เอกประกอบการสอน

รายวิชา 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า

(Electrical System Design)

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

คำนำ

เอกสารคำสอน รายวิชา 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า (Electrical System Design) สำหรับนักศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ผู้สอนได้จัดทำเอกสารคำสอนฉบับนี้ขึ้น จากการรวบรวมเอกสารและหนังสือให้สอดคล้องในแต่ละหน่วยเรียนของรายวิชาการออกแบบระบบไฟฟ้า โดยเนื้อหาประกอบด้วย หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า สายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า ระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า การออกแบบระบบไฟฟ้า การป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจรและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ การปรับปรุงตัวประกอบกำลัง และระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน ซึ่งใช้ประกอบการสอนตั้งแต่ปีการศึกษา 2556 จนถึงปัจจุบัน โดยมีการปรับปรุงเนื้อหาให้สอดคล้องกับมาตรฐานการติดตั้งระบบไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ เพิ่มเติมรายละเอียด ตัวอย่าง และแบบฝึกหัด เพื่อเป็นเอกสารให้นักศึกษา อ่านประกอบการเข้าเรียน และเป็นการส่งเสริมทักษะ ให้นักศึกษามีการเรียนรู้อย่างเป็นระบบ นอกจากนี้ยังส่งผลให้การเรียนการสอนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น นับเป็นการยกระดับคุณภาพการศึกษาของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครให้สูงขึ้น

นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

2559

สารบัญ

	หน้า
บัญชีภาพและแผนภูมิ	ฉ
บัญชีตาราง	ญ
ลักษณะรายวิชา	ฏ
การแบ่งหน่วยเรียน/บทเรียน/หัวข้อ	ฐ
จุดประสงค์การสอน	ณ
การประเมินผลการเรียน	ถ
ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนน	ท
กำหนดการสอน	ธ
หน่วยที่ 1	1
1.1 หลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า	1
1.1.1	1
1.1.2	2
1.1.3	4
1.1.4	8
1.1.5	9
แบบฝึกหัด	12
1.2 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	13
1.2.1	13
1.2.2	14
1.2.3	16
1.2.4	21
แบบฝึกหัด	28
1.3 มาตรฐานและข้อกำหนดการติดตั้งระบบไฟฟ้า	29
1.3.1 นิยามและข้อกำหนดทั่วไป	29
1.3.2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	54
แบบฝึกหัด	60
หน่วยที่ 2	61

2.1 สายไฟฟ้าและสายเคเบิ้ล 61
2.1.1 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 62
2.1.2 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ 63
2.1.3 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำตาม มอก.11-2553 66
2.1.4 สายไฟฟ้าแรงสูง 71

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.5 การเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสม 76
2.1.6 วิธีการติดตั้งสายไฟฟ้า 77
2.1.7 ตารางพิกัดสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน วสท. 78
2.1.8 การคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้า 111
แบบฝึกหัด 116
2.2 รางเดินสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย 117
2.2.1 ข้อกำหนดการเดินสาย 117
2.2.2 วิธีการเดินสาย 121
แบบฝึกหัด 144
2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า 145
2.3.1 บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง 145
2.3.2 บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ 152
แบบฝึกหัด 162

หน่วยที่ 3 ระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า 163
3.1 ชนิดของการต่อลงดินและวิธีการต่อลงดิน 163
3.1.1 ชนิดของการต่อลงดิน 163
3.1.2 วิธีการต่อลงดิน 167
แบบฝึกหัด 174
3.2 การกำหนดชนิดและขนาดของสายดิน 175
3.2.1 สายต่อหลักดิน 176
3.2.2 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า 176
3.2.3 สายเส้นที่มีการต่อลงดิน 179

3.2.4 สายต่อฝาก 181
แบบฝึกหัด 184

หน่วยที่ 4 การออกแบบระบบไฟฟ้า 185
4.1 โหลดในระบบไฟฟ้า 185
4.1.1 ชนิดของโหลดไฟฟ้า 186
4.1.2 วงจรย่อย 191
4.1.3 สายป้อน 192
4.1.4 สายประธาน 193
แบบฝึกหัด 196

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2 การออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ 197
4.2.1 การออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า 197
4.2.2 การออกแบบวงจรมอเตอร์ 199
แบบฝึกหัด 202
4.3 การคำนวณภาระทางไฟฟ้า 203
4.3.1 การคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท. 203
4.3.2 การประมาณโหลด 206
4.3.3 การจัดทำตารางโหลด 211
แบบฝึกหัด 222

หน่วยที่ 5 การป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจร 223
5.1 การคำนวณกระแสลัดวงจร 223
5.1.1 พื้นฐานเบื้องต้นในการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร 223
5.1.2 การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร 233
แบบฝึกหัด 244
5.2 การประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน 245
5.2.1 การแบ่งระบบการป้องกับไฟฟ้าแรงต่ำ 245
5.2.2 การประสานสัมพันธ์ 249

5.2.3 การป้องกันกระแสผิดพร่องลงดิน 252
แบบฝึกหัด 256
หน่วยที่ 6 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ 257
6.1 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 257
6.1.1 กำลังไฟฟ้า 257
6.1.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 258
6.1.3 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 260
6.1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า 262
แบบฝึกหัด 268
6.2 ฮาร์มอนิกกับการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง 269
6.2.1 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก 269
6.2.2 ผลของฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า 276
6.2.3 ผลของฮาร์มอนิกต่อตัวเก็บประจุ 276
6.2.4 วิธีการแก้ปัญหาฮาร์มอนิก 276
แบบฝึกหัด 280

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

หน่วยที่ 7 ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน 281
7.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง 281
7.1.1 เครื่องต้นกำลังไฟฟ้า 282
7.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 286
7.1.3 แผงควบคุม 287
7.1.4 สวิตช์สับเปลี่ยน 288
แบบฝึกหัด 292
7.2 การติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 293
7.2.1 สถานที่ติดตั้งและฐานติดตั้ง 293
7.2.2 การระบายความร้อนและระบายอากาศ 294
7.2.3 ระบบไอเสีย 298
7.2.4 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง 299
7.2.5 การควบคุมเสียงรบกวน 302

