

การวิเคราะห์เสาส่งไฟฟ้าทางพลศาสตร์

นาย เอกรัฐ สัมศรีรัฐกิจ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

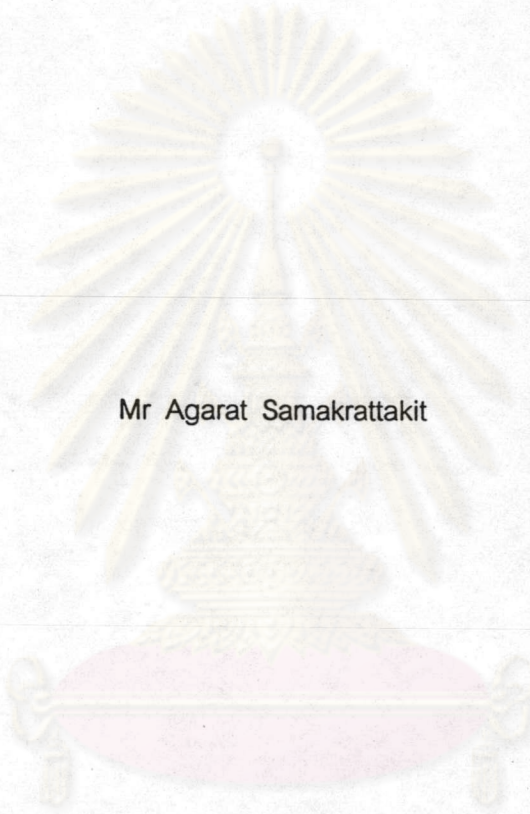
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-632-610-4

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DYNAMICS ANALYSIS ON TRANSMISSION TOWER



Mr Agarat Samakrattakit

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1996

ISBN 974-632-610-4

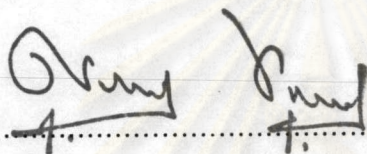
หัวข้อวิทยานิพนธ์ : การวิเคราะห์เสาส่งไฟฟ้าทางพลศาสตร์

โดย : นาย เอกรัฐ สมศรีรัฐกิจ

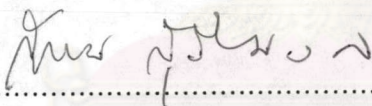
ภาควิชา : วิศวกรรมโยธา

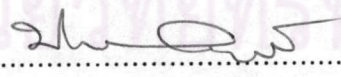
อาจารย์ที่ปรึกษา : ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์

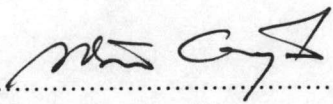
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต


..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชูติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาติ)



พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เอกรัฐ สมัครรัฐกิจ : การวิเคราะห์เสาส่งไฟฟ้าทางพลศาสตร์ (DYNAMICS ANALYSIS ON TRANSMISSION TOWER) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์, 156 หน้า
ISBN 974-632-610-4

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อเปรียบเทียบผลของแรงลมที่มีต่อโครงสร้างทางสถิตยศาสตร์ตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) และข้อกำหนดใหม่ที่เสนอโดยหน่วยวิจัยอุโมงค์ลม มหาวิทยาลัยเวสเทิร์น-ออนตาริโอ (UWO) ทั้งแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตโดยพิจารณาวัสดุอยู่ในช่วงอีลาสติก และเปรียบเทียบผลการตอบสนองทางพลศาสตร์แบบเชิงเส้นของแรงภายในและแรงปฏิกิริยากับผลที่ได้จากการประยุกต์ข้อกำหนด UWO โดยใช้ฟังก์ชันของแรงที่ขึ้นกับเวลา ซึ่งแปลงมาจากบันทึกความเร็วลม ในการวิเคราะห์ได้จำลองโครงสร้างโดยวิธีไฟไนต์อีลีเมนต์ และใช้โปรแกรม SAP90 ในการวิเคราะห์ ตัวอย่างกรณีศึกษาที่ใช้คือ เสาส่งไฟฟ้า DA1 สูง 46.68 เมตร ซึ่งเป็นเสาส่งที่ได้วิบัติจากลมพายุได้ฝุ่นเกล็ดในสภาพที่ยังไม่ได้ชิ่งสายไฟ เมื่อ พ.ศ. 2532

