรูปที่ 4.40 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 100 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.40** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 100 เมตร

จากตารางที่ 4.25 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 100 เมตร

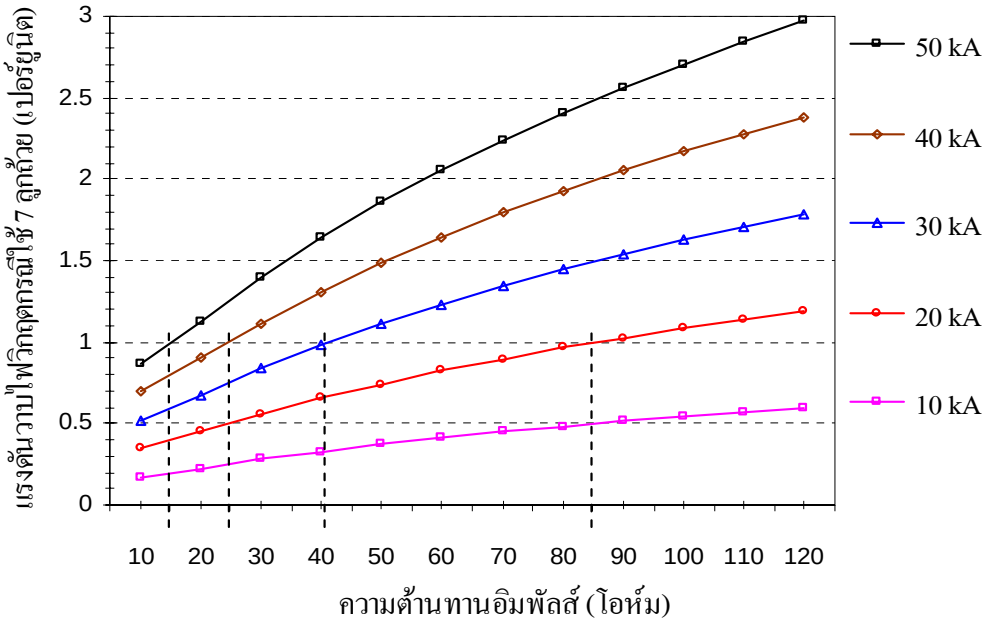
**ตารางที่ 4.25** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 100 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 121,837 | 243,674 | 365,511 | 487,348 | 609,185 |
| 20 | 158,500 | 317,001 | 475,501 | 634,001 | 792,502 |
| 30 | 195,569 | 391,138 | 586,708 | 782,277 | 977,846 |
| 40 | 230,325 | 460,651 | 690,976 | 921,301 | 1,151,630 |
| 50 | 261,043 | 522,086 | 783,130 | 1,044,170 | 1,305,220 |
| 60 | 288,907 | 577,814 | 866,721 | 1,155,630 | 1,444,540 |
| 70 | 314,681 | 629,361 | 944,042 | 1,258,720 | 1,573,400 |
| 80 | 338,347 | 676,693 | 1,015,040 | 1,353,390 | 1,691,730 |
| 90 | 360,190 | 720,380 | 1,080,570 | 1,440,760 | 1,800,950 |
| 100 | 380,479 | 760,957 | 1,141,440 | 1,521,910 | 1,902,390 |
| 110 | 399,419 | 798,838 | 1,198,260 | 1,597,680 | 1,997,090 |
| 120 | 417,172 | 834,344 | 1,251,520 | 1,668,690 | 2,085,860 |

จากตารางที่ 4.26 และรูปที่ 4.41 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 100 เมตร

**ตารางที่ 4.26** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.17 | 0.35 | 0.52 | 0.69 | 0.87 |
| 20 | 0.23 | 0.45 | 0.68 | 0.90 | 1.13 |
| 30 | 0.28 | 0.56 | 0.84 | 1.11 | 1.39 |
| 40 | 0.33 | 0.66 | 0.98 | 1.31 | 1.64 |
| 50 | 0.37 | 0.74 | 1.12 | 1.49 | 1.86 |
| 60 | 0.41 | 0.82 | 1.23 | 1.65 | 2.06 |
| 70 | 0.45 | 0.90 | 1.34 | 1.79 | 2.24 |
| 80 | 0.48 | 0.96 | 1.45 | 1.93 | 2.41 |
| 90 | 0.51 | 1.03 | 1.54 | 2.05 | 2.56 |
| 100 | 0.54 | 1.08 | 1.63 | 2.17 | 2.71 |
| 110 | 0.57 | 1.14 | 1.71 | 2.28 | 2.84 |
| 120 | 0.59 | 1.19 | 1.78 | 2.38 | 2.97 |

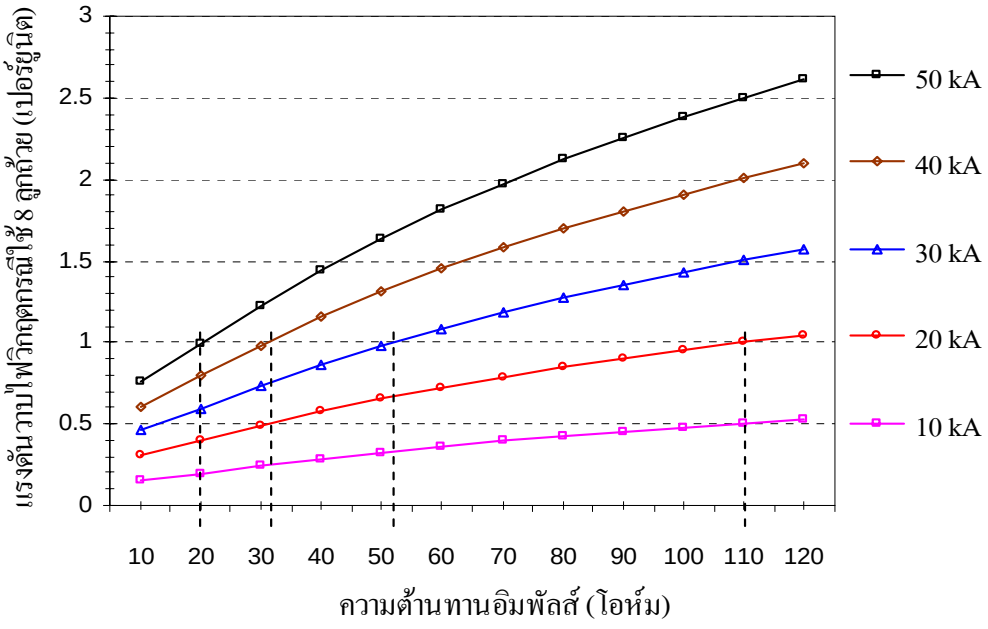



**รูปที่ 4.41** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.27 และรูปที่ 4.42 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 100 เมตร

**ตารางที่ 4.27** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.61 | 0.76 |
| 20 | 0.20 | 0.40 | 0.60 | 0.79 | 0.99 |
| 30 | 0.25 | 0.49 | 0.74 | 0.98 | 1.23 |
| 40 | 0.29 | 0.58 | 0.87 | 1.16 | 1.44 |
| 50 | 0.33 | 0.65 | 0.98 | 1.31 | 1.64 |
| 60 | 0.36 | 0.72 | 1.09 | 1.45 | 1.81 |
| 70 | 0.39 | 0.79 | 1.18 | 1.58 | 1.97 |
| 80 | 0.42 | 0.85 | 1.27 | 1.70 | 2.12 |
| 90 | 0.45 | 0.90 | 1.35 | 1.81 | 2.26 |
| 100 | 0.48 | 0.95 | 1.43 | 1.91 | 2.39 |
| 110 | 0.50 | 1.00 | 1.50 | 2.00 | 2.50 |
| 120 | 0.52 | 1.05 | 1.57 | 2.09 | 2.62 |

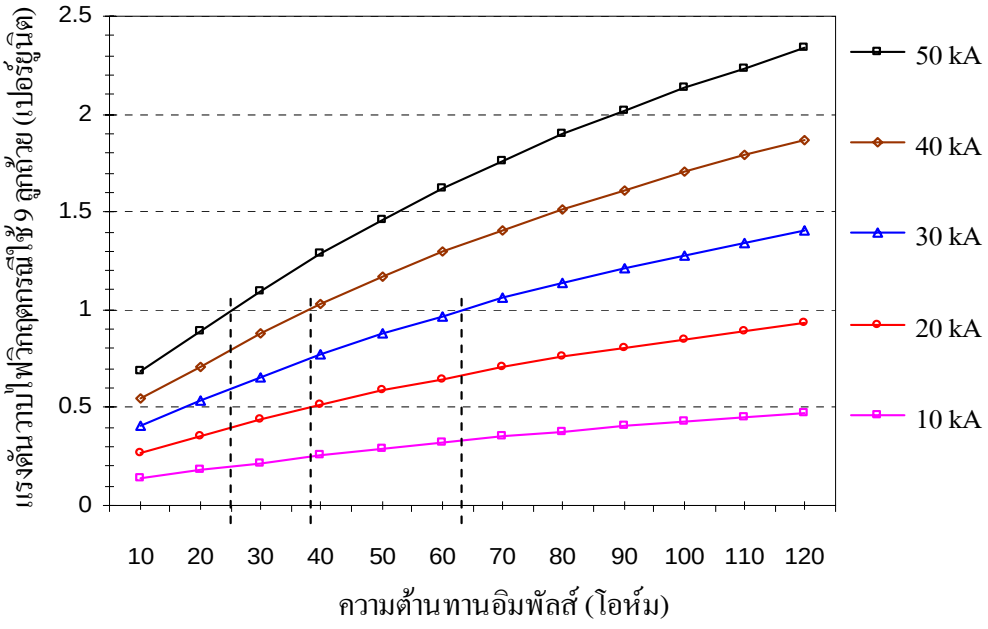



**รูปที่ 4.42** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.28 และรูปที่ 4.43 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 100 เมตร