แบบฝึกหัด 304

บรรณานุกรม 305

ประวัติผู้สอน 307

บัญชีภาพและแผนภูมิ

ภาพที่		หน้า
1.1	เครื่องหมายมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สมอ.	5
1.2	สัญลักษณ์ในแบบไฟฟ้า	8
1.3	ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้า	9
1.4	ไดอะแกรมแนวดิ่งของระบบไฟฟ้า	10
1.5	ระบบไฟฟ้ากำลัง	13
1.6	ระบบการใช้กำลังไฟฟ้าของ การไฟฟ้านครหลวง	15
1.7	ระบบการใช้กำลังไฟฟ้าแรงดันต่ำ 3 เฟส 4 สาย	16
1.8	การจ่ายไฟฟ้าในระบบแรงดันต่ำ	17
1.9	ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟฟ้าด้วยสายอากาศ จากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ	18
1.10	ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟฟ้าด้วยสายใต้ดิน จากสายป้อนอากาศของการไฟฟ้าฯ	19
1.11	ผู้ใช้ไฟฟ้ารับไฟฟ้าด้วยสายใต้ดิน จากสายป้อนใต้ดินของการไฟฟ้าฯ	20
1.12	การจ่ายไฟฟ้าแบบ Radial Circuit	22
1.13	การจ่ายไฟฟ้าแบบ Primary Selective	22
1.14	การจ่ายไฟฟ้าแบบ Secondary Selective	23
1.15	การจ่ายไฟฟ้าแบบ Secondary Spot Network	24
1.16	การจ่ายไฟฟ้าแบบ Close Looped Primary	25
1.17	การจ่ายไฟฟ้าแบบ Open Looped Primary	26
2.1	สาย CV	64
2.2	สาย FRC	65
2.3	การวัดแรงดันที่กำหนดตาม มอก. 11-2553	66
2.4	สายไฟฟ้า 60227 IEC 01	69
2.5	สายไฟฟ้า VAF	69
2.6	สายไฟฟ้า NYY	70
2.7	สายไฟฟ้า 60227 IEC 10	71
2.8	สาย AAC	72
2.9	สาย AAAC	72
2.10	สาย ACSR	73
2.11	สาย PIC	73

2.12 สาย SAC 74
2.13 สาย XLPE 75
2.14 สายควบ 77
2.15 การอุดปลายท่อและการซีล 118

บัญชีภาพและแผนภูมิ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

2.16 ตัวอย่างการเดินสายใต้ดิน 119
2.17 ตัวอย่างการจับยึดสายไฟฟ้าในแนวดิ่ง 120
2.18 การป้องกันกระแสเหนี่ยวนำ 120
2.19 ระยะห่างต่ำสุดตามแนวดิ่งของสายไฟฟ้าเหนือพื้น สำหรับระบบแรงต่ำ 122
2.20 ข้อต่อแบบต่าง ๆ 124
2.21 การติดตั้งท่อร้อยสายเข้ากับกล่องต่อสาย 124
2.22 ท่อโลหะอ่อน 127
2.23 ท่อโลหะอ่อนกันของเหลว 128
2.24 ช่องเดินสายอโลหะบนพื้นผิว 129
2.25 รางเดินสาย 132
2.26 รางเดินสายประกอบ 133
2.27 รางเคเบิ้ลแบบบันได 137
2.28 รางเคเบิ้ลแบบมีช่องระบายอากาศ 137
2.29 รางเคเบิ้ลแบบด้านล่างทึบ 138
2.30 ชนิดของสวิตซ์เกียร์ 146
2.31 ตู้สวิตซ์เกียร์แรงดันปานกลาง 147
2.32 ริงเมนยูนิต ในวงจรการเดินแรงดันปานกลางใต้ดิน 148
2.33 ตู้สวิตซ์เกียร์แรงดันปานกลาง 149
2.34 หม้อแปลงน้ำมัน 150
2.35 หม้อแปลง Cast Resin 151
2.36 หม้อแปลงแบบแห้งในเครื่องห่อหุ้ม 152
2.37 MCB 155
2.38 MCCB 155

2.39	ACB	156
2.40	โครงสร้างและส่วนประกอบต่าง ๆ ของแผงย่อย	157
2.41	ลักษณะของแผงสวิตช์	160
3.1	ส่วนประกอบต่าง ๆ ของระบบการต่อลงดิน	164
3.2	การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าแรงดันตั้งแต่ 50 โวลต์แต่ไม่ถึง 1,000 โวลต์	165
3.3	การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าเคลื่อนที่ได้ ซึ่งรับไฟจากระบบไฟฟ้าแรงสูง	166
3.4	การต่อลงดินของระบบไฟฟ้าที่เมนสวิตช์	168
3.5	การต่อลงดินของระบบไฟฟ้า เมื่อมีหม้อแปลงไฟฟ้าอยู่นอกอาคาร	168
3.6	ตัวอย่างการต่อลงดินของเมนสวิตช์ขนาดเล็ก เมื่อใช้คัตเอาต์	169
3.7	ตัวอย่างการต่อลงดินของเมนสวิตช์ขนาดเล็ก เมื่อใช้เซอร์กิตเบรกเกอร์	169

บัญชีภาพและแผนภูมิ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.8	การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าและระบบไฟฟ้า	170
3.9	การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ กรณีระบบไฟฟ้าต่อลงดิน	171
3.10	การต่อลงดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้าที่เมนสวิตช์ กรณีระบบไฟฟ้าไม่ต่อลงดิน	171
3.11	ทางเดินกระแสไหลกลับของกระแสลัดวงจร เมื่อเดินสายดินไปที่เมนสวิตช์	172
3.12	ทางเดินกระแสไหลกลับของกระแสลัดวงจร เมื่อปักหลักดินที่บริภัณฑ์	172
3.13	การต่อสายดินเข้ากับสายนิวทรัล	172
3.14	ระบบสายดินของวงจร	175
3.15	ประกอบการตัวอย่างที่ 3.1	177
3.16	ขนาดสายดิน กรณีเดินสายควบ (สายวงจรแสดงเพียงเส้นเดียว)	178
3.17	การใช้สายดินร่วมกัน	179
3.18	ประกอบการคำนวณตัวอย่างที่ 3.3	180
3.19	การแบ่งด้านไฟเข้าและด้านไฟออกของการต่อฝาก	182
4.1	ประกอบการคำนวณตัวอย่างที่ 4.5	212
4.2	ไดอะแกรมแยกต่างหากจากตารางโหลด	215
4.3	ประกอบการคำนวณตัวอย่างที่ 4.6	216
5.1	ชนิดของการลัดวงจร	225
5.2	แหล่งจ่ายไฟสมมูล	226
5.3	ระบบและวงจรสมมูล	227

5.4	ค่า K จะขึ้นอยู่กับค่า R/X หรือ X/R	234
5.5	อิมพีแดนซ์ไดอะแกรมประกอบตัวอย่างที่ 5.1	236
5.6	จุดลัดวงจรที่ตำแหน่ง F_1	238
5.7	จุดลัดวงจรที่ตำแหน่ง F_2	239
5.8	ตัวอย่าง Single-Line Diagram ของระบบไฟฟ้าอย่างง่าย	246
5.9	ลักษณะของ Fully Selective Protective System	247
5.10	ลักษณะของ Partially Selective Protective System	247
5.11	ตัวอย่าง Single-Line Diagram ในกรณีของ Cascade Protective System	248
5.12	การเผื่อ Coordination Time ของเซอร์กิตเบรกเกอร์	251
5.13	การจัดความสัมพันธ์แบบ Time Current Band Selective	253
5.14	การจัดความสัมพันธ์แบบ Zone Selective Interlock	254
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้ากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้า	258
6.2	แผนภาพเฟสเซอร์กระแสและแรงดัน	259
6.3	สามเหลี่ยมกำลังไฟฟ้า	260