ผลการวิเคราะห์ทางสถิตยศาสตร์พบว่าแรงเฉือนตามข้อกำหนด UWO สูงกว่า กฟผ. ประมาณ 8% ในขณะที่โมเมนต์สูงกว่าถึง 30% และแรงภายในชิ้นส่วนสูงกว่าข้อกำหนด กฟผ. ประมาณ 10-40% สาเหตุสำคัญ คือ ข้อกำหนดของ UWO คิดแรงลมกระทำต่อเสาส่งในลักษณะการกระจายความเร็วลมตามกฎการยกกำลัง จึงให้ผลโมเมนต์มากกว่าข้อกำหนด กฟผ. ซึ่งใช้ค่าแรงลมที่ความสูงเฉลี่ยกระจายสม่ำเสมอตลอดเสาส่ง สำหรับการวิเคราะห์ซึ่งพิจารณาความไม่เชิงเส้นเชิงเรขาคณิตให้ผลแรงภายในชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยประมาณ 5% ที่สภาวะใช้งาน ส่วนผลการกระชอกของลมที่ไม่สัมพันธ์ซึ่งพิจารณาโดยวิธีแพทช์โหลดในข้อกำหนด UWO พบว่าให้ผลของแรงสูงกว่าวิธีละเอียดประมาณ 10-20%

ในการวิเคราะห์ผลทางพลศาสตร์สำหรับกรณีศึกษาพบว่าผลของโหมดที่สองทำให้แรงภายในชิ้นส่วนขาเพิ่มขึ้นประมาณ 5-10% แต่ในชิ้นส่วนทแยงเพิ่มขึ้นประมาณ 1-6 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่คิดโหมดแรกโหมดเดียว และผลจากการพิจารณา 2 โหมดและรวมทุกโหมดมีค่าแตกต่างกันไม่มากกว่า 5-10% สำหรับตัวคูณพลศาสตร์พบว่า เมื่อวิเคราะห์โดยใช้ข้อมูลลมจากการทดสอบในอุโมงค์ลม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จะให้ค่าตัวคูณผลพลศาสตร์เท่ากับ 3.40 ส่วนข้อกำหนด UWO มีค่าเท่ากับ 2.0 ซึ่งต่างกันประมาณ 70% โดยมีสาเหตุหลัก คือ ลักษณะลมที่ได้จากการจำลองในอุโมงค์ลมอาจจะคลาดเคลื่อนจากสภาพลมตามธรรมชาติ ซึ่งเห็นได้จากเส้นแสดงความหนาแน่นของสเปกตรัมพลังงานในงานวิจัยย้ายไปด้านความถี่สูงเข้าใกล้ความถี่ธรรมชาติของเสาส่งมากขึ้น เมื่อเทียบกับเส้นกราฟความหนาแน่นของสเปกตรัมพลังงานของ Melbourne (1982) ทำให้ลมที่จำลองขึ้นมีอิทธิพลต่อเสาส่งมากขึ้น นอกจากนี้งานวิจัยพิจารณาค่าการตอบสนองสูงสุดจากความเร็วลมหนึ่งเหตุการณ์ แต่ข้อกำหนด UWO พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าสูงสุดจากเหตุการณ์จำนวนมาก โดยใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา 2539

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

พิมพ์ต้นฉบับบทความวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

C615022 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: DYNAMICS ANALYSIS / TRANSMISSION TOWER / LATTICE TOWER / NONLINEAR GEOMETRY.

AGARAT SAMAKRATTAKIT : DYNAMICS ANALYSIS ON TRANSMISSION TOWER. THESIS

ADVISOR: PROF. PANITAN LUKKUNAPRASIT, Ph.D. 156 pp. ISBN 974-632610-4

This research was conducted to compare the results from the static analyses of transmission line towers using existing design criteria followed by the Electricity Generation Authority of Thailand (EGAT) and the proposed guidelines on wind loads by the University of Western Ontario (UWO). Both linear and geometric nonlinear analyses were performed, assuming elastic material properties. In addition, linear dynamic responses in internal forces and reactions were also compared with those obtained from application of UWO guidelines. The time varying wind loading function was transformed from measured wind records. All the analyses were performed by using the general propose finite element program SAP90. The structure used in the case study was the 46.68 m-high DA1 lattice tower which collapsed in the 1989 Typhoon Gay in the unstrung condition.

While the base shear resulting from statics analysis based on UWO guidelines was about 8% higher than that based on EGAT criteria, the corresponding base moment from UWO results was found to be much larger, in the order of 30%, whereas the discrepancies in the internal forces were about 10-40%. The main reason was that the UWO guidelines assume the more realistic Power Law distribution, resulting in considerable larger base moment than those predicted by the EGAT criteria which assume uniform pressure distribution based on the velocity at the average tower height. The effect of geometric nonlinearity was found to increase the internal forces in the serviceability limit state by only about 5%. The patch loading in the UWO specification which accounts for uncorrelated gusts resulted in internal forces increasing by about 10-20%.

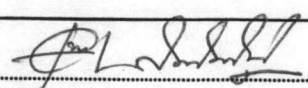
The dynamics analyses of the tower in the case study incorporating the lower two modes yielded increase in the internal forces in the order of 5-10% for leg members, and 100-600% for diagonal members, when compared with the solutions which included only the fundamental mode. The results were not much different when all modes were included, the discrepancy being about 5-10%. The dynamic response factor was found to be 3.40 when the loading was based on the wind velocity recorded from wind tunnel tests at Chulalongkorn University. It was about 70% higher than that computed in accordance with the UWO guidelines. The large difference was due partly to the deviation of the characteristics of the wind modeled in the wind tunnel from that of the natural wind. The power spectrum density function of the modeled wind in full scale was seen to shift to the high frequency range, closer to the natural frequency of the tower when compared with the spectrum curve proposed by Melbourne (1982), with the consequence of increasing dynamic response of the structure. Furthermore, the peak response from dynamics analysis was computed based on one single wind speed event while that obtained from the UWO guidelines is the mean value of peak responses from a large ensemble of events using probability theory.

