PW060

การศึกษาผลของสนามไฟฟ้าที่มีผลต่อการติดตั้งสายเคเบิล ADSS บนเสาส่งประเภท SHของระดับแรงดัน 500kV ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์

A Study an electric fields effecting to ADSS Installation on SH Tower of 500kV by using Finite Element Method

อานนท์ อิศรมงคลรักษ์[1]

[1]ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร arnon@mut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามไฟฟ้าที่อยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ย่อย แบบจำลองดังกล่าวถูกนำมาใช้จำลองผลของสนามไฟฟ้าของระบบไฟฟ้ากำลังขนาด 500kV วงจรคู่ชนิด 4 ตัวนำ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อการศึกษาผลของสนามไฟฟ้าที่ส่งผลกระทบต่อสายเคเบิล ADSSเมื่อทำการติดตั้งบนเสาไฟฟ้าประเภท SH โดยพิจารณาจุดที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งให้มีผลกระทบของสนามไฟฟ้าน้อยที่สุด การจำลองผลอาศัยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์เป็นเครื่องมือเพื่อแก้ปัญหาอนุพันธ์ จากผลการจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าสนามไฟฟ้าจะมีค่าน้อยที่ตำแหน่งบริเวณกลางเสาส่งโดยมีค่าประมาณ 0.0327V/m ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งสายเคเบิล ADSSโดยจะติดตั้งที่ระดับความสูงมากกว่า 30 เมตรขึ้นไป

คำสำคัญ: สนามไฟฟ้า สายเคเบิล ADSSระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์

Abstract

This paper presents a mathematical model of the electric field in the form of partial differential equations. Such models were used to simulate the effect of the electric field of the power system of 500kV single circuitand 4 bundle of conductors, with the aim to study the effect of the electric field affects the cable ADSS when installed on a SH power tower's structure by considering the type suitable for the installation of the electric field effect is minimal. Simulation methodology relies on Finite Element as a tool to solve differential equations. The results of the simulation show that the electric field is smaller at the center tower, with an estimated 0.0327V / m, which is the appropriate position for the installation of ADSS cable will be installed at a. higher than 30 meters above

Keywords: electric field, ADSS cable, Finite element method

1. บทนำ

ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีในประเทศไทยโดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบเหนือดินและมีหลายระดับแรงดัน โดยระดับแรงดัน 500kvก็เป็นระดับแรงดันที่มีโครงสร้างของเสาส่งและความสูงของเสาส่งที่แตกต่างกันออกไปรวมถึงเสาส่งประเภท SH ด้วยซึ่งเป็นรูปแบบเสาส่งที่มีการใช้งานในระดับแรงดันสูงมากที่สุดในประเทศไทยและมีการติดตั้งสายเคเบิลเพื่อส่งสัญญาณสื่อสารนั้นจะติดตั้งร่วมกันกับเสาส่งกำลัง ส่งผลให้มีการรบกวนสัญญาณเกิดขึ้น เนื่องจากสาเหตุของสนามไฟฟ้าที่กระจายออกมาจากสายตัวนำที่ติดตั้งอยู่ที่สายส่งกำลังบทความนี้จึงได้วิเคราะห์ผลของสนามไฟฟ้าที่ส่งผลต่อตำแหน่งที่เหมาะสมกับการติดตั้งสายเคเบิล ADSS ของระดับแรงดัน 500kV วงจรเดี่ยว ตัวนำ 4 บันเดิล

2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามไฟฟ้า

แบบจำลองของสนามไฟฟ้าที่กระจายรอบบริเวณสายส่งไฟฟ้าแรงสูงในรูปแบบ 2 มิติสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่(1) [1]-[2]

$$\nabla^2\mathbf{E}-(\frac{1}{\nu^2})(\frac{\partial^2\mathbf{E}}{\partial t^2})-\mu\sigma(\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t})=0 \qquad (1)$$