บัญชีภาพและแผนภูมิ (ต่อ)

ภาพที่		**หน้า**
6.4	กำลังไฟฟ้าสูญเสียที่ลดลงในสายเคเบิ้ล เมื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าให้มีค่าสูงขึ้น	264
6.5	แหล่งจ่ายไฟแบบหนึ่งเฟส	270
6.6	กระแสฮาร์มอนิกสเปคตรัมของแหล่งจ่ายไฟแบบหนึ่งเฟส	270
6.7	ฮาร์มอนิกที่เกิดจากหลอดฟลูออเรสเซนส์ที่ใช้บัลลาสต์แกนเหล็ก	271
6.8	ฮาร์มอนิกที่เกิดจากหลอดฟลูออเรสเซ้นต์ที่ใช้บัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์	272
6.9	กระแสและเสปคตรัมของอินเวอร์เตอร์กระแสของอุปกรณ์ ASD	273
6.10	กระแสและเสปคตรัมจาก PWM-type ASD	273
6.11	ฮาร์มอนิกที่เกิดจากการทำงานของ PWM-type ASD	274
6.12	วงจรสมมูลของอุปกรณ์อาร์ค	274
6.13	คุณสมบัติการอิ่มตัวของแกนเหล็กหม้อแปลง	275
6.14	กระแสกระตุ้นและสเปคตรัมของหม้อแปลง	275
7.1	ชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าและบริภัณฑ์ประกอบ	282

7.2	เครื่องยนต์ดีเซลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ระบบ 4 สูบ	283
7.3	ระบบน้ำมันเชื้อเพลิงของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	285
7.4	องค์ประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	287
7.5	การติดตั้งเครื่องกำนิดไฟฟ้าสำรอง และการป้องกัน	288
7.6	ลักษณะรูปแบบของ ATS	289
7.7	ไดอะแกรมเส้นเดี่ยว แสดงสวิตซ์สับเปลี่ยน	290
7.8	เครื่องยนต์ระบายความร้อนด้วยน้ำหล่อเย็น โดยใช้พัดลมขับจากเครื่องยนต์	295
7.9	เครื่องยนต์ที่มีระบบระบายความร้อนแยกส่วนต่างหาก	296
7.10	เครื่องยนต์ติดตั้งระบบระบายความร้อนด้วยเครื่องแลกเปลี่ยนความร้อนวงจรปิด	297
7.11	การติดตั้งถังน้ำมันสำรอง	301

บัญชีตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ความลึก (Depth) ต่ำสุดของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานกับบริภัณฑ์ไฟฟ้า ระบบแรงต่ำ	43
1.2	ความลึก (Depth) ต่ำสุดของที่ว่างเพื่อปฏิบัติงานกับบริภัณฑ์ไฟฟ้า ระบบแรงสูง	44
1.3	ระดับความสูงของส่วนที่มีไฟฟ้าและไม่มีที่กั้น	45
1.4	ระยะห่างต่ำสุดตามแนวนอนระหว่างสายไฟฟ้ากับสิ่งก่อสร้าง เมื่อสายไฟฟ้าไม่ยึดติดกับสิ่งก่อสร้าง (เมตร)	49
1.5	ระยะห่างต่ำสุดตามแนวดิ่งระหว่างสายไฟฟ้า กับพื้น แหล่งน้ำ อาคาร หรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ (เมตร)	50
1.6	ความหมายตัวเลขกำกับระดับการป้องกันหลังสัญลักษณ์ IP	58
2.1	เปรียบเทียบคุณสมบัติทองแดงและอะลูมิเนียม	62
2.2	คุณสมบัติฉนวน PVC และ XLPE	63
2.3	เครื่องหมายแบ่งคุณสมบัติการทนไฟ อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทดสอบ	66
2.4	ความลึกในการติดตั้งใต้ดิน สำหรับระบบแรงดันต่ำ	117
2.5	ระยะห่างสำหรับการจับยึดสายไฟในแนวดิ่ง	119
2.6	ระยะห่างต่ำสุดตามแนวดิ่งของสายไฟฟ้าเหนือพื้น	122
2.7	การเดินสายเปิดบนวัสดุฉนวนภายในอาคาร	123
2.8	การเดินสายเปิดบนลูกถ้วยภายนอกอาคาร	123
2.9	พื้นที่หน้าตัดรวมของสายไฟทุกเส้นคิดเป็นร้อยละเทียบกับพื้นที่หน้าตัดของท่อ	125
2.10	ขนาดพื้นที่หน้าตัดของท่อร้อยสาย	125
2.11	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของสายไฟฟ้า	126
2.12	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกัน มอก.11-2553 รหัสชนิด 60227 IEC 01 ที่ให้ใช้ในท่อโลหะตาม มอก.770-2553	130
2.13	จำนวนสายสูงสุดของสายไฟฟ้าขนาดเดียวกัน มอก.11-2553 รหัส NYY แกนเดียว ที่ให้ใช้ในท่อโลหะตาม มอก.770-2553	131
2.14	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้า IEC 01 ในรางเดินสาย (Wireways)	134
2.15	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้า NYY ในรางเดินสาย (Wireways)	134
2.16	จำนวนสูงสุดของสายไฟฟ้า XLPE ในรางเดินสาย (Wireways)	136
3.1	ขนาดสายต่อหลักดินของระบบไฟฟ้ากระแสสลับ	176
3.2	ขนาดสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า	177

4.1	ค่าโหลดของหลอด FL	186
4.2	ค่าโหลดของหลอด FL ชนิดประหยัดไฟ	187
4.3	ค่าโหลดของหลอด HID	187
4.4	ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 1 เฟส 230 V	188

บัญชีตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.5	ค่าโหลดของเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split Type) 3 เฟส 400 V	188
4.6	ค่าโหลดของลิฟต์ 3 เฟส 400 V	189
4.7	ค่าโหลดของบันไดเลื่อน 3 เฟส 400 V	190
4.8	โหลดอุปกรณ์ไฟฟ้า	190
4.9	พิกัดสูงสุดของเครื่องป้องกันกระแสเกินและโหลดสูงสุดตามขนาดเครื่องวัดหน่วยไฟฟ้า (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง)	193
4.10	ขนาดสายไฟฟ้า เซฟตี้สวิตเอาต์ และคาร์ทริดจ์ฟิวส์สำหรับเมนสวิตช์ (สำหรับการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค)	193
4.11	ดีมานด์แฟกเตอร์ของสายป้อนแสงสว่าง	203
4.12	ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับโหลดของเต้ารับที่ไม่ใช่ที่อยู่อาศัย	204
4.13	ดีมานด์แฟกเตอร์สำหรับเครื่องใช้ไฟฟ้าทั่วไป	204
4.14	การประมาณโหลดไฟฟ้าแสงสว่างในอาคารชนิดต่าง ๆ	207
4.15	การประมาณโหลดไฟฟ้าเต้ารับในอาคารชนิดต่าง ๆ	207
4.16	การประมาณโหลดไฟฟ้าเครื่องปรับอากาศในอาคารชนิดต่าง ๆ	208
4.17	การประมาณโหลดตามชนิดของอาคาร	208
4.18	การประมาณโหลดอื่น ๆ	209
4.19	ตัวอย่างตารางโหลด	212
4.20	ตารางโหลดที่ได้จากการคำนวณในตัวอย่างที่ 4.5	214
4.21	ตารางโหลดแผงย่อย L-1	217
4.22	ตารางโหลดแผงย่อย L-2	217
4.23	ตารางโหลดสำหรับแผงเมน	219
4.24	ขนาดที่แนะนำของสายเมนเข้าอาคารและสายต่อหลักดิน สำหรับเครื่องวัดขนาดต่าง ๆ (สำหรับการไฟฟ้านครหลวง)	220

5.1	ค่าประกอบแรงดัน (Voltage Factor c)	226
5.2	หม้อแปลงไฟฟ้า ด้านแรงต่ำ 400/230 V	230
5.3	สายไฟฟ้าแรงต่ำหุ้มด้วยฉนวน PVC	231
5.4	บัสเวย์	232
6.1	ตารางการหาค่าการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	261
6.2	Tuning Frequency	278
7.1	ขนาดของถังน้ำมันสำรอง	300

ลักษณะรายวิชา

1. **รหัสและชื่อวิชา** 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า
   (Electrical System Design)
2. **สภาพรายวิชา** หมวดวิชาเฉพาะ กลุ่มวิชาชีพบังคับ
   หลักสูตรปริญญาตรี
3. **ระดับรายวิชา** ภาคการศึกษาที่ 2 ชั้นปีที่ 3
4. **พื้นฐาน** -
5. **เวลาศึกษา** 48 คาบเรียนตลอด 16 สัปดาห์ เป็นทฤษฎี 3 คาบเรียนต่อสัปดาห์ และศึกษาค้นคว้านอกเวลา 6 ชั่วโมงต่อสัปดาห์
6. **จำนวนหน่วยกิต** 3 หน่วยกิต
7. **จุดมุ่งหมายของรายวิชา**
   1. รู้หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า
   2. เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับสายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า
   3. เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า
   4. คำนวณการออกแบบระบบไฟฟ้า
   5. ออกแบบการป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจร
   6. ออกแบบการปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ
   7. เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน
   8. มีจิตสำนึกที่ดีในเรื่องที่เกี่ยวกับคุณธรรม และจริยธรรมวิชาชีพ
8. **คำอธิบายรายวิชา**

อ้างอิงจากคำอธิบายตามหลักสูตรระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า พ.ศ. 2555

หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า มาตรฐานและข้อกำหนด ผังการจ่ายกำลังไฟฟ้า สายไฟฟ้าและสายเคเบิ้ล รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า การคำนวณภาระทางไฟฟ้า การปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ การออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้ ภาระโหลด สายป้อน และสายประธาน ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน การคำนวณกระแสลัดวงจร ระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า

การแบ่งหน่วย/ บทเรียน / หัวข้อ

หน่วยที่	รายการ	คาบ
1	หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า	6 คาบ
	1.1 xxxxxหลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า	90 นาที
	1.1.1 XXXงานการออกแบบระบบไฟฟ้า	
	1.1.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดี	
	1.1.3 มาตรฐานในการออกแบบระบบไฟฟ้า	
	1.1.4 สัญลักษณ์ในแบบไฟฟ้า	
	1.1.5 แบบไฟฟ้า	
	1.2 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	90 นาที
	1.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง	
	1.2.2 การส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทย	
	1.2.3 ลักษณะผังการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า	
	1.2.4 การจัดวงจรการจ่ายไฟฟ้า	
	1.3 มาตรฐานและข้อกำหนดการติดตั้งระบบไฟฟ้า	180 นาที
	1.3.1 นิยามและข้อกำหนดทั่วไป	
	1.3.2 มาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	
2	สายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า	9 คาบ
	2.1 สายไฟฟ้าและสายเคเบิ้ล	270 นาที
	2.1.1 ส่วนประกอบของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
	2.1.2 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
	2.1.3 สายไฟฟ้าแรงดันต่ำตาม มอก.11-2553	
	2.1.4 สายไฟฟ้าแรงสูง	
	2.1.5 การเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสม	
	2.1.6 วิธีการติดตั้งสายไฟฟ้า	

	2.1.7 ตารางพิกัดสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน วสท.	
	2.1.8 การคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้า	
	2.2 รางเดินสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย	180 นาที
	2.2.1 ข้อกำหนดการเดินสาย	
	2.2.2 วิธีการเดินสาย	
	2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า	90 นาที
	2.3.1 บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง	
	2.3.2 บริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ	

การแบ่งหน่วย/ บทเรียน / หัวข้อ (ต่อ)

หน่วยที่	รายการ	คาบ
3	ระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า	6 คาบ
	3.1 ชนิดของการต่อลงดินและวิธีการต่อลงดิน	180 นาที
	3.1.1 ชนิดของการต่อลงดิน	
	3.1.2 วิธีการต่อลงดิน	
	3.2 การกำหนดชนิดและขนาดของสายดิน	180 นาที
	3.2.1 สายต่อหลักดิน	
	3.2.2 สายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า	
	3.2.3 สายเส้นที่มีการต่อลงดิน	
	3.2.4 สายต่อฝาก	
4	การออกแบบระบบไฟฟ้า	6 คาบ
	4.1 โหลดในระบบไฟฟ้า	90 นาที
	4.1.1 ชนิดของโหลดไฟฟ้า	
	4.1.2 วงจรย่อย	
	4.1.3 สายป้อน	
	4.1.4 สายประธาน	
	4.2 การออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้	90 นาที
	4.2.1 การออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า	
	4.2.2 การออกแบบวงจรมอเตอร์	

	4.3 การคำนวณภาระทางไฟฟ้า	180 นาที
	4.3.1 การคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท.	
	4.3.2 การประมาณโหลด	
	4.3.3 การจัดทำตารางโหลด	
5	การป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจร	6 คาบ
	5.1 การคำนวณกระแสลัดวงจร	180 นาที
	5.1.1 พื้นฐานเบื้องต้นในการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร	
	5.1.2 การคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร	
	5.2 การประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน	180 นาที
	5.2.1 การแบ่งระบบการป้องกับไฟฟ้าแรงต่ำ	
	5.2.2 การประสานสัมพันธ์	
	5.2.3 การป้องกันกระแสผิดพร่องลงดิน	