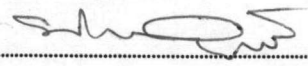
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา..... วิศวกรรมโยธา

สาขาวิชา..... วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา..... 2539

ลายมือชื่อนิสิต..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... 

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของศาสตราจารย์ ดร. ปณิธาน ลักคุณะประสิทธิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ของการวิจัยมาด้วยดีตลอด รวมทั้งขอกราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วยรองศาสตราจารย์ ดร. สุธรรม สุริยะมงคล ประธานกรรมการ และ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติตรี ที่ได้กรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์นี้จนสำเร็จเรียบร้อย

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ คุณสมุศลรัตน์ รัตนสุภากร ที่ได้ความช่วยเหลือด้าน ข้อมูล และความรู้เบื้องต้นอันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอจนสำเร็จการศึกษา

เอกรัฐ สมัครรัฐกิจ

ศูนย์วิทยพัธพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้าที่
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ด
คำอธิบายสัญลักษณ์.....	น
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา.....	3
1.4 ข้อสมมุติฐานในงานวิจัย.....	6
1.5 ขอบข่ายของการวิจัย.....	7
1.6 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	8
2. ทฤษฎีที่ใช้วิเคราะห์.....	9
2.1 ลักษณะของลัทธิธรรมชาต.....	9
2.2 การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์.....	10
2.3 วิธีวิเคราะห์แบบรวมใหม่.....	13
2.4 การวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต.....	16
3. ข้อกำหนดที่ใช้ในงานวิจัย.....	22

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

3.1	ข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	22
3.1.1	ความเร็วลมอ้างอิง.....	22
3.1.2	หน่วยแรงดันลม.....	23
3.1.3	ตัวคูณผลรูปร่าง.....	24
3.1.4	สภาพการรับน้ำหนัก.....	24
3.2	ข้อกำหนดที่เสนอโดยมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ ประเทศแคนาดา.....	27
3.2.1	หน่วยแรงลมที่กระทำต่อโครงสร้าง.....	27
3.2.2	หน่วยแรงดันลมอ้างอิง.....	28
3.2.3	ตัวคูณสภาพพื้นผิว.....	29
3.2.4	ตัวคูณรูปร่างทางอากาศพลศาสตร์.....	29
3.2.5	ตัวคูณพลศาสตร์.....	30
3.2.6	สภาพการรับน้ำหนัก.....	33
3.3	แพตช์โหลด.....	34
4.	โครงสร้างในกรณีศึกษาและการจำลอง.....	37
4.1	ลักษณะทั่วไปของเสาส่งไฟฟ้ากรณีศึกษา.....	37
4.2	การจำลองเสาส่งไฟฟ้า.....	38
4.3	ความเร็วลมพื้นฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์.....	39
4.4	หน่วยแรงดันลม และการกระจายตามความสูง.....	40
5.	ผลการวิเคราะห์.....	42
5.1	ผลการวิเคราะห์ทางด้านสถิตยศาสตร์.....	42
5.2	ผลการวิเคราะห์ทางด้านพลศาสตร์.....	44
5.2.1	ความถี่ธรรมชาติ.....	44
5.2.2	การตรวจสอบผลการวิเคราะห์.....	44
5.2.3	ผลการวิเคราะห์โดยใช้ลมจากมิชิแกน.....	45

สารบัญ (ต่อ)

หน้าที่

5.2.4 ผลการวิเคราะห์ที่ใช้ลมจากการทดสอบในอุโมงค์ลม.....	46
6. สรุปผลการวิจัย.....	48
6.1 สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างข้อกำหนด กฟผ. กับข้อกำหนด UWO.....	48
6.2 สรุปผลการเปรียบเทียบระหว่างผลสถิตยศาสตร์และพลศาสตร์.....	49
รายการอ้างอิง.....	125
ภาคผนวก.....	128
ภาคผนวก ก โคออร์ดิเนตของจุดต่อเอเลเมนต์ในแบบจำลอง.....	129
ภาคผนวก ข การเชื่อมต่อจุดและความยาวของชิ้นส่วนในแบบจำลอง.....	134
ภาคผนวก ค ไดอะแกรมของแรงที่กระทำต่อเสาส่งไฟฟ้าตามข้อกำหนดของ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย.....	149
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณแรงดันลม.....	154
ประวัติผู้เขียน.....	156