จากคุณสมบัติของระบบที่เป็น time-harmonic อย่างเช่นในระบบสายส่งไฟฟ้าจะได้

$$\frac{\partial\mathbf{E}}{\partial t}\approx j\omega E \text{ และ } \frac{\partial^2\mathbf{E}}{\partial t^2}\approx -\omega^2 E$$

จากสมการที่(1)จะได้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสนามไฟฟ้าซึ่งอยู่ในรูปของสมการอนุพันธ์ได้ดังสมการที่(2)

$$\frac{\partial^2 E}{\partial x^2}+\frac{\partial^2 E}{\partial y^2}+(\mu\varepsilon\omega^2 - j\mu\sigma\omega)E=0 \qquad (2)$$

โดยที่ $\mu = \mu_0\mu_r$ และ $\varepsilon = \varepsilon_0\varepsilon_r$ เมื่อ μ_r คือ สภาพซาบซึมได้ทางแม่เหล็กสัมพัทธ์และ ε_r คือ สภาพยอมทางไฟฟ้าสัมพัทธ์ ซึ่ง $\mu_0 = 4\pi\times10^{-7}$ H/m, $\varepsilon_0 = 8.854\times10^{-12}$ F/m สำหรับค่าพารามิเตอร์ในแต่ละส่วนที่เพื่อใช้สำหรับการจำลองผลนั้นเป็นไปดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าพารามิเตอร์สำหรับการจำลองผล

วัสดุ	Relative permeability	Relative permittivity	Electrical conductivity
โครงเสาส่ง	4000	1	1.45*10^6
ลูกถ้วยไฟฟ้า	1	6	0
สายตัวนำ	1.000022	1.7	$3.538\text{x}10^7$

ประยุกต์วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้างด้วยวิธีกาเลอร์คินซึ่งเป็นกระบวนการหนึ่งของวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์โดยการกำหนดฟังก์ชั่นการถ่วงน้ำหนักให้เท่ากับฟังก์การประมาณภายในอิลิเมนท์จากนั้นดำเนินการจัดรูปสมการรวมของระบบให้อยู่ในรูปสมการเชิงเส้นดังสมการที่(3) เพื่อหาค่าผลเฉลย[3]

$$[K]\{E\} = \{f\} \tag{3}$$

โดยที่

Kคือ ค่าสัมประสิทธิ์ของระบบรวม

Eคือ ค่าสนามไฟฟ้าที่ไม่ทราบค่า ณ ตำแหน่งโนดต่าง ๆ

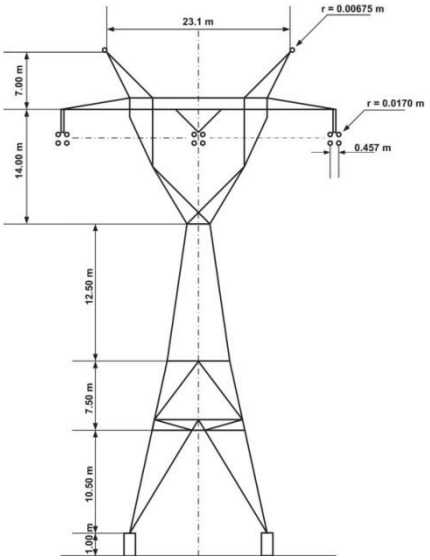
Fคือ ค่าแรงภายนอกที่มากระทำ ณ ตำแหน่งโนดต่าง ๆ

$$[K] = \frac{1}{4\Delta_e}\begin{bmatrix} b_i^2 & b_ib_j & b_ib_k \\ b_ib_j & b_j^2 & b_jb_k \\ b_ib_k & b_kb_j & b_k^2 \end{bmatrix} + \frac{1}{4\Delta_e}\begin{bmatrix} c_i^2 & c_ic_j & c_ic_k \\ c_ic_j & c_j^2 & c_jc_k \\ c_ic_k & c_kc_j & c_k^2 \end{bmatrix}$$
$$-\frac{(-\mu\varepsilon\omega^2 + j\mu\sigma\omega)\Delta_e}{12}\begin{bmatrix} 2 & 1 & 1 \\ 1 & 2 & 1 \\ 1 & 1 & 2 \end{bmatrix}$$

$$\{E\} = \begin{bmatrix} E_i \\ E_j \\ E_k \end{bmatrix} \text{ และ } \{f\} = \frac{Q\Delta_e}{3}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