การแบ่งหน่วย/ บทเรียน / หัวข้อ (ต่อ)

หน่วยที่	รายการ	คาบ
6	การปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ	6 คาบ
	6.1 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	180 นาที
	6.1.1 กำลังไฟฟ้า	
	6.1.2 ค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
	6.1.3 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
	6.1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
	6.2 ฮาร์มอนิกกับการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	180 นาที
	6.2.1 แหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก	
	6.2.2 ผลของฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า	
	6.2.3 ผลของฮาร์มอนิกต่อตัวเก็บประจุ	
	6.2.4 วิธีการแก้ปัญหาฮาร์มอนิก	
7	ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน	6 คาบ
	7.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	180 นาที
	7.1.1 เครื่องต้นกำลังไฟฟ้า	

	7.1.2 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	7.1.3 แผงควบคุม	
	7.1.4 สวิตช์สับเปลี่ยน	
	7.2 การติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	180 นาที
	7.2.1 สถานที่ติดตั้งและฐานติดตั้ง	
	7.2.2 การระบายความร้อนและระบายอากาศ	
	7.2.3 ระบบไอเสีย	
	7.2.4 ระบบน้ำมันเชื้อเพลิง	
	7.2.5 การควบคุมเสียงรบกวน	
	รวมจำนวนคาบทั้งสิ้น	**45**

หมายเหตุ

สัปดาห์การเรียน	15	สัปดาห์
สอบปลายภาค	1	สัปดาห์

จุดประสงค์การสอน

หน่วยที่	รายการ	คาบ
1	รู้หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า	6 คาบ
	1.1 รู้หลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า	90 นาที
	1.1.1 บอกงานการออกแบบระบบไฟฟ้า	
	1.1.2 บอกการออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดี	
	1.1.3 บอกข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบระบบไฟฟ้า	
	1.1.4 ระบุสัญลักษณ์ในแบบไฟฟ้า	
	1.1.5 บอกลักษณะแบบไฟฟ้า	
	1.2 รู้หลักการระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	90 นาที
	1.2.1 บอกความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับระบบไฟฟ้ากำลัง	

	1.2.2 บอกลักษณะการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในประเทศไทย	
	1.2.3 บอกลักษณะผังการจ่ายกำลังไฟฟ้าให้กับผู้ใช้ไฟฟ้า	
	1.2.4 บอกลักษณะการจัดวงจรการจ่ายไฟฟ้า	
	1.3 รู้กฎเกณฑ์มาตรฐานและข้อกำหนดการติดตั้งระบบไฟฟ้า	180 นาที
	1.3.1 บอกนิยามและข้อกำหนดทั่วไป	
	1.3.2 บอกข้อกำหนดมาตรฐานสายไฟฟ้าและบริภัณฑ์ไฟฟ้า	
2	เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับสายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า	9 คาบ
	2.1 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับสายไฟฟ้าและสายเคเบิ้ล	270 นาที
	2.1.1 บอกส่วนประกอบของสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
	2.1.2 อธิบายลักษณะสายไฟฟ้าแรงดันต่ำ	
	2.1.3 อธิบายลักษณะสายไฟฟ้าแรงดันต่ำตาม มอก.11-2553	
	2.1.4 อธิบายลักษณะสายไฟฟ้าแรงสูง	
	2.1.5 ยกตัวอย่างการเลือกสายไฟฟ้าที่เหมาะสม	
	2.1.6 อธิบายวิธีการติดตั้งสายไฟฟ้า	
	2.1.7 อธิบายตารางพิกัดสายไฟฟ้าตามมาตรฐาน วสท.	
	2.1.8 ยกตัวอย่างการคำนวณหาขนาดสายไฟฟ้า	
	2.2 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับรางเดินสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย	180 นาที
	2.2.1 บอกข้อกำหนดการเดินสาย	
	2.2.2 อธิบายวิธีการเดินสาย	
	2.3 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับอุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า	90 นาที
	2.3.1 อธิบายบริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันปานกลาง	
	2.3.2 อธิบายบริภัณฑ์ไฟฟ้าแรงดันต่ำ	

จุดประสงค์การสอน (ต่อ)

หน่วยที่	รายการ	คาบ
3	เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า	6 คาบ
	3.1 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับชนิดของการต่อลงดินและวิธีการต่อลงดิน	180 นาที
	3.1.1 บอกชนิดของการต่อลงดิน	
	3.1.2 อธิบายวิธีการต่อลงดิน	

	3.2 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับการกำหนดชนิดและขนาดของสายดิน	180 นาที
	3.2.1 อธิบายสายต่อหลักดิน	
	3.2.2 อธิบายสายดินของบริภัณฑ์ไฟฟ้า	
	3.2.3 อธิบายสายเส้นที่มีการต่อลงดิน	
	3.2.4 อธิบายสายต่อฝาก	
4	คำนวณการออกแบบระบบไฟฟ้า	6 คาบ
	4.1 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับโหลดในระบบไฟฟ้า	90 นาที
	4.1.1 บอกชนิดของโหลดไฟฟ้า	
	4.1.2 อธิบายวงจรย่อย	
	4.1.3 อธิบายสายป้อน	
	4.1.4 อธิบายสายประธาน	
	4.2 คำนวณการออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้	90 นาที
	4.2.1 คำนวณการออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์ไฟฟ้า	
	4.2.2 คำนวณการออกแบบวงจรมอเตอร์	
	4.3 เข้าใจหลักการคำนวณภาระทางไฟฟ้า	180 นาที
	4.3.1 อธิบายการคำนวณโหลดตามมาตรฐาน วสท.	
	4.3.2 อธิบายการประมาณโหลด	
	4.3.3 อธิบายการจัดทำตารางโหลด	
5	ออกแบบการป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจร	6 คาบ
	5.1 เข้าใจหลักการคำนวณกระแสลัดวงจร	180 นาที
	5.1.1 อธิบายพื้นฐานเบื้องต้นในการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร	
	5.1.2 อธิบายขั้นตอนการคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร	
	5.2 วางแผนการประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน	180 นาที
	5.2.1 บอกการแบ่งระบบการป้องกับไฟฟ้าแรงต่ำ	
	5.2.2 อธิบายการประสานสัมพันธ์	
	5.2.3 วางหลักการป้องกันกระแสผิดพร่องลงดิน	

จุดประสงค์การสอน (ต่อ)