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่	เนื้อหา	หน้าที่
ตารางที่ 2.1	ค่า α และ Z_g สำหรับภูมิภาคประเทศแบบต่าง ๆ (NBC,1990).....	51
ตารางที่ 3.1	ค่าคงที่ K , สำหรับคาบการกลับ t ปี เมื่อคิดจากสถิติ t_0 ปี	51
ตารางที่ 3.2	ความสูงเกรเดียนท์ (Z_G) และดัชนียกกำลัง (α) ตามสภาพพื้นผิวตามข้อกำหนดใหม่ที่เสนอโดยมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ.....	52
ตารางที่ 3.3	ค่าปรับแก้หน่วยแรงดันลมที่เวลาเฉลี่ยอื่น ๆ เป็นที่เวลาเฉลี่ยใน 1 ชั่วโมง.....	52
ตารางที่ 3.4	ค่าปรับแก้หน่วยแรงดันลมให้มีคาบการกลับที่ 50 ปี.....	53
ตารางที่ 3.5	ตัวคูณลดความเร็วลมอ้างอิงในทิศทางต่าง ๆ.....	53
ตารางที่ 3.6	ค่าระยะความขรุขระ,สเกลแฟคเตอร์และดัชนียกกำลังสำหรับภูมิภาคต่าง ๆ.....	54
ตารางที่ 3.7	ค่าตัวคูณรูปร่างโดยรวมสำหรับเสาโครงถัก.....	54
ตารางที่ 4.1	ผลของการ วิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น.....	54
ตารางที่ 4.2	เปรียบเทียบขั้นตอนระหว่าง กฟผ และ UWO สำหรับเสาส่งไฟฟ้า DA 1.....	55
ตารางที่ 5.1ก	แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้าตามข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย วิเคราะห์โดยวิธีละเอียด.....	56
ตารางที่ 5.1ข	แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทางขนานกับแนวสายไฟฟ้าตามข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย วิเคราะห์โดยวิธีละเอียด.....	56
ตารางที่ 5.2ก	แรงลมเฉลี่ยแพตช์โหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย; วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์โหลด.....	57
ตารางที่ 5.2ข	แรงลม เฉลี่ยของแพตช์โหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทางขนานกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย;วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์โหลด.....	57

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 5.3.ก	แรงลมแพตช์ไหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางตั้งฉาก กับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย ; วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์ไหลด..... 58
ตารางที่ 5.3ข	แรงลมแพตช์ไหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางขนาน กับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย;วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์ไหลด..... 58
ตารางที่ 5.4ก	แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931 วิเคราะห์โดยวิธีละเอียด.....59
ตารางที่ 5.4ข	แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางขนานกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931 วิเคราะห์โดยวิธีละเอียด59
ตารางที่ 5.5ก	แรงลมเฉลี่ยแพตช์ไหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางตั้งฉาก กับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931 ;วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์ไหลด..... 60
ตารางที่ 5.5ข	แรงลมเฉลี่ยของแพตช์ไหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางขนาน กับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931;วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์ไหลด..... 60
ตารางที่ 5.6ก	แรงลมแพตช์ไหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางตั้งฉาก กับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931 ;วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์ไหลด..... 61
ตารางที่ 5.6ข	แรงลมแพตช์ไหลดที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศทางขนาน กับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931 ; วิเคราะห์โดยวิธีแพตช์ไหลด..... 61

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 5.7ก	แรงภายใน (กก) ที่เกิดจากแรงลมกระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ และข้อกำหนดของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย..... 62
ตารางที่ 5.7ข	แรงภายใน (กก) ที่เกิดจากแรงลมกระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศขนานกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ และข้อกำหนดของการไฟฟ้าแห่งประเทศไทย แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย..... 63
ตารางที่ 5.8ก	แรงภายใน (กก) ที่เกิดจากแรงลมกระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931..... 64
ตารางที่ 5.8ข	แรงภายใน (กก) ที่เกิดจากแรงลมกระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศขนานกับแนวสายไฟฟ้า ตามข้อกำหนดของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ แหล่งลมจาก Michigan,1931..... 65
ตารางที่ 5.9ก	แรงภายใน (กก) ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์สถิตยศาสตร์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นตามข้อกำหนดของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย..... 66
ตารางที่ 5.9ข	แรงภายใน (กก) ที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์สถิตยศาสตร์แบบเชิงเส้น และไม่เชิงเส้นตามข้อกำหนดใหม่ของมหาวิทยาลัยเวสเทิร์นออนตาริโอ..... 66
ตารางที่ 5.10	ความถี่ธรรมชาติของเสาสูงไฟฟ้า DA1..... 67
ตารางที่ 5.11ก	แรงลมเฉลี่ยทางพลศาสตร์ที่ไม่ขึ้นกับเวลาที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศที่ตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจาก มิชิแกน,1931..... 68
ตารางที่ 5.11ข	แรงลมเฉลี่ยทางพลศาสตร์ที่ไม่ขึ้นกับเวลาที่กระทำต่อโครงสร้างเสาสูงในทิศขนานกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจาก มิชิแกน,1931..... 68
ตารางที่ 5.12	ผลการเปรียบเทียบผลทางพลศาสตร์กับผลทางสถิตยศาสตร์ในทิศที่ตั้งฉากและขนานกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจาก Michigan,1931..... 69