3. ระบบการจำลองผล

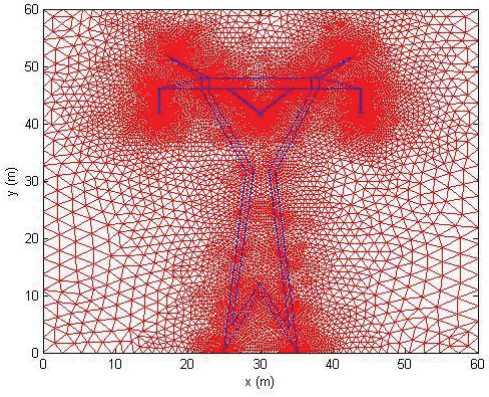
ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าเป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการส่งกำลังไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายหรือแหล่งผลิตไปยังกลุ่มโหลดผู้ใช้งานที่กระจายอยู่ตามภูมิภาคต่าง ๆ โดยดำเนินการส่งจ่ายด้วยระบบส่งไฟฟ้าแรงสูง 69 kV 115 kV 230 kV และ 500 kV ลักษณะของเสาไฟฟ้าก็จะแตกต่างกันตามพิกัดของแรงดัน[2] ในบทความนี้พิจารณาลักษณะของเสาไฟฟ้าที่พิกัดแรงดัน 500 kV วงจรเดี่ยว ตัวนำชนิด 4 บันเดิลชนิดเสา SHเท่านั้น ซึ่งเป็นชนิดของการส่งจ่ายที่มีระดับแรงดันสูงที่สุดในประเทศไทย โดยระดับความสูงของตัวนำเมื่อเทียบจากระดับพื้นดินพิจารณาการวางตำแหน่งตัวนำในตำแหน่งท้องช้างเท่านั้น โดยแต่ละเฟสจะมีระยะห่างระหว่างสายควบเป็น 0.0457เมตรและมีระยะห่างระหว่างสายตัวนำ รวมทั้งระยะห่างระหว่างสายตัวนำและสายดินเหนือศีรษะ แสดงดังรูปที่ 1โดยการจำลองผลพิจารณาค่าสนามไฟฟ้าตั้งแต่ตำแหน่งความสูง 30 เมตรขึ้นไปเพื่อเป็นระดับความสูงที่ใช้สำหรับการติดตั้งสายเคเบิล ADSS[4]