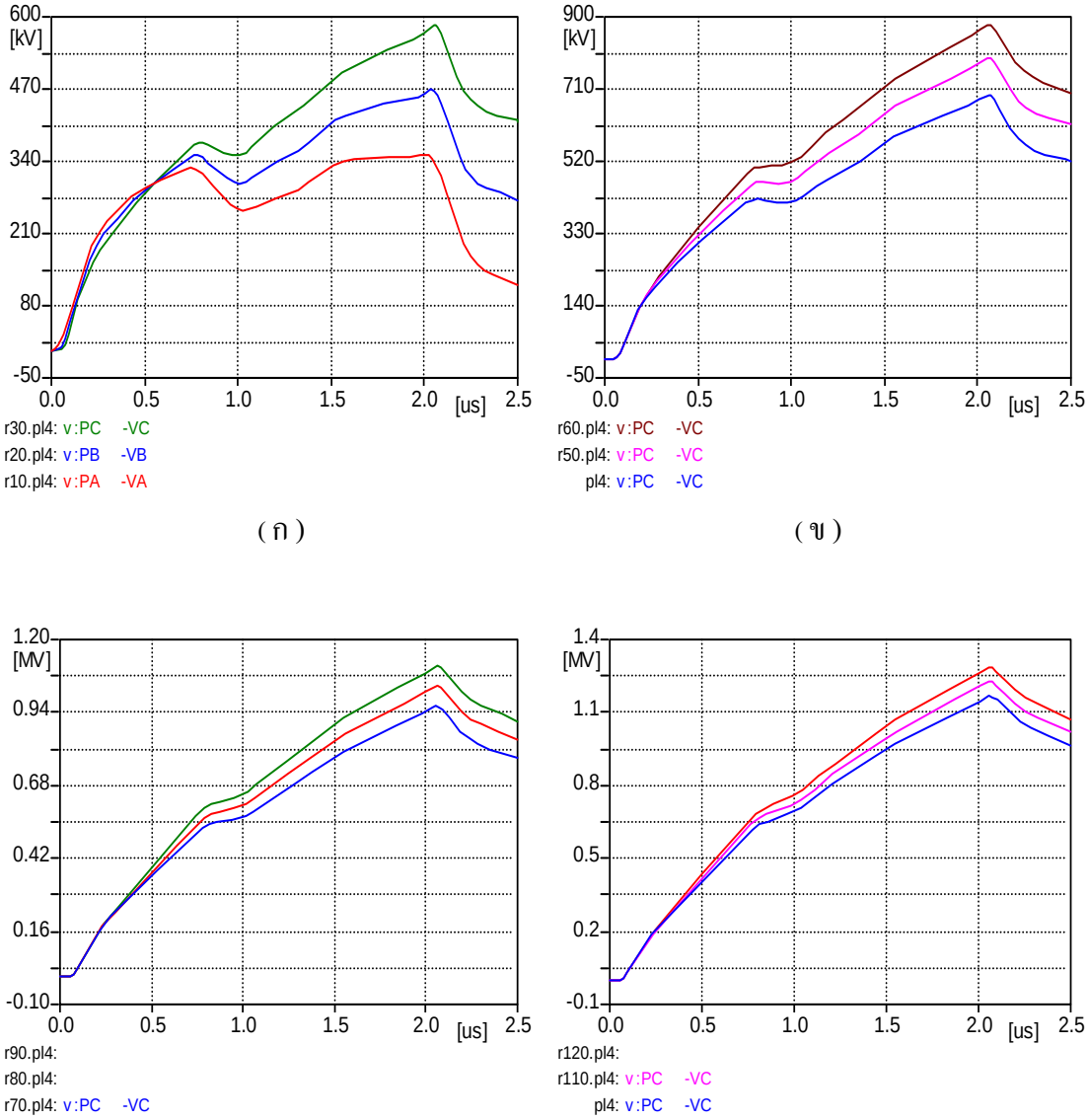
**ตารางที่ 4.28** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.14 | 0.27 | 0.41 | 0.55 | 0.68 |
| 20 | 0.18 | 0.36 | 0.53 | 0.71 | 0.89 |
| 30 | 0.22 | 0.44 | 0.66 | 0.88 | 1.10 |
| 40 | 0.26 | 0.52 | 0.77 | 1.03 | 1.29 |
| 50 | 0.29 | 0.58 | 0.88 | 1.17 | 1.46 |
| 60 | 0.32 | 0.65 | 0.97 | 1.29 | 1.62 |
| 70 | 0.35 | 0.70 | 1.06 | 1.41 | 1.76 |
| 80 | 0.38 | 0.76 | 1.14 | 1.52 | 1.89 |
| 90 | 0.40 | 0.81 | 1.21 | 1.61 | 2.02 |
| 100 | 0.43 | 0.85 | 1.28 | 1.70 | 2.13 |
| 110 | 0.45 | 0.89 | 1.34 | 1.79 | 2.24 |
| 120 | 0.47 | 0.93 | 1.40 | 1.87 | 2.34 |



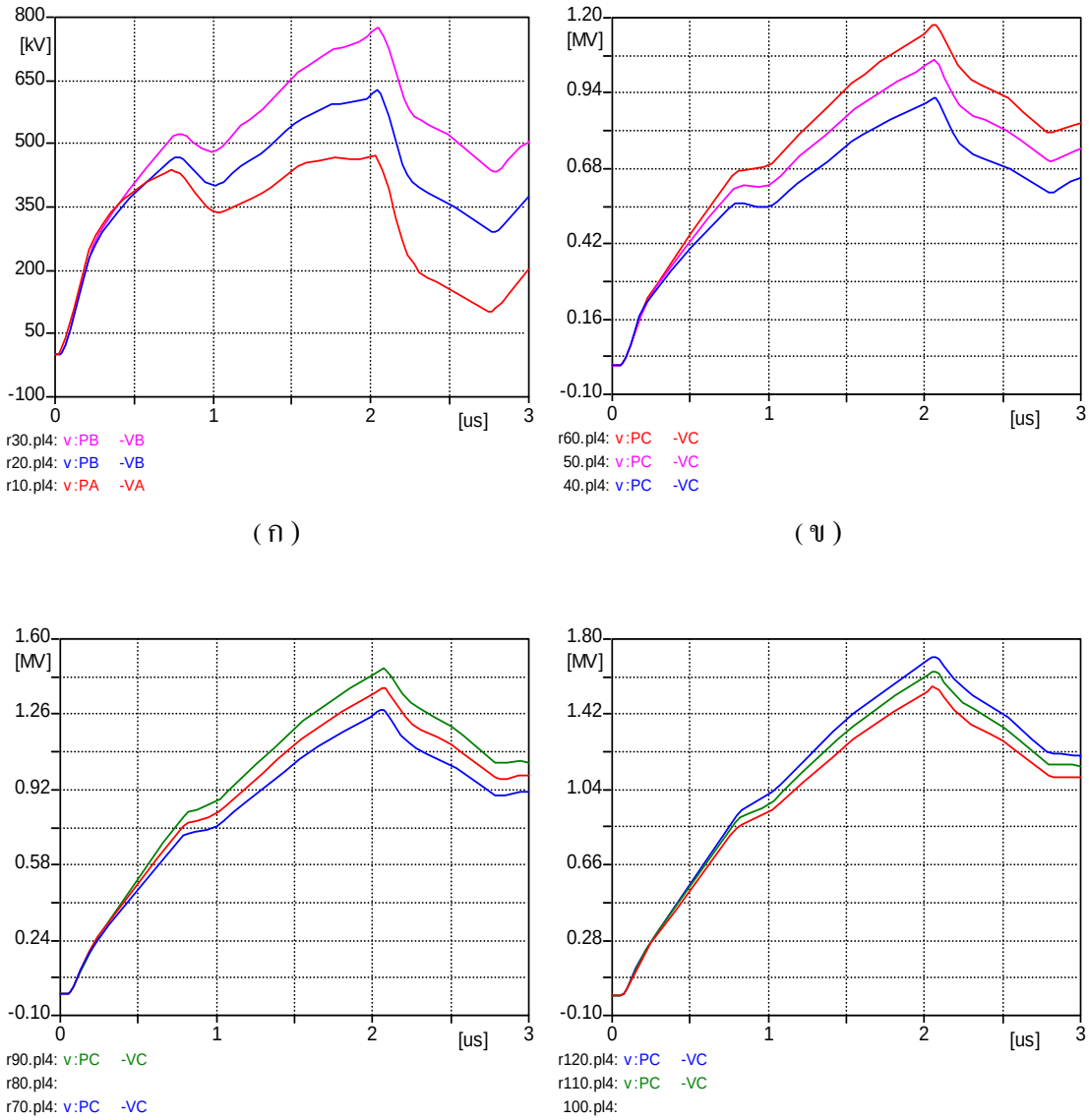

**รูปที่ 4.43** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

จากรูปที่ 4.44 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 110 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.44** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 110 เมตร