หน่วยที่	รายการ	คาบ
6	ออกแบบการปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ	6 คาบ
	6.1 วางแผนการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	180 นาที
	6.1.1 อธิบายกำลังไฟฟ้า	
	6.1.2 อธิบายค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
	6.1.3 ออกแบบการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
	6.1.4 อธิบายประโยชน์ที่ได้รับจากการปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	
	6.2 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับฮาร์มอนิกกับการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	180 นาที
	6.2.1 บอกแหล่งกำเนิดฮาร์มอนิก	
	6.2.2 อธิบายผลของฮาร์มอนิกต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า	
	6.2.3 อธิบายผลของฮาร์มอนิกต่อตัวเก็บประจุ	
	6.2.4 อธิบายขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาฮาร์มอนิก	
7	เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน	6 คาบ
	7.1 เข้าใจเรื่องเกี่ยวกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	180 นาที
	7.1.1 อธิบายลักษณะเครื่องต้นกำลังไฟฟ้า	
	7.1.2 อธิบายลักษณะเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
	7.1.3 อธิบายลักษณะแผงควบคุม	
	7.1.4 อธิบายลักษณะสวิตช์สับเปลี่ยน	
	7.2 เข้าใจหลักการติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	180 นาที
	7.2.1 อธิบายสถานที่ติดตั้งและฐานติดตั้ง	
	7.2.2 อธิบายการระบายความร้อนและระบายอากาศ	
	7.2.3 อธิบายระบบไอเสีย	
	7.2.4 อธิบายระบบน้ำมันเชื้อเพลิง	
	7.2.5 อธิบายการควบคุมเสียงรบกวน	
	รวมจำนวนคาบทั้งสิ้น	**45**

<u>หมายเหตุ</u>

สัปดาห์การเรียน	15	สัปดาห์
สอบปลายภาค	1	สัปดาห์

การประเมินผลรายวิชา

รายวิชา 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า แบ่งเป็น 7 หน่วยเรียน แยกได้ 17 บทเรียน

การวัดและประเมินผลรายวิชาดำเนินการ ดังนี้

1. วิธีการ ดำเนินการรวบรวมข้อมูลเพื่อการประเมินผลแยกเป็น 3 ส่วน โดยแบ่งแยกคะแนนแต่ละส่วนจากคะแนนเต็ม ทั้งรายวิชา 100 คะแนน ดังนี้

1.1 ผลงานที่มอบหมาย 20 คะแนน หรือ 20 %

1.2 พิจารณาจากจิตนิสัย ความตั้งใจ และการเข้าร่วมกิจกรรม 10 คะแนน หรือ 10 %

1.3 การทดสอบแต่ละหน่วยเรียน 70 คะแนน หรือ 70 %

2. เกณฑ์ผ่านรายวิชา ผู้ที่จะผ่านรายวิชานี้จะต้อง

2.1 มีเวลาเข้าชั้นเรียนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 80 ของเวลาเรียน

2.2 ได้คะแนนรวมทั้งรายวิชาไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของคะแนนรวม

3. เกณฑ์ค่าระดับคะแนน

3.1 พิจารณาตามเกณฑ์ผ่านข้อ 2. ผู้ไม่ผ่านตามเกณฑ์ข้อ 2. จะได้รับระดับคะแนน จ หรือ F

3.2 ผู้ที่สอบผ่านเกณฑ์ข้อ 2. จะได้รับค่าระดับคะแนน ตามเกณฑ์ดังนี้

คะแนนร้อยละ 80 ขึ้นไป	ได้	ก	หรือ	A
คะแนนร้อยละ 75 - 79	ได้	ข$^{+}$	หรือ	B^{+}
คะแนนร้อยละ 70 - 74	ได้	ข	หรือ	B
คะแนนร้อยละ 65 - 69	ได้	ค$^{+}$	หรือ	C^{+}
คะแนนร้อยละ 60 - 64	ได้	ค	หรือ	C
คะแนนร้อยละ 55 - 59	ได้	ง$^{+}$	หรือ	D^{+}
คะแนนร้อยละ 50 - 54	ได้	ง	หรือ	D

ตารางกำหนดน้ำหนักคะแนน

เลขที่หน่วย	คะแนนรายหน่วย และน้ำหนักคะแนน / ชื่อหน่วยเรียน	คะแนนรายหน่วย	น้ำหนักคะแนน				
			พุทธิพิสัย				ทักษะพิสัย
			ความรู้	ความเข้าใจ	การนำไปใช้	สูงกว่า	
1	หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า 6 คาบ/ 45 x 70	10	6	4	-	-	-
2	สายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า	14	8	6	-	-	-
3	ระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า	9	6	3	-	-	-
4	การออกแบบระบบไฟฟ้า	10	6	3	1	-	-
5	การป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจร	9	4	2	2	1	-
6	การปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ	9	4	2	2	1	-
7	ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน	9	6	4	-	-	-
	คะแนนภาควิชาการ (สอบ)	70					
	คะแนนภาคผลงาน (ที่มอบหมาย)	20					
	คะแนนภาคจิตพิสัย	10					
	รวมทั้งสิ้น	**100**					

กำหนดการสอน

รายวิชา 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า

Electrical System Design

อาจารย์ผู้สอน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

สัปดาห์	คาบเรียนที่	รายการสอน	หมายเหตุ
1	1-3	**หน่วยที่ 1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า** 1.1 หลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า 1.2 ระบบส่งจ่ายกำลังไฟฟ้า	
2	4-6	**หน่วยที่ 1 หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า** 1.3 มาตรฐานและข้อกำหนดการติดตั้งระบบไฟฟ้า	
3	7-9	**หน่วยที่ 2 สายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า** 2.1 สายไฟฟ้าและสายเคเบิ้ล	
4	10-12	**หน่วยที่ 2 สายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า**	

		2.1 สายไฟฟ้าและสายเคเบิ้ล 2.2 รางเดินสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย	
5	13-15	**หน่วยที่ 2 สายไฟฟ้า รางเดินสายไฟฟ้า อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า** 2.2 รางเดินสายไฟฟ้าและวิธีการเดินสาย 2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือทางไฟฟ้า	
6	16-18	**หน่วยที่ 3 ระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า** 3.1 ชนิดของการต่อลงดินและวิธีการต่อลงดิน	
7	19-21	**หน่วยที่ 3 ระบบสายดินสำหรับการติดตั้งไฟฟ้า** 3.2 การกำหนดชนิดและขนาดของสายดิน	
8	22-24	**หน่วยที่ 4 การออกแบบระบบไฟฟ้า** 4.1 โหลดในระบบไฟฟ้า 4.2 การออกแบบวงจรแสงสว่างและอุปกรณ์เครื่องใช้	
9	25-27	**หน่วยที่ 4 การออกแบบระบบไฟฟ้า** 4.3 การคำนวณภาระทางไฟฟ้า	

กำหนดการสอน (ต่อ)