รูปที่ 1 ลักษณะโครงสร้างเสาส่งแรงดัน 500 kV ประเภทเสา SH

4. ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์

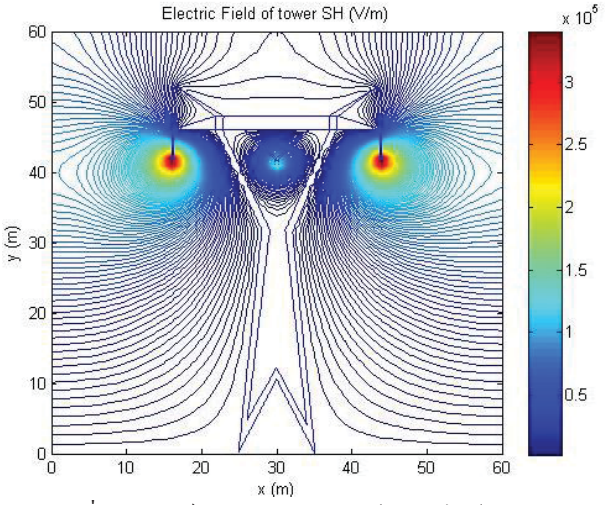
ระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหาที่อยู่ในรูปสมการเชิงอนุพันธ์ โดยการแบ่งรูปร่างขอบเขตของปัญหาออกเป็นอิลิเมนท์แล้วสร้างสมการของแต่ละอิลิเมนท์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์และอิลิเมนท์ต่าง ๆ จะเชื่อมต่อกันด้วยจุดต่อซึ่งเป็นตำแหน่งที่คำนวณหาค่าผลเฉลยแบบประมาณ [5]บทความนี้ได้วิเคราะห์ค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดจากสายส่งไฟฟ้า 500kV โดยมีการเรียงตัวของตัวนำแบบแนวนอนโดยพิจารณาที่ระดับความสูงตั้งแต่ 30 เมตรขึ้นไป ผลการแบ่งรูปร่างของระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าออกเป็นอิลิเมนท์แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ออกแบบกริดและอิลิเมนท์ของระบบ 500 kV ชนิด SH

5. ผลการจำลอง

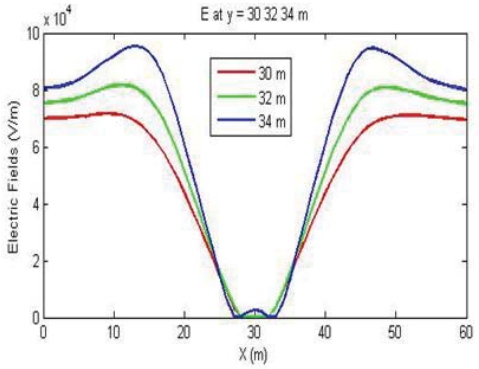
จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อหาค่าความเข้มสนามไฟฟ้า



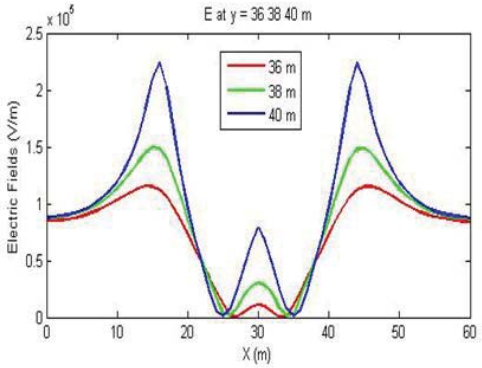
รูปที่ 3 คอนทัวร์การกระจายค่าความเข้มสนามไฟฟ้า (V/m)

ตารางที่ 2สนามไฟฟ้าน้อยที่สุดและมากที่สุดของระบบ 500 kV วงจรเดี่ยว (SH) 4 บันเดิล

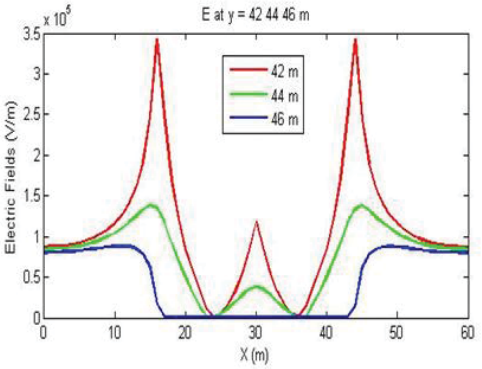
Y (m)	Xmin (m)	Emin (V/m)	Xmax (m)	Emax (V/m)
30	29	2.6451×10^{1}	9	7.1597×10^{4}
31	29	1.6683×10^{1}	10	7.6351×10^{4}
32	29	3.0967×10^{1}	11	8.1707×10^{4}
33	29	4.4034×10^{2}	12	8.7937×10^{4}
34	32	6.8781	13	9.5327×10^{4}
35	27	6.9848×10^{2}	14	1.0431×10^{5}
36	33	2.0786×10^{2}	14	1.1540×10^{5}
37	26	1.1540×10^{3}	15	1.3039×10^{5}
38	34	1.5304×10^{3}	15	1.4968×10^{5}
39	35	4.5371×10^{2}	44	1.7753×10^{5}
40	25	1.1119×10^{3}	16	2.2391×10^{5}
41	25	1.7908×10^{2}	16	3.2356×10^{5}
42	24	1.8631×10^{2}	44	3.4286×10^{5}
43	24	5.3113×10^{2}	16	2.0722×10^{5}
44	37	2.8767×10^{2}	15	1.3869×10^{5}
45	23	1.9391×10^{1}	13	1.0328×10^{5}
46	37	3.2164×10^{-1}	11	8.8282×10^{4}
47	**37**	$\mathbf{3.2707\times10^{-2}}$	9	8.0341×10^{4}
48	38	1.0017×10^{-1}	4	7.6107×10^{4}
49	21	7.3165×10^{1}	2	7.3396×10^{4}
50	20	7.3061×10^{1}	0	7.1061×10^{4}