จากรูปที่ 4.45 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 110 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP

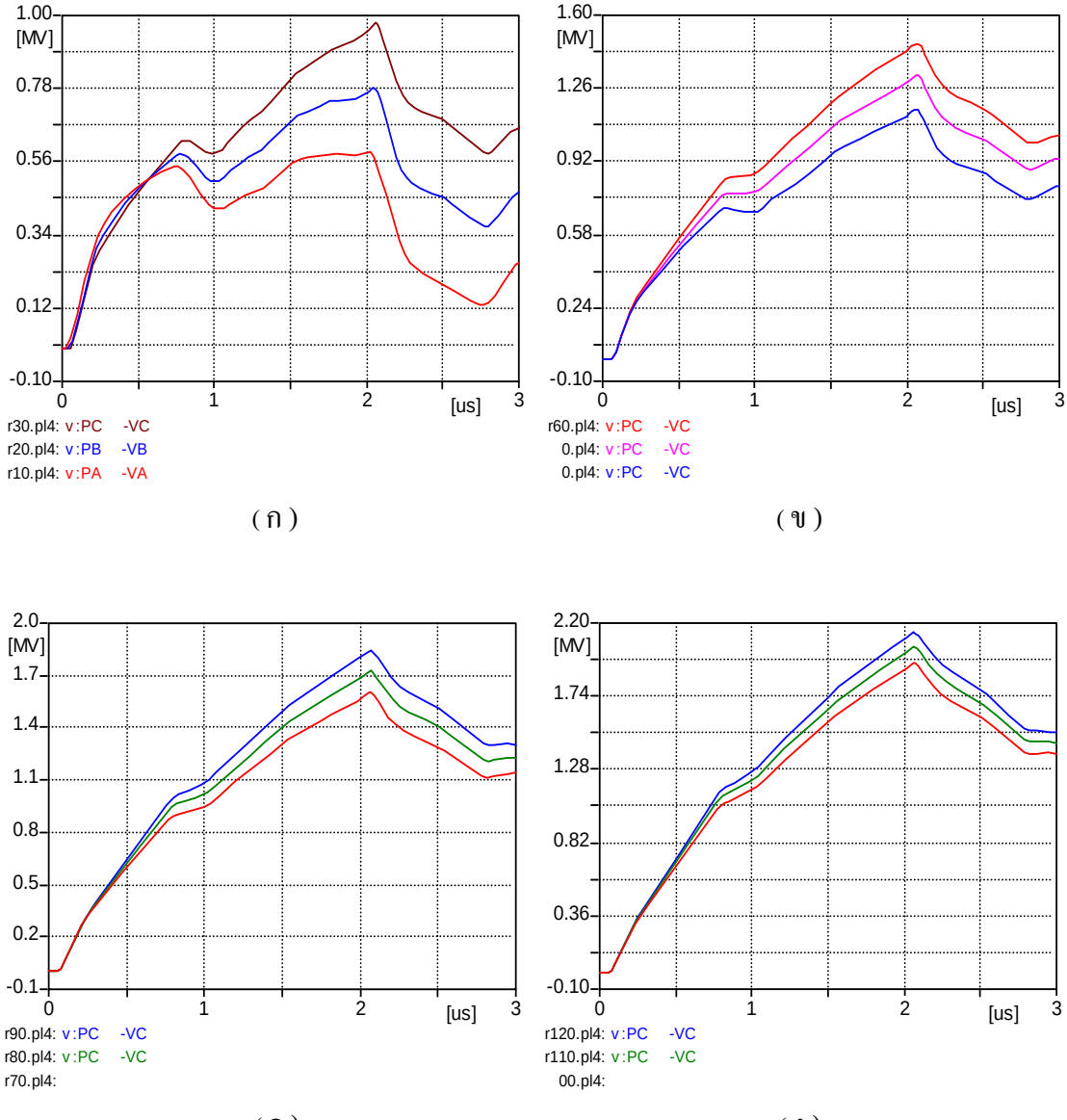



( ก ) ( ข )

( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.45** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 110 เมตร

จากรูปที่ 4.46 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 110 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




( ก ) ( ข )

( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.46** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 110 เมตร

จากตารางที่ 4.29 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 110 เมตร

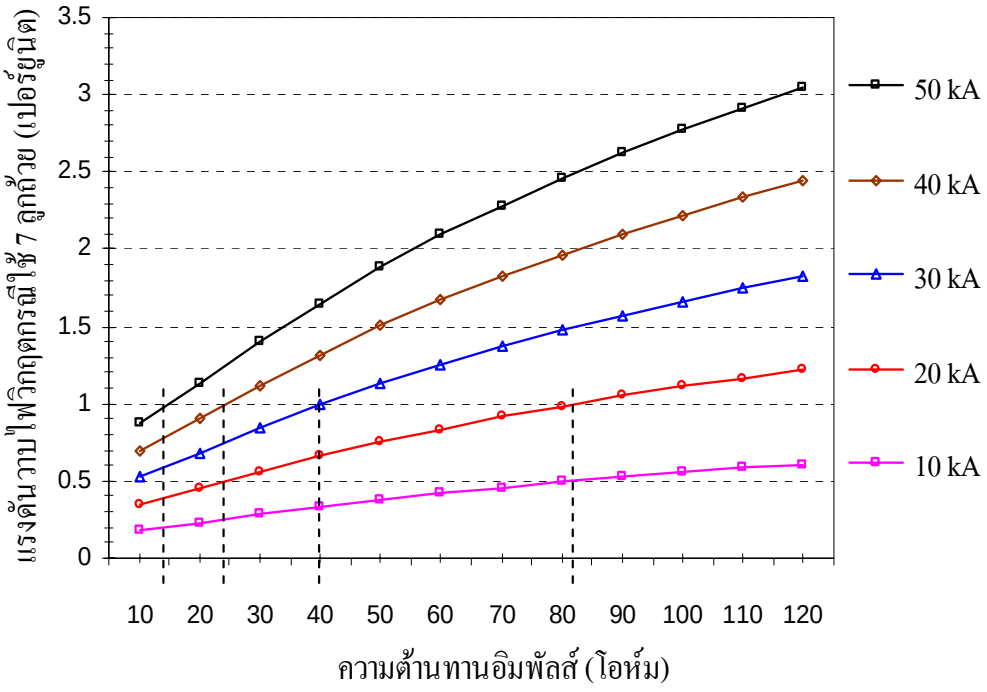
**ตารางที่ 4.29** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 110 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 122,058 | 244,116 | 366,174 | 488,232 | 610,290 |
| 20 | 159,543 | 319,085 | 478,628 | 638,170 | 797,713 |
| 30 | 197,224 | 394,448 | 591,672 | 788,896 | 986,120 |
| 40 | 231,726 | 463,451 | 695,177 | 926,903 | 1,158,630 |
| 50 | 264,259 | 528,518 | 792,776 | 1,057,040 | 1,321,290 |
| 60 | 293,738 | 587,475 | 881,213 | 1,174,950 | 1,468,690 |
| 70 | 320,641 | 641,282 | 961,922 | 1,282,560 | 1,603,200 |
| 80 | 345,370 | 690,739 | 1,036,110 | 1,381,480 | 1,726,850 |
| 90 | 368,219 | 736,438 | 1,104,660 | 1,472,880 | 1,841,090 |
| 100 | 389,444 | 778,888 | 1,168,330 | 1,557,780 | 1,947,220 |
| 110 | 409,255 | 818,511 | 1,227,770 | 1,637,020 | 2,046,280 |
| 120 | 427,827 | 855,654 | 1,283,480 | 1,711,310 | 2,139,140 |

จากตารางที่ 4.30 และรูปที่ 4.47 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 110 เมตร

**ตารางที่ 4.30** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.17 | 0.35 | 0.52 | 0.70 | 0.87 |
| 20 | 0.23 | 0.45 | 0.68 | 0.91 | 1.14 |
| 30 | 0.28 | 0.56 | 0.84 | 1.12 | 1.40 |
| 40 | 0.33 | 0.66 | 0.99 | 1.32 | 1.65 |
| 50 | 0.38 | 0.75 | 1.13 | 1.51 | 1.88 |
| 60 | 0.42 | 0.84 | 1.25 | 1.67 | 2.09 |
| 70 | 0.46 | 0.91 | 1.37 | 1.83 | 2.28 |
| 80 | 0.49 | 0.98 | 1.48 | 1.97 | 2.46 |
| 90 | 0.52 | 1.05 | 1.57 | 2.10 | 2.62 |
| 100 | 0.55 | 1.11 | 1.66 | 2.22 | 2.77 |
| 110 | 0.58 | 1.17 | 1.75 | 2.33 | 2.91 |
| 120 | 0.61 | 1.22 | 1.83 | 2.44 | 3.05 |