รายวิชา 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า

Electrical System Design

อาจารย์ผู้สอน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ

สัปดาห์	คาบเรียนที่	รายการสอน	หมายเหตุ
10	28-30	**หน่วยที่ 5 การป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจร** 5.1 การคำนวณกระแสลัดวงจร	
11	31-33	**หน่วยที่ 5 การป้องกันการเกิดกระแสลัดวงจร** 5.2 การประสานสัมพันธ์ของบริภัณฑ์ป้องกัน	
12	34-36	**หน่วยที่ 6 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ** 6.1 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังไฟฟ้า	

13	37-39	**หน่วยที่ 6 การปรับปรุงตัวประกอบกำลังและการออกแบบวงจรตัวเก็บประจุ** 6.2 ฮาร์มอนิกกับการปรับปรุงตัวประกอบกำลัง	
14	40-42	**หน่วยที่ 7 ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน** 7.1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง	
15	43-45	**หน่วยที่ 7 ระบบไฟฟ้าฉุกเฉิน** 7.2 การติดตั้งชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า	
16	46-48	**การสอบปลายภาคเรียน**	

หน่วยที่ 1
หลักการพื้นฐานของการออกแบบระบบไฟฟ้า

บทเรียน เรื่อง หลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า

จุดประสงค์การสอน

1.1 รู้หลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า

1.1.1 บอกงานการออกแบบระบบไฟฟ้า

1.1.2 บอกการออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดี

1.1.3 บอกข้อกำหนดมาตรฐานในการออกแบบระบบไฟฟ้า

1.1.4 ระบุสัญลักษณ์ในแบบไฟฟ้า

1.1.5 บอกลักษณะแบบไฟฟ้า

1.1 หลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า

การออกแบบระบบไฟฟ้า หมายถึง การพัฒนาแบบแปลน หรือ วิธีการเพื่อจ่ายกำลังไฟฟ้าจากจุดจ่ายไฟฟ้าของการไฟฟ้าฯ ไปยังอุปกรณ์ใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ หรือว่าจ่ายสัญญาณไฟฟ้า จากจุดรับสัญญาณไฟฟ้านั้น ๆ ไปยังอุปกรณ์ใช้งาน

การออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นงานที่กว้างขวาง ต้องการข้อมูลมากมายเพื่อประกอบการตัดสินใจเลือกใช้ระบบและอุปกรณ์ที่เหมาะสม ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องเป็นผู้ใฝ่รู้และมีความสนใจในวิชาการต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เนื่องจากงานออกแบบระบบไฟฟ้านั้นผู้ออกแบบจะต้องมีความรับผิดชอบงานด้านต่าง ๆ เพื่อให้ได้แบบของระบบไฟฟ้าที่ดี มีความถูกต้อง และปลอดภัยในการใช้งาน

1.1.1 งานการออกแบบระบบไฟฟ้า

งานของการออกแบบระบบไฟฟ้า ผู้ออกแบบจะต้องรับผิดชอบงานอยู่หลายระบบ โดยอาจแยกออกได้เป็น 2 ระบบ คือ ระบบไฟฟ้ากำลัง และระบบไฟฟ้าสื่อสาร

งานของระบบไฟฟ้ากำลังที่ผู้ออกแบบจะต้องรับผิดชอบในการออกแบบ ได้แก่

1. ระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้า (Power Distribution System)
2. ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting System)
3. ระบบไฟฟ้าสำรอง (Standby Power System)

4. ระบบแสงสว่างฉุกเฉินและป้ายทางออกฉุกเฉิน (Emergency Lighting and Exit Sing)
5. ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection System)
6. ระบบการขนส่งแนวดิ่ง (Vertical Transportation System)

งานของระบบไฟฟ้าสื่อสารที่ผู้ออกแบบจะต้องรับผิดชอบในการออกแบบ ได้แก่

1. ระบบโทรศัพท์ (Telephone System)
2. ระบบแจ้งเหตุเพลิงไหม้ (Fire Alarm System)
3. ระบบสัญญาโทรทัศน์ (Television System)
4. ระบบรักษาความปลอดภัย (Security System)
5. ระบบโทรทัศน์วงจรปิด (Close Circuit Television System)
6. ระบบควบคุมอาคารอัตโนมัติ (Building Automation System)
7. ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network System)
8. ระบบภาพและเสียง (Audio and Visual System)

สำหรับหน้าที่ของผู้ออกแบบระบบไฟฟ้า ได้แก่

1. พัฒนาแบบระบบไฟฟ้า เพื่อให้สามารถจ่ายไฟฟ้าได้เพียงพอและมีความปลอดภัยในการใช้งาน
2. ออกแบบระบบไฟฟ้าให้เป็นไปตามข้อกำหนดหรือกฎเกณฑ์มาตรฐานต่าง ๆ
3. ทำการออกแบบ ตามความต้องการของเจ้าของงาน
4. ติดต่อประสานงาน และให้ความร่วมมือกับผู้ออกแบบระบบอื่น ๆ เพื่อให้อาคารสามารทำงานได้ตามวัตถุประสงค์
5. เขียนรายละเอียดข้อกำหนดต่าง ๆ ของระบบไฟฟ้า
6. ทำการประมาณราคา

1.1.2 การออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดี

แบบระบบไฟฟ้าที่ดีนั้นจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดดังต่อไปนี้

1. ความปล อดภัย (Safety)

ระบบไฟฟ้ากำลังที่ออกแบบต้องให้ความปลอดภัยอย่างสูงต่อผู้ปฏิบัติงาน ต่ออุปกรณ์ไฟฟ้า และต่อสถานที่ การที่ระบบไฟฟ้าจะสามารถให้ความปลอดภัยอย่างสูงได้นั้นผู้ออกแบบจะต้องปฏิบัติตามมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง มาตรฐานที่ใช้กันมากคือ National Code (NEC) ของประเทศสหรัฐอเมริกา และต้องปฏิบัติตามมาตรฐานของประเทศ และข้อกำหนดของทางการไฟฟ้า

ท้องถิ่นด้วยในด้านกานออกแบบ การติดตั้งวัสดุ การเลือกอุปกรณ์ที่ใช้และการจัดอุปกรณ์ป้องกัน วิศวกรไฟฟ้าผู้ออกแบบจะต้องเข้าใจในรายละเอียดของข้อกำหนดต่าง ๆ เป็นอย่างดี และรู้ถึงสถานประกอบการที่ออกแบบ กระบวนการผลิต ขั้นตอนการปฏิบัติงาน เพื่อที่จะสามารถออกแบบระบบไฟฟ้าให้มีความปลอดภัย

2. ค่าลงทุนเริ่มแรกที่ต่ำสุด (Minimum Initial Investment)

งบประมาณของเจ้าของโครงการเป็นตัวกำหนดที่สำคัญของโครงการว่าผู้ออกแบบควรเลือกระบบใด อย่างไรก็ดีจะต้องคะนึงถึงความปลอดภัยเป็นสำคัญ การที่จะสามารถลดค่าการลงทุนเริ่มแรกได้นั้นจะต้องพิจารณาถึงอุปกรณ์ไฟฟ้า การติดตั้ง พื้นที่ว่างที่ต้องใช้ ค่าเริ่มต้นของการใช้จ่ายต่าง ๆ และอื่น ๆ