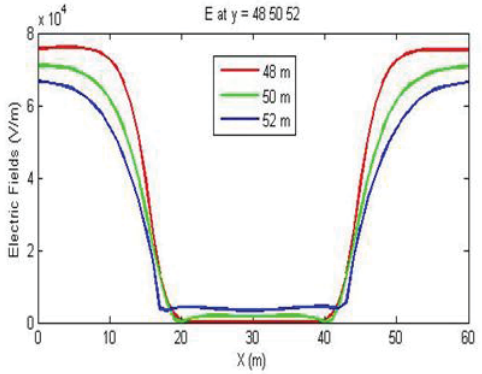
รูปที่ 4 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 30-34 เมตร



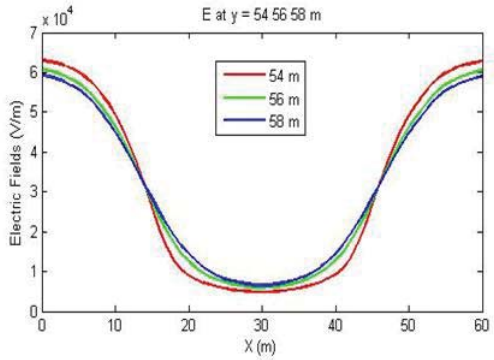
รูปที่ 5 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 36-40 เมตร



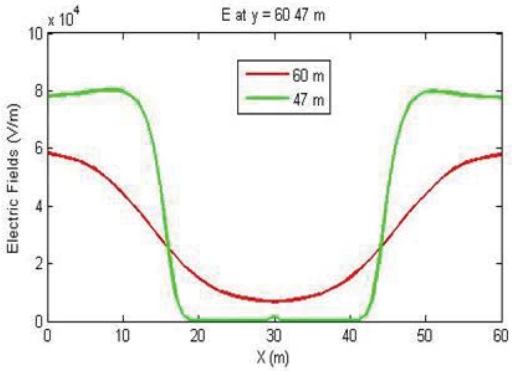
รูปที่ 6 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 42-46 เมตร



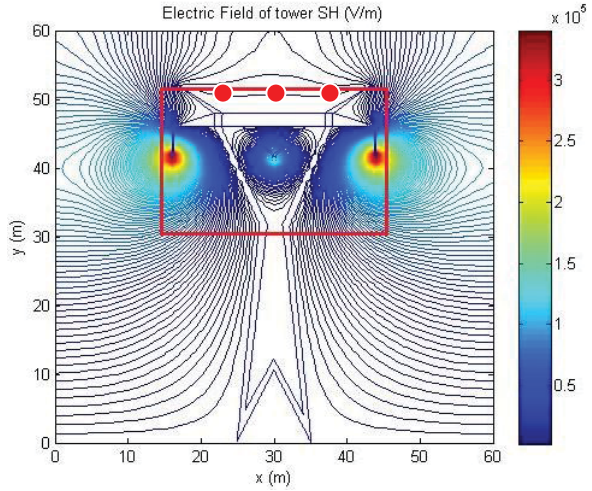
รูปที่ 7 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 48-52 เมตร