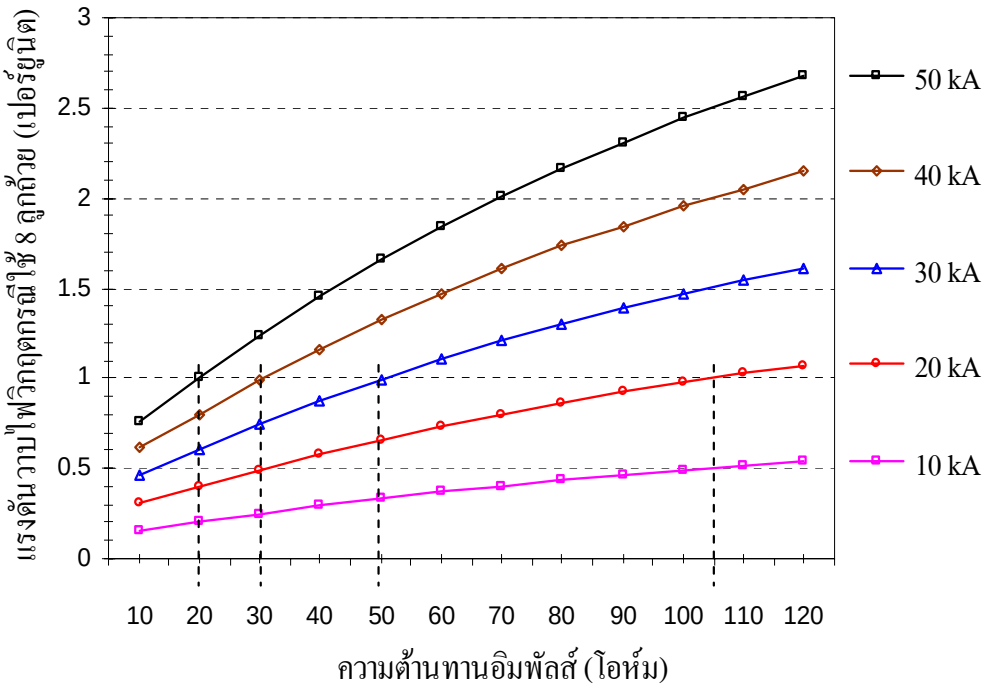



**รูปที่ 4.47** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.31 และรูปที่ 4.48 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 110 เมตร

**ตารางที่ 4.31** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.15 | 0.31 | 0.46 | 0.61 | 0.77 |
| 20 | 0.20 | 0.40 | 0.60 | 0.80 | 1.00 |
| 30 | 0.25 | 0.49 | 0.74 | 0.99 | 1.24 |
| 40 | 0.29 | 0.58 | 0.87 | 1.16 | 1.45 |
| 50 | 0.33 | 0.66 | 0.99 | 1.33 | 1.66 |
| 60 | 0.37 | 0.74 | 1.10 | 1.47 | 1.84 |
| 70 | 0.40 | 0.80 | 1.21 | 1.61 | 2.01 |
| 80 | 0.43 | 0.87 | 1.30 | 1.73 | 2.17 |
| 90 | 0.46 | 0.92 | 1.39 | 1.85 | 2.31 |
| 100 | 0.49 | 0.98 | 1.46 | 1.95 | 2.44 |
| 110 | 0.51 | 1.03 | 1.54 | 2.05 | 2.57 |
| 120 | 0.54 | 1.07 | 1.61 | 2.15 | 2.68 |

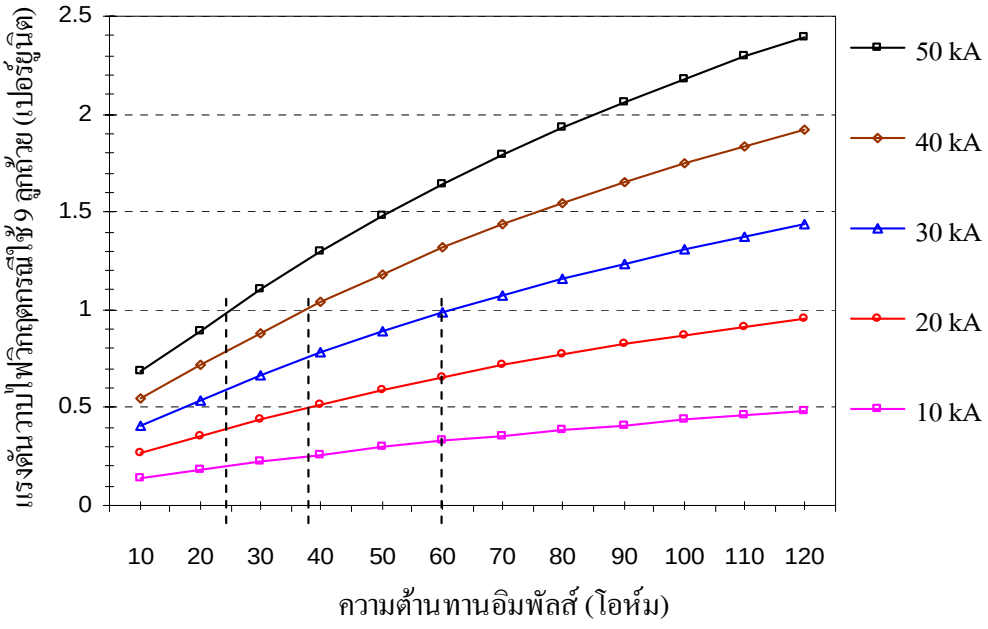



**รูปที่ 4.48** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.32 และรูปที่ 4.49 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 110 เมตร

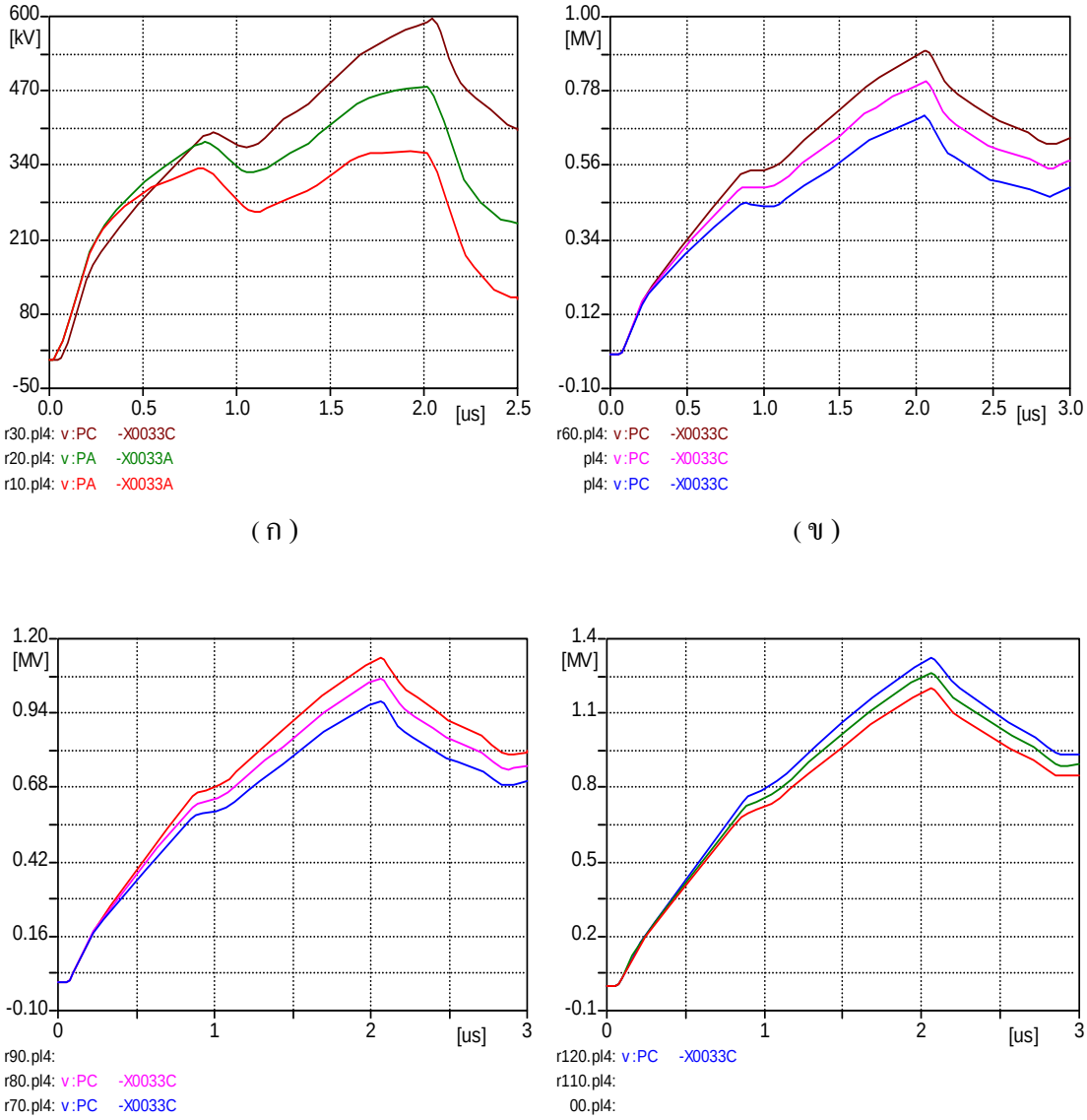
**ตารางที่ 4.32** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.14 | 0.27 | 0.41 | 0.55 | 0.68 |
| 20 | 0.18 | 0.36 | 0.54 | 0.71 | 0.89 |
| 30 | 0.22 | 0.44 | 0.66 | 0.88 | 1.10 |
| 40 | 0.26 | 0.52 | 0.78 | 1.04 | 1.30 |
| 50 | 0.30 | 0.59 | 0.89 | 1.18 | 1.48 |
| 60 | 0.33 | 0.66 | 0.99 | 1.32 | 1.65 |
| 70 | 0.36 | 0.72 | 1.08 | 1.44 | 1.80 |
| 80 | 0.39 | 0.77 | 1.16 | 1.55 | 1.93 |
| 90 | 0.41 | 0.82 | 1.24 | 1.65 | 2.06 |
| 100 | 0.44 | 0.87 | 1.31 | 1.74 | 2.18 |
| 110 | 0.46 | 0.92 | 1.38 | 1.83 | 2.29 |
| 120 | 0.48 | 0.96 | 1.44 | 1.92 | 2.40 |




