ก่อเกียรติ อ๊อดทรัพย์ : การวิเคราะห์ และออกแบบระบบป้องกันฟ้าผ่าสำหรับระบบรถไฟฟ้า (ANALYSIS AND DESIGN OF LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS FOR ELECTRIC RAILWAY SYSTEMS) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ธนัดชัย กุลวรวานิชพงษ์, 208 หน้า

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบการป้องกันฟ้าผ่าสำหรับรถไฟฟ้า โดยวิธีการทรงกลมกลิ้งจะใช้ในการวิเคราะห์หาตำแหน่งติดตั้งสายดินขึงอากาศของระบบรถไฟฟ้าแอร์พอร์ตลิงค์ และระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูงของประเทศจีน วิเคราะห์คลื่นจรด้วยระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง จากการเคลื่อนที่ถึงจุดเชื่อมต่อรากสายดิน วิเคราะห์การเกิดวาบไฟย้อนกลับจากแรงดันหักเหของคลื่นจรและแรงดันเสิร์จฟ้าผ่าโดยตรงที่เสาที่มีค่าความต้านทานดินแตกต่างกัน การวิเคราะห์คลื่นจรในสายจ่ายแคทีนารีด้วยระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่อง เพื่อศึกษาคุณลักษณะของคลื่นจรเมื่อเคลื่อนที่ถึงตำแหน่งติดตั้งกับดักเสิร์จ จากแรงดันเสิร์จที่เกิดจากการวาบไฟย้อนกลับ และจากการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงที่สายจ่ายพาดอากาศแคทีนารี ส่วนสุดท้ายของงานวิจัยได้วิเคราะห์ผลของแรงดันเสิร์จต่อสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในหม้อแปลงออโตของระบบรถไฟฟ้าความเร็วสูงด้วยระเบียบวิธีไฟไนท์อิลลิเมนต์ ผลของออกแบบตำแหน่งติดตั้งสายดินขึงอากาศจากการประเมินด้วยวิธีทรงกลมกลิ้งที่การป้องกันระดับ 1 ไม่มีจุดใดของโครงสร้างในระบบสายจ่ายแคทีนารีสัมผัสกับทรงกลมกลิ้ง การวิเคราะห์คลื่นจรด้วยระเบียบวิธีผลต่างสืบเนื่องของสายดินขึงอากาศที่จุดเชื่อมต่อรากสายดิน ผลที่ได้จากการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานดินพบว่า ถ้าความต้านทานดินมีค่าสูง แรงดันหักเหของคลื่นจรจะมีค่าสูง และแรงดันสะท้อนกลับของคลื่นจรจะมีค่าน้อย สำหรับการวิเคราะห์การวาบไฟย้อนกลับไปยังสายจ่ายแคทีนารี จากแรงดันหักเหของคลื่นจร และการเกิดฟ้าผ่าที่เสา สามารถแสดงได้ว่าที่ระดับกระแสฟ้าผ่า และค่าความต้านทานดินเดียวกัน การเกิดวาบไฟย้อนกลับมาจากการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงที่เสา และมีแรงดันวาบไฟย้อนกลับสูงกว่าแรงดันหักเหของคลื่นจรที่สายดินขึงอากาศ สำหรับผลกระทบของแรงดันเสิร์จจากค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นภายในหม้อแปลงออโต เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความคงทนต่อความเครียดสนามไฟฟ้าของฉนวนน้ำมันหม้อแปลง ที่ระดับแรงดันใช้งาน และหม้อแปลงออโตที่ติดตั้งกับดักเสิร์จมีระดับต่ำกว่าค่าความคงทนต่อสนามไฟฟ้าของฉนวนไม่มีการเกิดเบรกดาวน์ หรือดิสชาร์จภายในหม้อแปลงออโต สำหรับหม้อแปลงที่ไม่มีการติดตั้งกับดักเสิร์จเมื่อเกิดฟ้าผ่าที่เสามีกระแสค่ายอด ~100 kA เนื่องมาจากค่าความต้านทานดินตั้งแต่ 7 Ω ขึ้นไปและเกิดวาบไฟย้อนกลับจะเกิดการดิสชาร์จภายในหม้อแปลงออโต เช่นเดียวกับการเกิดฟ้าผ่าโดยตรงที่สายจ่ายแคทีนารี ที่ระดับกระแสฟ้าผ่าตั้งแต่ ~70 kA จะทำให้เกิดการดิสชาร์จภายในหม้อแปลงออโตด้วยเช่นกัน จากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่าการติดตั้งสายดินขึง