รูปที่ 8 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ระดับความสูงจากพื้นดิน 54-58 เมตร



รูปที่ 9 ค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่ความสูงจากพื้นดิน 47m และ 60m



รูปที่ 10 ตำแหน่งติดตั้งสายเคเบิลฯ แบบ ADSS วงจรเดี่ยว 4 บันเดิล

จากผลการจำลองค่าสนามไฟฟ้าจะมีค่ามากที่ตำแหน่งผิวของตัวนำและจะมีค่าน้อยลงเมื่อระยะห่างจากตัวนำมีค่ามากขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งความสูงตั้งแต่ 30 เมตรขึ้นไปซึ่งเป็นตำแหน่งสำหรับการติดตั้งสายเคเบิ้ลเพื่อการสื่อสาร ค่าสนามไฟฟ้าจะมีค่าน้อยลงเมื่อกระจายเข้าใกล้ตำแหน่งของเสาส่งดังแสดงได้จากรูปที่ 3-10 โดยจะมีค่าน้อยมากอย่างเห็นได้ชัดเนื่องจากโครงเสาส่งชนิด SH มีค่า relalive permittivity น้อยทำให้มีคุณสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้าเป็นตัวกลางนำค่าสนามไฟฟ้าให้กระจายผ่านช่วงโครงเสาส่งน้อยลงและถือว่ามีความเหมาะสมสำหรับการติดตั้งสายเคเบิ้ล เนื่องจากผลของสนามไฟฟ้าที่มากระทบที่สายเคเบิ้ลมีค่าน้อย โดยมีค่าประมาณ 1 kV/m ซึ่งไม่เพียงพอที่จะทำให้เกิดการรบกวนที่ตำแหน่งสายเคเบิ้ล

6. สรุปผลการจำลอง

ผลการจำลองสนามไฟฟ้าด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์โดยอาศัยสมการอนุพันธ์เมื่อพิจารณาตำแหน่งการติดตั้งสายเคเบิ้ล ADSS ตั้งแต่ระดับความสูง 30 เมตรขึ้นไปจะเห็นได้ว่าระยะความสูงที่47 เมตรจากระดับพื้นดินและระยะแนวนอนที่ 37 เมตรจากตำแหน่งแนวเขตเดินสายไฟของระดับแรงดัน 500kV จะมีค่าสนามไฟฟ้าน้อยที่สุดโดยมีค่าประมาณ 3.2707×10^{-2} V/m ซึ่งเป็นระยะที่เหมาะสมในการติดตั้งสายเคเบิลฯ แบบ ADSS บนเสาส่งประเภท SH เมื่อเปรียบเทียบกับค่าสนามไฟฟ้าที่ตำแหน่งติดตั้งอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] L. Li and G. Yougang, “Analysis of Magnetic Field Environment near High Voltage Transmission Lines,” Proceedings of the International Conferences on Communication Technology, pp.S26-05-1 - S26-05-5, 1998.

[2] M.V.K. Chari and S.J. Salon, Numerical Methods in Electromagnetism, Academic Press, USA, 2000.

[3] Pao-la-or, P., Kulworawanichpong, T., Sujitjorn, S., and Peaiyoung, S., Distributions of Flux and Electromagnetic Force in Induction Motors: A Finite Element Approach, WSEAS Transactionson Systems, Vol.5, No.3, 2006, pp. 617-624.

[4] Pin-anong, P., The Electromagnetic Field Effects Analysis which Interfere to Environment near the Overhead Transmission Lines and Case Study of Effects Reduction, [M.Eng. thesis], School of Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering, King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 2002.

[5] Hayt, Jr.W.H., and Buck, J.A., Engineering Electromagnetics (7th edition), McGraw-Hill, Singapore, 2006