**รูปที่ 4.49** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

จากรูปที่ 4.50 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 120 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP

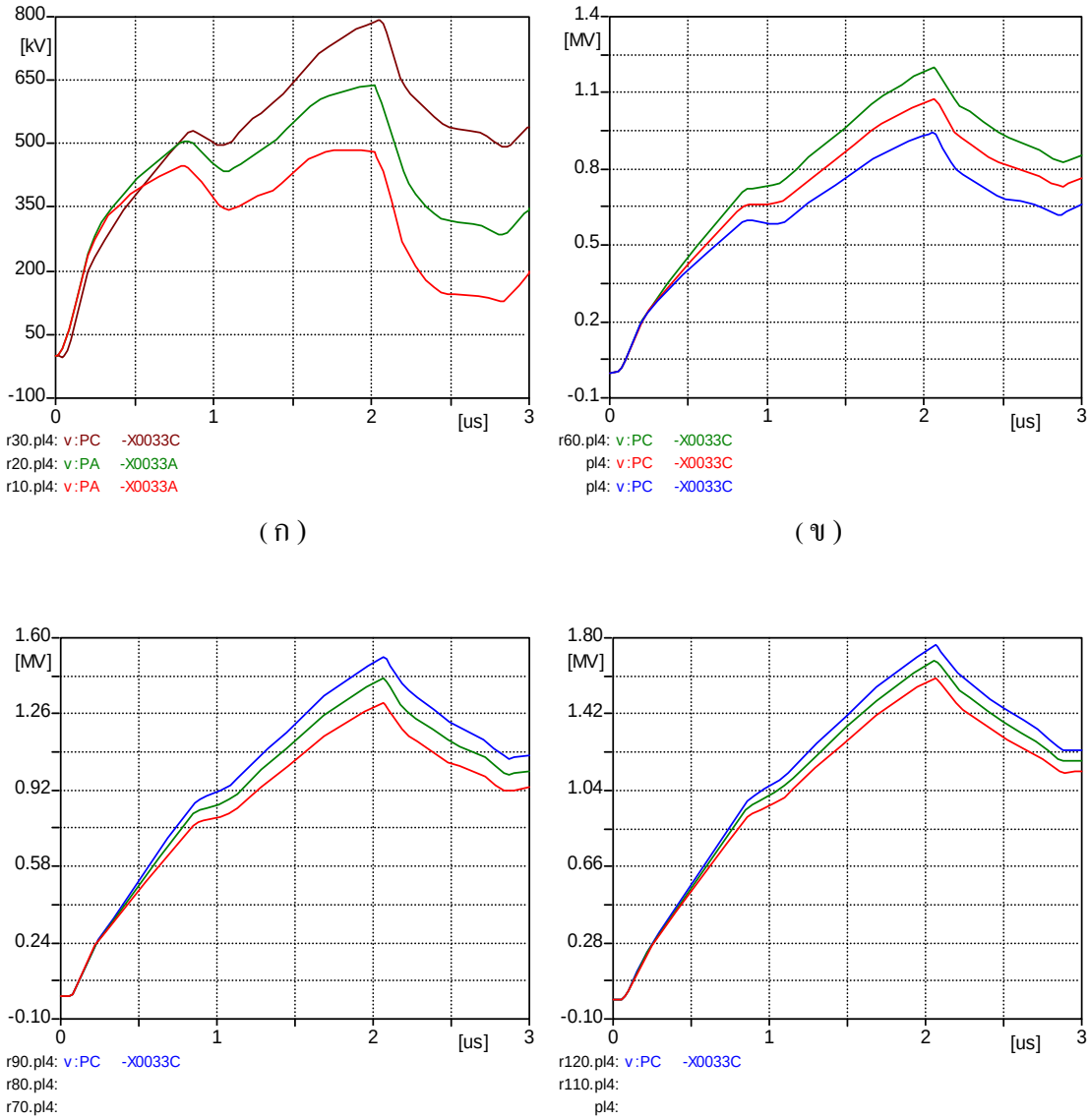



( ก ) ( ข )

( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.50** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 30 kA ในระยะห่างเสา 120 เมตร

จากรูปที่ 4.51 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 120 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP

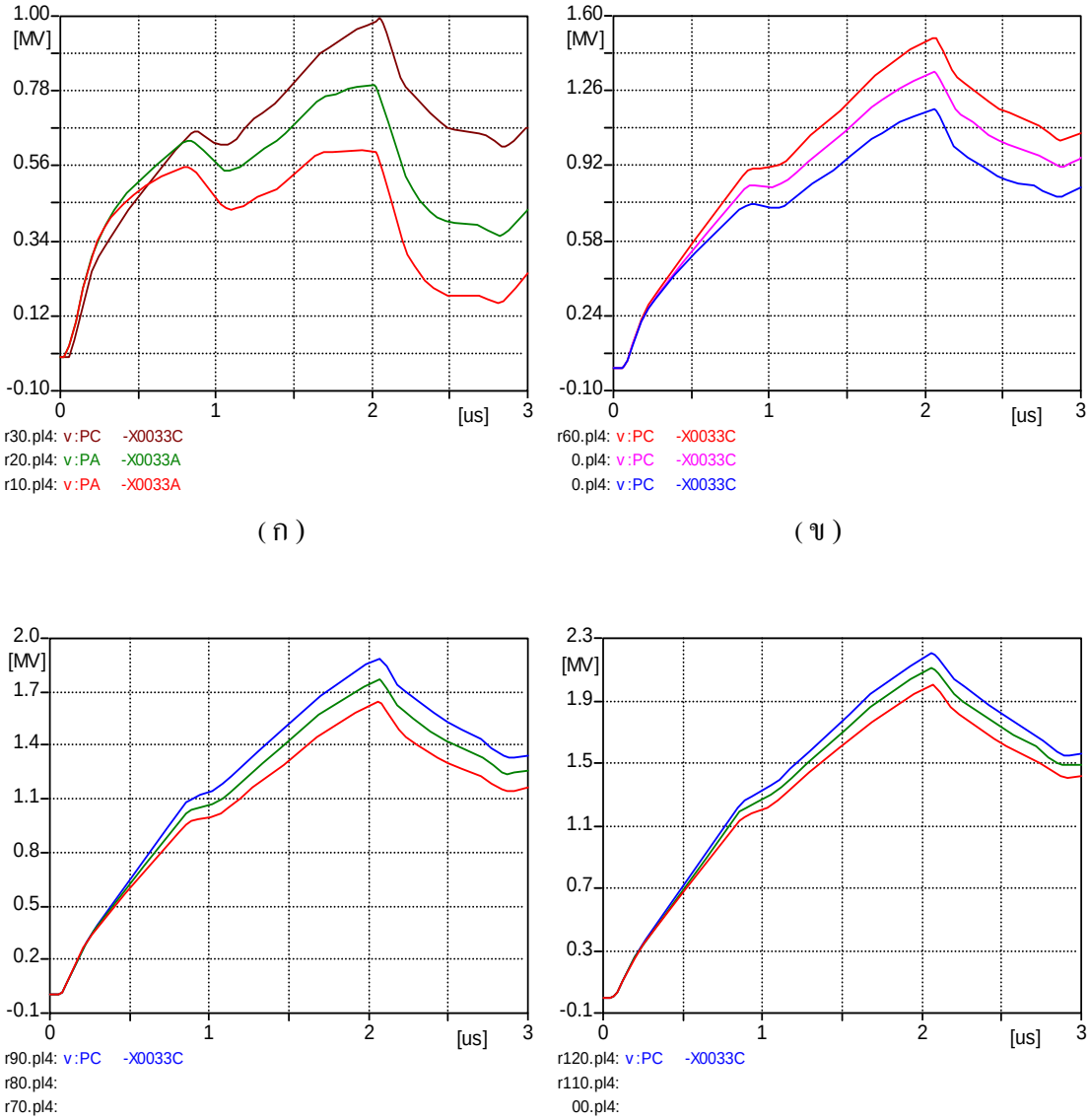



( ก ) ( ข )