อากาศจึงช่วยลดการเกิดวาบไฟย้อนกลับได้ และที่ค่าความต้านทานดินน้อยทำให้การเกิดวาบไฟย้อนกลับลดน้อยลง และการติดตั้งกับดักเสิร์จจึงจำเป็นอย่างมากเพื่อลดความเสียหายจากสนามไฟฟ้าเกิดขึ้นกับหม้อแปลงออโต และระบบสายจ่ายแคทีนารี จากแรงดันเสิร์จฟ้าผ่าที่เกิดขึ้น

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ปีการศึกษา 2559 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

KOKIAT AODSUP : ANALYSIS AND DESIGN OF LIGHTNING PROTECTION SYSTEMS FOR ELECTRIC RAILWAY SYSTEMS. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. THANATCHAI KULWORAWANICHPONG, Ph.D., 208 PP.

LIGHTNING PROTECHTION/HIGH SPEED TRAIN /SURGE PROPAGATION FINITE DIFFERENTIAL TIME DOMAIN/FINITE ELEMENT/AUTO TRANSFORMER

This research presented the design of the lightning protection systems for high-speed railway systems. The rolling sphere method was employed to determine the locations of overhead ground wire installation for the Airport Rail Link (ARL) and Chinese high-speed railway systems. The analyses of a travelling wave by the finite difference time domain method. The analyses of the back flashover from the refracted voltage and surge from lightning striking at the power poles with different resistances of ground were presented. Also, the analysis of the travelling wave in catenary wires by using the finite difference time domain was studied to characterize the surge voltages from back flashover and direct lightning strike at the catenary wires when those travelling voltage waves approached the location of surge arrester installation. The last part of this research took on the analysis of the effects of surge voltage on the electric field in an autotransformer of high-speed railway systems by the finite element method. The result of the design of the overhead ground wire location using the rolling sphere method with protection level 1 showed that none of the catenary structure touched the sphere. For the analysis result of travelling waves

in the overhead ground wire at the grounded point using the finite difference time domain method, the higher ground resistance caused the higher refracted voltage and the lower reflected voltage of the travelling wave. Given the analysis of back flashover occurrence due to the refracted of the travelling wave and direct lightning strike at the power pole when considering the same current and ground resistance for both cases, the back flashover resulted only from the direct lightning strike, i.e. the back flashover voltage was greater than the refracted voltage of the travelling wave. For the effects of the electric field in an autotransformer due to the surge voltage, the electric field strength of the insulated oil in the autotransformer with surge arrester installation could cope with the normal operating voltage, therefore, there was no breakdown or any discharge in the autotransformer. In the case of the direct lightning strike at the power pole with the peak current of -100 kA and considering the autotransformer without surge arrester installation and the ground resistance of over 7 ohm, the back flashover occurred discharge in the autotransformer. Likewise, the direct lightning strike at the catenary wire at the current peak of more than -70 kA also caused discharge in the autotransformer. The results can be summarized that the installation of the overhead ground wire together with the low ground resistance helped prevent the back flashover. Accordingly, the installation of surge arresters was very essential to reduce the adverse effects of electric field due to lightning surge on the autotransformer and catenary system.

School of Electrical Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2016 Advisor's Signature _____