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้าที่
ตารางที่ 5.13ก	
การเปรียบเทียบด้านพลศาสตร์ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับฟังก์ชันเดียว ในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจาก Michigan,1931.....	
	73
ตารางที่ 5.13ข	
การเปรียบเทียบด้านพลศาสตร์ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับฟังก์ชันเดียว ในทิศทางขนานกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจาก Michigan,1931.....	
	74
ตารางที่ 5.14ก	
แรงลมที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า วิเคราะห์โดยวิธีละเอียด แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย.....	
	75
ตารางที่ 5.14ข	
แรงลมที่กระทำ ต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทางขนานกับแนวสายไฟฟ้า วิเคราะห์โดยวิธีละเอียด แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย.....	
	75
ตารางที่ 5.15ก	
แรงลมเฉลี่ยทางพลศาสตร์ที่ไม่ขึ้นกับเวลาที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทาง ตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย.....	
	76
ตารางที่ 5.15ข	
แรงลมเฉลี่ยทางพลศาสตร์ที่ไม่ขึ้นกับเวลาที่กระทำต่อโครงสร้างเสาส่งในทิศทาง ตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย.....	
	76
ตารางที่ 5.16	
ผลการเปรียบเทียบผลทางพลศาสตร์กับ ผลทางสถิตยศาสตร์ในทิศทาง ตั้งฉากและขนานกับแนวสายไฟฟ้า ลมจากภาคใต้ของประเทศไทย.....	
	77
ตารางที่ 5.17ก	
การเปรียบเทียบด้านพลศาสตร์ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับฟังก์ชันเดียว ในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย....	
	81
ตารางที่ 5.17ข	
การเปรียบเทียบด้านพลศาสตร์ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับฟังก์ชันเดียว ในทิศทางขนานกับแนวสายไฟฟ้า แหล่งลมจากภาคใต้ของประเทศไทย.....	
	82

สารบัญรูป

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 1.1	ลักษณะของเสาส่งไฟฟ้า DA.1..... 83
รูปที่ 2.1	ลักษณะการเคลื่อนที่ของลมตามธรรมชาติ..... 84
รูปที่ 2.2	ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ..... 84
รูปที่ 2.3	ทิศทางการเปลี่ยนตำแหน่งที่ซั้วของชิ้นส่วนรับแรงในแนวแกน 3 มิติ..... 85
รูปที่ 2.4	การวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นด้วยวิธีทำซ้ำโดยตรง..... 85
รูปที่ 3.1	การกระจายหน่วยแรงลมตามข้อกำหนดของ EGAT..... 86
รูปที่ 3.2	การกำหนด ทิศทางของลมที่กระทำต่อเสาส่งไฟฟ้า..... 86
รูปที่ 3.3	การกระจายหน่วยแรงลมตามข้อกำหนดของ UWO..... 87
รูปที่ 3.4	ความเร็วลมพื้นฐานสำหรับประเทศไทย..... 88
รูปที่ 3.5	ระยะความขรุขระ บนพื้นผิวราบสำหรับภูมิประเทศต่าง ๆ..... 89
รูปที่ 3.6	ส่วนพื้นหลังและส่วนกำทอนของบนสายไฟฟ้าและเสาส่ง..... 89
รูปที่ 3.7	คำจำกัดความของมิติต่างๆ ของสายไฟฟ้าและเสาส่ง..... 90
รูปที่ 3.8	รูปแบบของชุดของแรงแพตช์ไหลด..... 90
รูปที่ 3.9	รูปแบบของแพตช์ไหลดที่กระทำต่อ Lattice structure..... 91
รูปที่ 3.10	รูปแบบของแพตช์ไหลดที่กระทำต่อ Guyed structure..... 91
รูปที่ 4.1	รูปร่างจริงของเสาส่งไฟฟ้า DA.1 ขนาด 230 เควี..... 92
รูปที่ 4.2	รูปร่างของเสาส่งไฟฟ้า DA.1 ที่ใช้ ในการวิจัย..... 93
รูปที่ 4.3ก	รูปด้านข้างของแบบจำลองเสาส่งไฟฟ้าและแสดงจุดต่อเอเลเมนต์..... 94
รูปที่ 4.3ข	รูปด้านข้างของแบบจำลองเสาส่งไฟฟ้าและแสดงเอเลเมนต์..... 96
รูปที่ 4.4	ความเร็วลมที่ระดับความสูงต่างๆ ที่วัดได้จริงที่มีซิแกน..... 98
รูปที่ 4.5	การติดตั้งอุปกรณ์ในการทดสอบอุโมงค์ลม..... 98
รูปที่ 4.6	รูปแบบ(Profile) ของลมที่ได้จากการทดสอบในอุโมงค์ลม..... 99
รูปที่ 4.7	แสดงช่วงของพลังงาน (Spectrum) ของความเร็วลม(อุโมงค์ลม)..... 100
รูปที่ 4.8	ความเร็วลมที่ระดับต่างๆ จากการทดสอบในอุโมงค์ลม..... 100