( ค ) ( ง )

**รูปที่ 4.51** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 40 kA ในระยะห่างเสา 120 เมตร

จากรูปที่ 4.52 (ก – ง) แสดงค่าแรงดันตกคร่อมรูปถ้วย ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 120 เมตร ที่ค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม จากการจำลองการทำงานด้วย โปรแกรม ATP-EMTP




**รูปที่ 4.52** กราฟแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยสูงสุด ที่กระแสฟ้าผ่า 50 kA ในระยะห่างเสา 120 เมตร

จากตารางที่ 4.33 แสดงแรงดันตกคร่อมลูกถ้วยที่ได้จากการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม ATP-EMTP ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์ 10 – 120 โอห์ม ค่ากระแสฟ้าผ่า 10 – 50 กิโลแอมแปร์ ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 120 เมตร

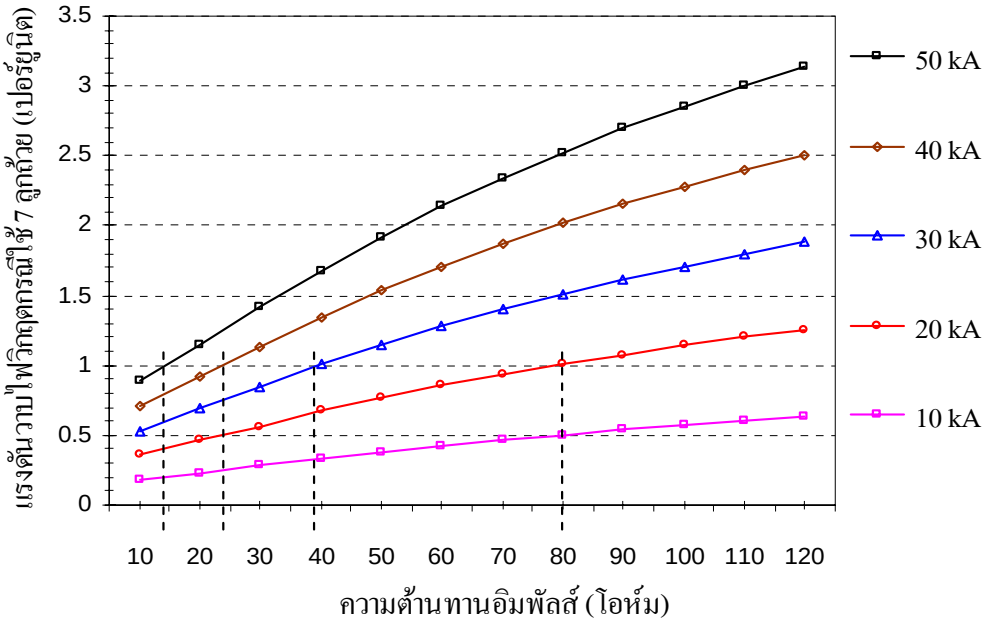
**ตารางที่ 4.33** ค่าแรงดันตกคร่อมลูกถ้วย ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 120 เมตร.

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 124,655 | 249,309 | 373,964 | 498,619 | 623,274 |
| 20 | 161,605 | 323,211 | 484,816 | 646,421 | 808,027 |
| 30 | 198,409 | 396,818 | 595,227 | 793,636 | 992,046 |
| 40 | 235,873 | 471,746 | 707,619 | 943,492 | 1,179,360 |
| 50 | 269,680 | 539,360 | 809,040 | 1,078,720 | 1,348,400 |
| 60 | 300,417 | 600,833 | 901,250 | 1,201,670 | 1,502,080 |
| 70 | 328,516 | 657,032 | 985,547 | 1,314,060 | 1,642,580 |
| 80 | 354,377 | 708,753 | 1,063,130 | 1,417,510 | 1,771,880 |
| 90 | 378,289 | 756,578 | 1,134,870 | 1,513,160 | 1,891,450 |
| 100 | 400,505 | 801,010 | 1,201,510 | 1,602,020 | 2,002,520 |
| 110 | 421,248 | 842,496 | 1,263,740 | 1,684,990 | 2,106,240 |
| 120 | 440,687 | 881,374 | 1,322,060 | 1,762,750 | 2,203,440 |

จากตารางที่ 4.34 และรูปที่ 4.53 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 120 เมตร

**ตารางที่ 4.34** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.18 | 0.36 | 0.53 | 0.71 | 0.89 |
| 20 | 0.23 | 0.46 | 0.69 | 0.92 | 1.15 |
| 30 | 0.28 | 0.57 | 0.85 | 1.13 | 1.41 |
| 40 | 0.34 | 0.67 | 1.01 | 1.34 | 1.68 |
| 50 | 0.38 | 0.77 | 1.15 | 1.54 | 1.92 |
| 60 | 0.43 | 0.86 | 1.28 | 1.71 | 2.14 |
| 70 | 0.47 | 0.94 | 1.40 | 1.87 | 2.34 |
| 80 | 0.50 | 1.01 | 1.51 | 2.02 | 2.52 |
| 90 | 0.54 | 1.08 | 1.62 | 2.15 | 2.69 |
| 100 | 0.57 | 1.14 | 1.71 | 2.28 | 2.85 |
| 110 | 0.60 | 1.20 | 1.80 | 2.40 | 3.00 |
| 120 | 0.63 | 1.26 | 1.88 | 2.51 | 3.14 |

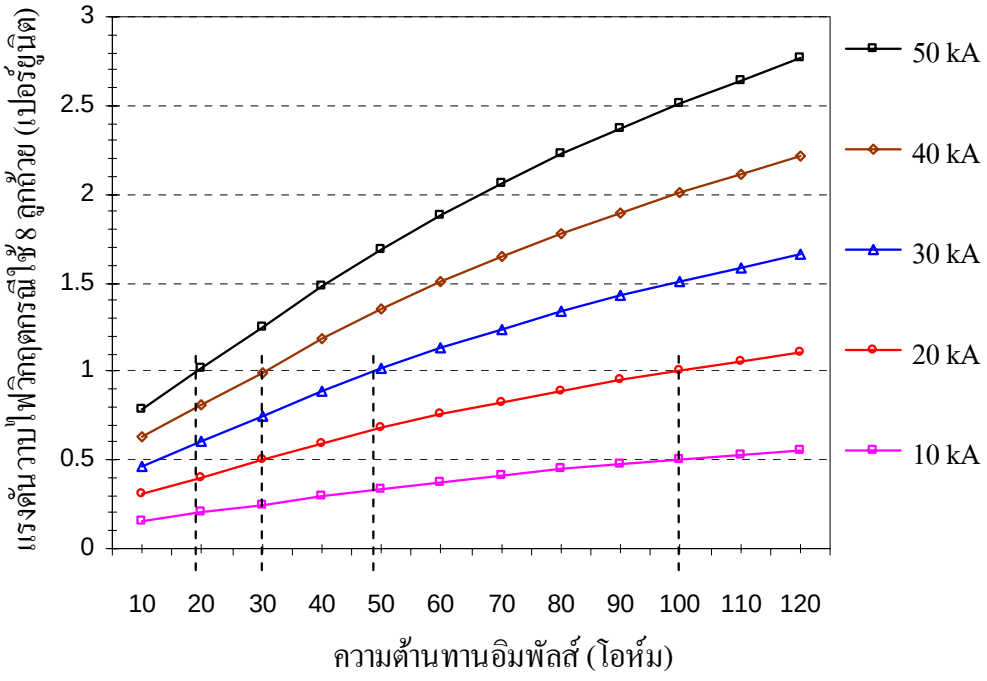



**รูปที่ 4.53** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.35 และรูปที่ 4.54 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 120 เมตร

**ตารางที่ 4.35** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.16 | 0.31 | 0.47 | 0.63 | 0.78 |
| 20 | 0.20 | 0.41 | 0.61 | 0.81 | 1.01 |
| 30 | 0.25 | 0.50 | 0.75 | 1.00 | 1.24 |
| 40 | 0.30 | 0.59 | 0.89 | 1.18 | 1.48 |
| 50 | 0.34 | 0.68 | 1.01 | 1.35 | 1.69 |
| 60 | 0.38 | 0.75 | 1.13 | 1.51 | 1.88 |
| 70 | 0.41 | 0.82 | 1.24 | 1.65 | 2.06 |
| 80 | 0.44 | 0.89 | 1.33 | 1.78 | 2.22 |
| 90 | 0.47 | 0.95 | 1.42 | 1.90 | 2.37 |
| 100 | 0.50 | 1.00 | 1.51 | 2.01 | 2.51 |
| 110 | 0.53 | 1.06 | 1.58 | 2.11 | 2.64 |
| 120 | 0.55 | 1.11 | 1.66 | 2.21 | 2.76 |

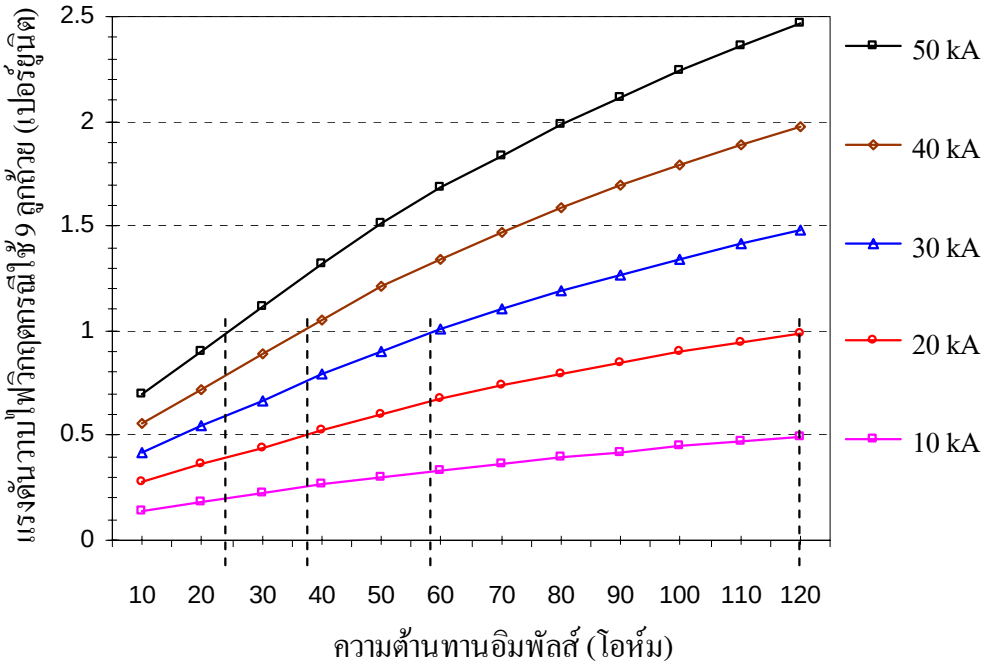



**รูปที่ 4.54** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

จากตารางที่ 4.36 และรูปที่ 4.55 แสดงค่าเป็นเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤต (จากตารางที่ 4.1 และตารางที่ 3.1) ในกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย ที่ขึ้นกับความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า ของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าที่ระยะห่าง 120 เมตร

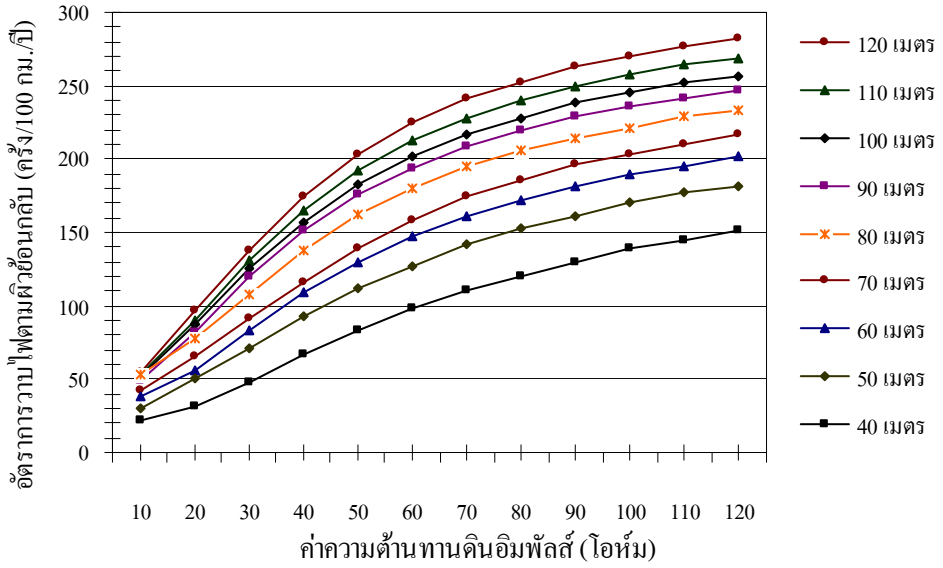
**ตารางที่ 4.36** ค่าเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

| ความต้านทาน | กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| อิมพัลส์ ( โอห์ม ) | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 |
| 10 | 0.14 | 0.28 | 0.42 | 0.56 | 0.70 |
| 20 | 0.18 | 0.36 | 0.54 | 0.72 | 0.91 |
| 30 | 0.22 | 0.44 | 0.67 | 0.89 | 1.11 |
| 40 | 0.26 | 0.53 | 0.79 | 1.06 | 1.32 |
| 50 | 0.30 | 0.60 | 0.91 | 1.21 | 1.51 |
| 60 | 0.34 | 0.67 | 1.01 | 1.35 | 1.68 |
| 70 | 0.37 | 0.74 | 1.10 | 1.47 | 1.84 |
| 80 | 0.40 | 0.79 | 1.19 | 1.59 | 1.98 |
| 90 | 0.42 | 0.85 | 1.27 | 1.69 | 2.12 |
| 100 | 0.45 | 0.90 | 1.35 | 1.79 | 2.24 |
| 110 | 0.47 | 0.94 | 1.42 | 1.89 | 2.36 |
| 120 | 0.49 | 0.99 | 1.48 | 1.97 | 2.47 |

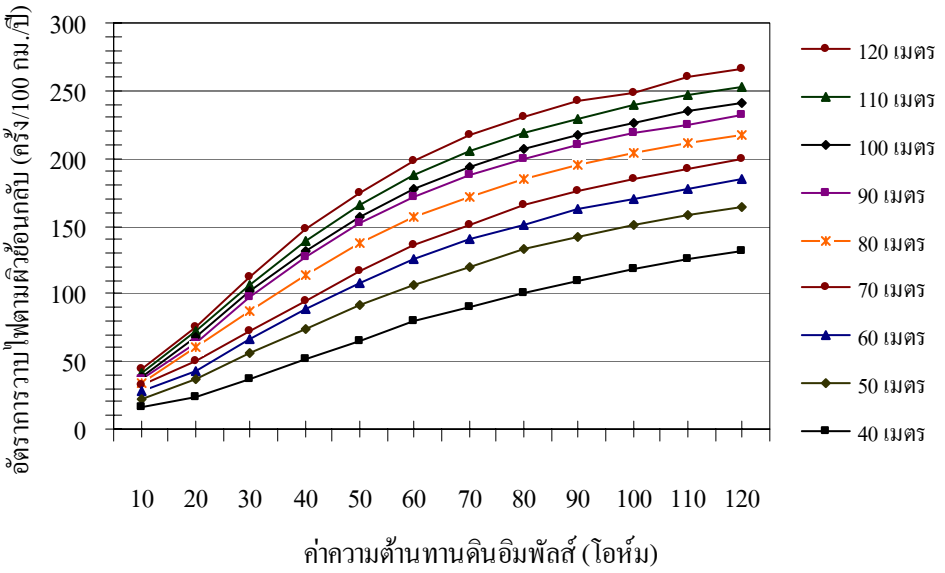



**รูปที่ 4.55** กราฟเปอร์ยูนิตของแรงดันวาบไฟวิกฤตกรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

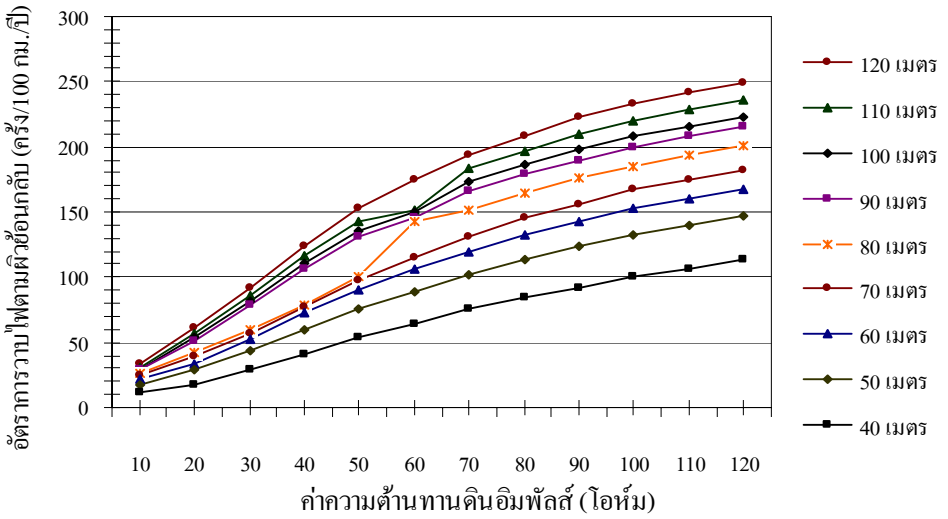
จากรูปที่ 4.56 – 4.58 แสดงค่าอัตราการเกิดการวาบไฟตามผิวย้อนกลับ (ครั้ง/100 กิโลเมตร/ปี) จากค่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้าและค่าความต้านทานอิมพัลส์กับกระแสฟ้าผ่า กรณีใช้ลูกถ้วย 7 - 9 ลูกถ้วย