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่ 5.1	ชิ้นส่วนของเสาส่งไฟฟ้า DA1. ที่พิจารณา..... 102
รูปที่ 5.2	รูปแสดงการแบ่งส่วนในแบบจำลองเสาส่งไฟฟ้าตามข้อกำหนด UWO..... 103
รูปที่ 5.3	รูปแบบการจำลองเสาส่งไฟฟ้าเพื่อการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์..... 104
รูปที่ 5.4	รูปแสดงการเคลื่อนที่ในโหมดต่างๆ ของเสาส่งไฟฟ้า..... 104
รูปที่ 5.5ก	ฟังก์ชัน $(V/\bar{V})^2$ ของแหล่งลมจาก Michigan,1931..... 105
รูปที่ 5.5ข	ฟังก์ชัน $(V/\bar{V})^2$ ของแหล่งลมจากการทดสอบในอุโมงค์ลม..... 106
รูปที่ 5.6	ลักษณะของแรงเฉือนที่ฐานและแรงภายนอกที่กระทำต่อเสาส่ง..... 107
รูปที่ 5.7.1	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F3AT เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 107
รูปที่ 5.7.2	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F2T เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 108
รูปที่ 5.7.3	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F1T เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 108
รูปที่ 5.7.4	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน P9T เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 109
รูปที่ 5.7.5	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F3A เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 109
รูปที่ 5.7.6	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F2 เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 110
รูปที่ 5.7.7	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F1 เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 110
รูปที่ 5.7.8	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน P9 เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 111
รูปที่ 5.7.9	ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน Stub เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า..... 111

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่. 5.7.10 ผลพลศาสตร์ของแรงเฉือนที่ฐาน เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า.....	112
รูปที่. 5.7.11 ผลพลศาสตร์ของโมเมนต์ที่ฐาน เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า.....	112
รูปที่. 5.8 ผลการเคลื่อนที่ของจุดที่ 3 ของเสาส่งไฟฟ้าด้านพลศาสตร์เนื่องจากแรงลม ที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	113
รูปที่. 5.9.1 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F3AL เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	113
รูปที่. 5.9.2 ผลพลศาสตร์ของ ชิ้นส่วน F2L เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	114
รูปที่. 5.9.3 ผลพลศาสตร์ของชิ้น ส่วน F1L เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	114
รูปที่. 5.9.4 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน P9L เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	115
รูปที่. 5.9.5 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F3A เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	115
รูปที่. 5.9.6 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F2 เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	116
รูปที่. 5.9.7 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F1 เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	116
รูปที่. 5.9.8 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน P9 เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	117
รูปที่. 5.9.9 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน Stub เนื่องจากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	117

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่. 5.9.10 ผลพลศาสตร์ของแรงเฉือนที่ฐาน เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	118
รูปที่. 5.9.11 ผลพลศาสตร์ของโมเมนต์ที่ฐาน เนื่องจากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศขนานกับสายส่งไฟฟ้า.....	118
รูปที่. 5.10.1 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F2T ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่ง) จากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับ สายส่งไฟฟ้า.....	119
รูปที่. 5.10.2 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน P9 ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริง กับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่ง) จากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับ สายส่งไฟฟ้า.....	119
รูปที่. 5.10.3 ผลพลศาสตร์ของแรงเฉือนที่ฐานระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่ง) จากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับ สายส่งไฟฟ้า.....	120
รูปที่. 5.10.4 ผลพลศาสตร์ของโมเมนต์ ที่ฐานระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่ง) จากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศตั้งฉากกับ สายส่งไฟฟ้า.....	120
รูปที่. 5.11.1 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F2L ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริง กับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่ง) จากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศขนานกับ สายส่งไฟฟ้า.....	121
รูปที่. 5.11.2 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน P9 ระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริง กับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่ง) จากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศขนานกับ สายส่งไฟฟ้า.....	121
รูปที่. 5.11.3 ผลพลศาสตร์ของแรงเฉือนที่ฐานระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาส่ง) จากแรงลมที่ Michigan,1931 ในทิศขนานกับ สายส่งไฟฟ้า.....	122

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้าที่
รูปที่. 5.11.4 ผลพลศาสตร์ของโมเมนต์ที่ฐานระหว่างการใช้ฟังก์ชันจริงกับใช้ฟังก์ชันเดียว (ที่ระดับกึ่งกลางของเสาสูง) จากแรงลมที่ Michigan, 1931 ในทิศทางานกับสายส่งไฟฟ้า.....	122
รูปที่. 5.12.1 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F3AT เนื่องจากแรงลมที่ทดสอบในอุโมงค์ลม ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า.....	123
รูปที่. 5.12.2 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F2T เนื่องจากแรงลมที่ทดสอบในอุโมงค์ลม ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า.....	123
รูปที่. 5.12.3 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน F1T เนื่องจากแรงลมที่ทดสอบในอุโมงค์ลม ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า.....	124
รูปที่. 5.12.4 ผลพลศาสตร์ของชิ้นส่วน P9T เนื่องจากแรงลมที่ทดสอบในอุโมงค์ลม ในทิศตั้งฉากกับสายส่งไฟฟ้า.....	124

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คำอธิบายสัญลักษณ์

A	คือ	พื้นที่รับแรงลมของโครงสร้าง สำหรับเสาส่งไฟฟ้าให้คิดพื้นที่หน้าเดียว
A_T	คือ	พื้นที่รับลมหน้าเดียวของของเสาส่งไฟฟ้าในทิศทางตั้งฉากกับแนวสายส่ง
A_L	คือ	พื้นที่รับลมหน้าเดียวของของเสาส่งไฟฟ้าในทิศทางขนานกับแนวสายส่ง
B	คือ	สเกลแฟคเตอร์ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ
B_i	คือ	ส่วนของผลพื้นหลังของเสาสายส่งซึ่งกระทำกึ่งสถิติที่ความถี่ต่ำกว่ากับความถี่ธรรมชาติของเสาสายส่ง (f_i)
$[C]$	คือ	เมตริกซ์ของความหน่วง
C_D	คือ	ตัวคูณผลรูปร่าง (Shape factor)
C_i^*	คือ	ความหน่วงประจำโหมด (Model damping)
C_{dyn}	คือ	ตัวคูณผลทางพลศาสตร์ (Dynamic response factor)
C_{exp}	คือ	ตัวคูณสภาพพื้นผิว (Exposure factor)
C_{shp}	คือ	ตัวคูณผลรูปร่างทางอากาศพลศาสตร์ (Aerodynamic shape factor)
C_{shp}^*	คือ	ตัวคูณผลรูปร่างรวมของเสาส่งไฟฟ้า (Overall shape factor)
E	คือ	โมดูลัสยืดหยุ่น
e_x	คือ	ส่วนเชิงเส้นของความเครียดแนวแกน
d	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางของสายส่ง
F	คือ	แรงที่กระทำต่อโครงสร้าง
f_c	คือ	ความถี่ธรรมชาติของสายไฟฟ้า
f_D	คือ	แรงจากความหน่วง (Damping force) เป็นปฏิภาคกับความเร็ว
F_l	คือ	แรงประกอบขนานกับแนวสายส่งไฟฟ้า
f_s	คือ	แรงต้านทานอีลาสติกแปรตามการเคลื่อนที่
F_t	คือ	แรงประกอบตั้งฉากกับแนวสายส่งไฟฟ้า
f_t	คือ	ความถี่ธรรมชาติของโครงสร้าง (H_z)
g	คือ	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

g_r	คือ	ตัวประกอบสูงสุดทางสถิติ
h	คือ	ความสูงทั้งหมดของเสาส่งไฟฟ้า (เมตร)
h_c	คือ	ความสูงประสิทธิผลสายไฟมีค่าเท่ากับความสูงที่ระดับติดตั้งสายไฟลบด้วย 2/3 ของระยะตกท้องช้าง (Sag)
h_i	คือ	ความสูงประสิทธิผลประมาณ 2/3 ของความสูงทั้งหมด
$[K]$	คือ	สติฟเนสของโครงสร้าง
$[K_e]$	คือ	เมตริกซ์สติฟเนสอีลาสติก
$[K_g]$	คือ	เมตริกซ์สติฟเนสเรขาคณิต
K_i^*	คือ	สติฟเนสประจำโหมด (Model stiffness)
$[K_s]_i$	คือ	เมตริกซ์สติฟเนสของโครงสร้างจากเส้นคอร์ดในรอบที่ i
K_t	คือ	ค่าคงที่สำหรับคาบการกลับ t ปี เมื่อคิดจากสถิติ t_0 ปี
L	คือ	ความยาวของชิ้นส่วน
LF	คือ	แรงประกอบขนานกับแนวสายไฟฟ้า
L_s	คือ	สเกลอินทิกรัลทางขวางการแปรปรวน (Transverse integral scale of turbulence) โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 65 เมตร
m	คือ	มวลต่อหนึ่งหน่วยความยาวของสายไฟฟ้า
$[M]$	คือ	เมตริกซ์ของมวล
M_i^*	คือ	มวลประจำโหมด (Model mass)
N, n	คือ	จำนวนที่พิจารณา
P	คือ	แรงในแนวแกน
q	คือ	หน่วยแรงดันลม (Wind pressure)
$q_n(t)$	คือ	ขนาดซึ่งแปรเปลี่ยนตามเวลาของการเคลื่อนที่ในรูปแบบ $\{\phi_n\}$
q_{ref}	คือ	หน่วยแรงดันลมอ้างอิง (Reference velocity pressure)
r	คือ	การเปลี่ยนตำแหน่งที่ขั้ว
$\{R\}$	คือ	เมตริกซ์ของแรงภายนอกที่กระทำต่อโครงสร้าง
\bar{r}	คือ	ผลตอบสนองเฉลี่ยเนื่องจากแรง (Mean loading effect)
\hat{r}	คือ	ผลการตอบสนองสูงสุดเนื่องจากแรง