**รูปที่ 4.56** กราฟอัตราการเกิดการวาบไฟตามผิวย้อนกลับ กรณีใช้ 7 ลูกถ้วย (ครั้ง/100 กิโลเมตร/ปี)




**รูปที่ 4.57** กราฟอัตราการเกิดการวาบไฟตามผิวย้อนกลับ กรณีใช้ 8 ลูกถ้วย (ครั้ง/100 กิโลเมตร/ปี)




**รูปที่ 4.58** กราฟอัตราการเกิดการวาบไฟตามผิวย้อนกลับ กรณีใช้ 9 ลูกถ้วย (ครั้ง/100 กิโลเมตร/ปี)

จากตารางที่ 4.37 – 4.39 และรูปที่ 59 – 61 แสดงค่าระหว่าง ระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้ากับความต้านทานอิมพัลส์ที่เหมาะสม ที่ค่ากระแสฟ้าผ่า 30–50 กิโลแอมแปร์ ในกรณีใช้ลูกถ้วย 7 - 9 ลูกถ้วย

**ตารางที่ 4.37** แสดงค่าความต้านทานอิมพัลส์สูงสุดที่รับได้ต่อระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้า กรณีใช้ลูกถ้วย 7 ลูกถ้วย

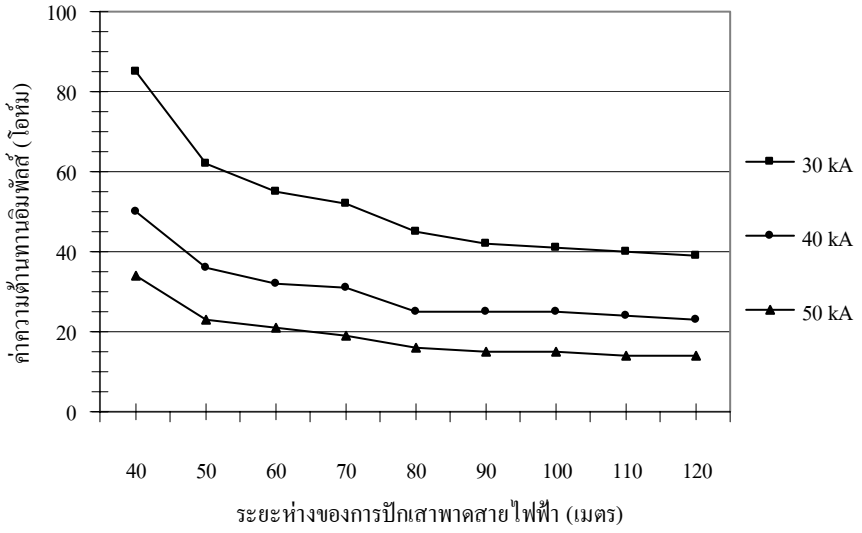
| กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | ระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้า | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 30 | 85 | 62 | 55 | 52 | 45 | 42 | 41 | 40 | 39 |
| 40 | 50 | 36 | 32 | 31 | 25 | 25 | 25 | 24 | 23 |
| 50 | 34 | 23 | 21 | 19 | 16 | 15 | 15 | 14 | 14 |

**ตารางที่ 4.38** แสดงค่าความต้านทานอิมพัลส์สูงสุดที่รับได้ต่อระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้า กรณีใช้ลูกถ้วย 8 ลูกถ้วย

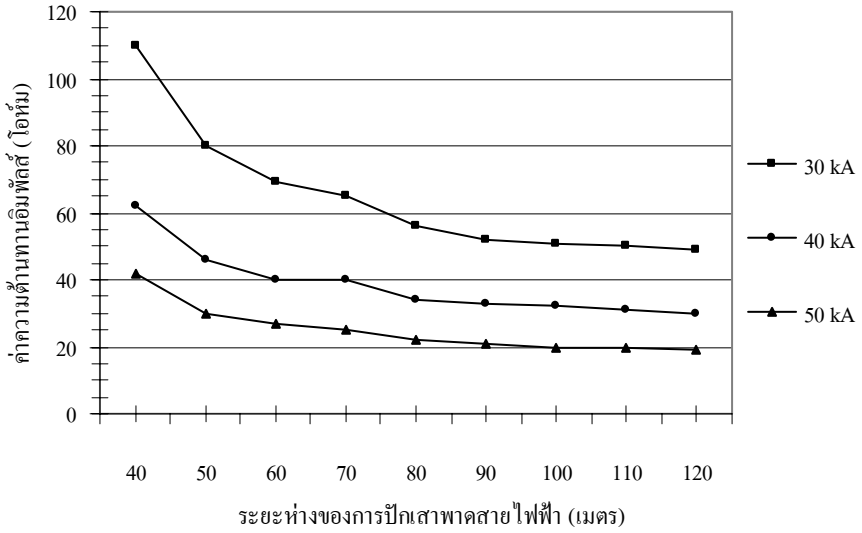
| กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | ระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้า | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 30 | 110 | 80 | 69 | 65 | 56 | 52 | 51 | 50 | 49 |
| 40 | 62 | 46 | 40 | 40 | 34 | 33 | 32 | 31 | 30 |
| 50 | 42 | 30 | 27 | 25 | 22 | 21 | 20 | 20 | 19 |

**ตารางที่ 4.39** แสดงค่าความต้านทานอิมพัลส์สูงสุดที่รับได้ต่อระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้า กรณีใช้ลูกถ้วย 9 ลูกถ้วย

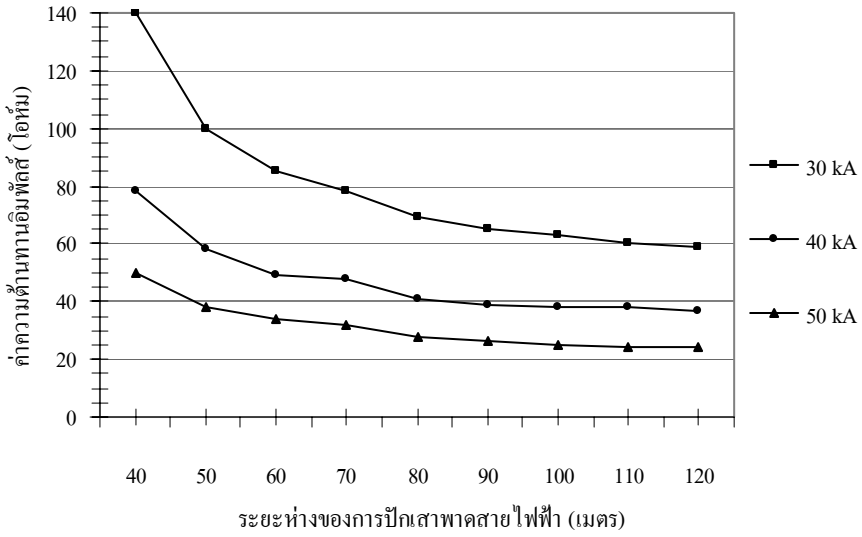
| กระแสฟ้าผ่า (กิโลแอมแปร์) | ระยะห่างของการปักเสาพาดสายไฟฟ้า | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| 30 | 140 | 100 | 85 | 78 | 69 | 65 | 63 | 60 | 59 |
| 40 | 78 | 58 | 49 | 48 | 41 | 39 | 38 | 38 | 37 |
| 50 | 50 | 38 | 34 | 32 | 28 | 26 | 25 | 24 | 24 |




**รูปที่ 4.59** กราฟระยะห่างเสาไฟฟ้ากับความต้านทานอิมพัลส์ที่เหมาะสม กรณีใช้ 7 ลูกถ้วย




**รูปที่ 4.60** กราฟระยะห่างเสาไฟฟ้ากับความต้านทานอิมพัลส์ที่เหมาะสม กรณีใช้ 8 ลูกถ้วย




**รูปที่ 4.61** กราฟระยะห่างเสาไฟฟ้ากับความต้านทานอิมพัลส์ที่เหมาะสม กรณีใช้ 9 ลูกถ้วย