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

R_i^*	คือ	แรงเยเนอรัลไลส์
\hat{r}_{PL}	คือ	ผลของกระชอกหรือความแปรปรวนของแรงแพชต์โหลด
$R(t)$	คือ	แรงภายนอกที่เป็นฟังก์ชันของเวลา
\tilde{r}_{PL}	คือ	ผลการตอบสนองของแรงแพชต์โหลดทั้งหมด
r_{PLi}	คือ	ผลการตอบสนองของแพชต์โหลดที่ i
R_i	คือ	ส่วนของผลกำทอนของเสาสายส่งที่ความถี่ ใกล้กับความถี่ธรรมชาติของเสาสายส่ง
sag	คือ	ระยะตกท้องช้าง
T	คือ	แรงดึงในสายไฟฟ้า
TF	คือ	แรงประกอบตั้งฉากกับแนวสายไฟฟ้า
$\{u\}$	คือ	เวกเตอร์ของการเคลื่อนที่
$\{\dot{u}\}$	คือ	เวกเตอร์ของความเร็ว
$\{\ddot{u}\}$	คือ	เวกเตอร์ของอัตราเร่ง
$V(t)$	คือ	ความเร็วลมที่เวลาใด ๆ
\bar{V}	คือ	ความเร็วลมเฉลี่ย
\bar{V}_{hc}	คือ	ความเร็วลมที่ความสูงประสิทธิภาพของสายไฟฟ้า
\bar{V}_{ht}	คือ	ความเร็วลมที่ความสูงประสิทธิภาพ
V_{ref}	คือ	ความเร็วลมอ้างอิง ที่ความสูง 10 เมตร
$v(t)$	คือ	ความเร็วลมที่แปรเปลี่ยนไปจากความเร็วลมเฉลี่ยตามเวลา
V_Z	คือ	ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง Z
V_{ZG}	คือ	ความเร็วลมเฉลี่ยที่ความสูง Z_G
W	คือ	หน่วยแรงดันลมที่กระทำต่อโครงสร้าง
ω	คือ	ความถี่ธรรมชาติเชิงรอบ (Circular natural frequency)
w	คือ	น้ำหนักต่อหนึ่ง หน่วยความยาวของสายไฟฟ้า
Z	คือ	ความสูงที่พิจารณา
Z_G	คือ	ความสูงเกรเดียนต์

คำอธิบายสัญลักษณ์ (ต่อ)

Z_i	คือ ตำแหน่งสมมูลสถิตย์ของแพชต์โพลต์ที่ i
δs	คือ ความยาวใหม่ของ δx เมื่อรับแรงแนวแกน
δx	คือ ความยาวเริ่มต้นของเอเลเมนต์
δv	คือ การเปลี่ยนตำแหน่งในทิศทางแกน y ตามระยะ δx
δw	คือ การเปลี่ยนตำแหน่งในทิศทางแกน w ตามระยะ δx
$\{\phi_n\}$	คือ เวกเตอร์รูปร่างการเคลื่อนที่ที่ไม่ขึ้นกับเวลา
$\{\Phi\}$	คือ เมตริกซ์ของการแปลง (Transformation matrix) ซึ่งเป็นเมตริกซ์จัตุรัสขนาด $N \times N$
η_x	คือ ส่วนไม่เชิงเส้นของความเครียดแนวแกน
σ	คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วลมสูงสุดในแต่ละปี
σ_r	คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสองของผลตอบสนองเนื่องจากแรง (Root mean square loading effect)
ρ_a	คือ ความหนาแน่นของอากาศมีค่าประมาณ 1.225 กิโลกรัม (มวล) ต่อลูกบาศก์เมตร
ϕ	คือ ค่าสัดส่วนความทึบ (Solidity ratio)
ψ	คือ มุมที่กระทำกับแนวตั้งฉากแนวสายไฟฟ้า
α	คือ ดัชนียกกำลังตามสภาพภูมิประเทศ
ζ_c	คือ อัตราส่วนความหน่วง (Damping ratio) ของสายไฟฟ้า
ζ_i	คือ อัตราส่วนความหน่วง ของเสาส่งไฟฟ้า
λ_B	คือ แฟคเตอร์เนื่องจากพื้นที่ส่วนหลังของผลทางด้านพลศาสตร์
λ_R	คือ แฟคเตอร์เนื่องจากผลการกำทอนของผลทางด้านพลศาสตร์
λ_{TL}	คือ แฟคเตอร์เนื่องจากความแปรปรวนของลม