3. ระบบไฟฟ้าต้องสามารถจ่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง (Maximum Service Continuity)

ระดับของความต้องการไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องและความเชื่อถือได้ (Reliability) ของระบบนั้นขึ้นอยู่กับชนิดของโหลด สถานประกอบการ และกระบวนการผลิต เช่น สำนักงานขนาดเล็กอาจจะยอมให้ไฟฟ้า ดับได้หลายชั่วโมง ส่วนสำนักงานขนาดใหญ่หรือโรงงานขนาดใหญ่จะยอมให้ไฟดับได้ในระยะเวลาสั้น ๆ เท่านั้น แต่โรงพยาบาลมีโหลดสำคัญอยู่มากยอมให้ไฟฟ้าดับได้เพียงแค่ไม่เกิน 10 วินาที สำหรับโหลดคอมพิวเตอร์นั้นไม่ยอมให้ไฟฟ้าขาดหายไปเลย เป็นต้น

เราสามารถทำให้มีการจ่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่องได้ดีขึ้นและมีความเชื่อถือได้สูงขึ้นโดย

- จัดให้มีแหล่งจ่ายไฟฟ้ากำลังจากหลายแห่ง
- จัดให้มีเส้นทางการต่อไปยังโหลดไฟฟ้าได้หลายเส้นทางมากขึ้น
- จัดหาแหล่งที่มีแหล่งกำเนิดไฟฟ้าของตนเอง เช่น มีชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง แบตเตอรี่สำหรับจ่ายระบบไฟฟ้า ระบบ UPS (Uninterruptible Power Supply)
- เลือกอุปกรณ์ไฟฟ้าและตัวนำไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูง
- เลือกใช้วิธีการติดตั้งที่ดีที่สุด เช่น สายไฟควรอยู่ในท่อสาย (Raceway)

4. ระบบไฟฟ้าจะต้องมีความคล้องตัวสูงและสามารถขยายโหลดได้ (Maximum Flexibility and Expandability)

เนื่องจากสถานประกอบการส่วนมากจะมีการเปลี่ยนแปลงการใช้โหลดไฟฟ้าเรื่อย ๆ ระบบการจ่ายไฟฟ้าจะต้องสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงนี้ได้

นอกจากนี้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าจะต้องเผื่อระบบการจ่ายกำลังไฟฟ้าสำหรับรองรับการขยายโหลดในอนาคต โดยอาจจะเพิ่มขนาดของหม้อแปลงและสายป้อนต่าง ๆ รวมทั้งเพิ่มอุปกรณ์ป้องกันด้วย

5. ประสิทธิภาพทางไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Electrical Efficiency) ค่าปฏิบัติทางไฟฟ้าต่ำสุด (Minimum Operating Costs)

ระบบไฟฟ้าที่จะทำงานอย่างมีประสิทธิภาพนั้นอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ในระบบจะต้องมีกำลังสูญเสียน้อย ดังนั้น วิศวกรผู้ออกแบบจะต้องพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ดี เช่น หม้อแปลงกำลังสูญเสียต่ำ มอเตอร์ประสิทธิภาพสูง บัลลัสต์กำลังสูญเสียต่ำ เป็นต้น แม้ว่าอุปกรณีดังกล่าวจะมีค่าเริ่มต้นสูง แต่ค่าปฏิบัติการจะต่ำซึ่งจะคุ้มทุนเมื่อเวลาผ่านไฟช่วงหนึ่ง นอกจากนี้ระบบไฟฟ้าจะต้องสามารถปฏิบัติงานอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น มีตัวประกอบกำลังสูง เป็นต้น

6. ค่าบำรุงรักษาต่ำสุด (Minimum Maintenance Cost)

ในระบบไฟฟ้านั้นยิ่งระบบมีการจ่ายไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง และสามารถปรับสภาพต่าง ๆ ได้มากเท่าไรราคาในการบำรุงรักษาก็จะยิ่งมากตามไปด้วย ดังนั้นในระบบไฟฟ้าจึงควรออกแบบให้มีวงจรไฟฟ้าหมุนเวียนกันที่จะจ่ายกำลังให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ เพื่อที่จะสามารถทำการบำรุงรักษาเครื่องหนึ่งในขณะที่ใช้งานอีกเครื่องหนึ่งได้ ทั้งนี้ควรเลือกระบบที่ต้องใช้ค่าบำรุงรักษาน้อย แต่ถ้าระบบซับซ้อนขึ้นก็อาจจะมีค่าการบำรุงรักษามากขึ้นตามไปด้วย

7. คุณภาพกำลังไฟฟ้าสูงสุด (Maximum Power Quality)

ในอดีตการมีไฟฟ้าใช้อย่างต่อเนื่องเป็นเรื่องที่สำคัญที่สุด ปัจจุบันการมีไฟฟ้าใช้อย่างต่อเนื่องก็ยังสำคัญอยู่ แต่ไฟฟ้าที่มีใช้นั้นจะต้องมีคุณภาพที่ดี เช่น แรงดันไฟฟ้าต้องมีค่าสม่ำเสมอ กระแสและแรงดันไฟฟ้ามีฮาร์มอนิกน้อย เป็นต้น วิศวกรไฟฟ้าจะต้องคำนึงถึงข้อนี้อยู่เสมอในระหว่างการออกแบบระบบไฟฟ้า

วัตถุประสงค์ต่าง ๆ เหล่านี้อาจจะมีความสัมพันธ์กันหรืออาจจะมีความขัดแย้งกันในบางหัวข้อ ยิ่งเราออกแบบให้มีอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีคุณภาพ การจ่ายโหลดอย่างต่อเนื่องสามารถปรับสภาพต่าง ๆ หรือการเผื่อการขายได้มากเท่าไร ค่าการลงทุนเริ่มแรกหรือค่าการบำรุงรักษาก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นผู้ออกแบบจึงควรพิจารณาถึงปัจจัยพื้นฐาน ชนิดอุปกรณ์ที่ใช้และโหลดต่าง ๆ ว่าควรจะใช้ขนาดเท่าไร ชนิดไดจึงจะเหมาะสม

1.1.3 มาตรฐานในการออกแบบระบบไฟฟ้า

ในการออกแบบระบบไฟฟ้า จะต้องออกแบบตามมาตรฐานและข้อกำหนดต่าง ๆ ซึ่งแบบออกได้เป็น 2 อย่างคือ

- มาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้า
- มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า

ซึ่งมาตรฐานแต่ละอย่าง แบ่งออกได้อีก 2 อย่างคือ

- มาตรฐานประจำชาติ (National Standards)
- มาตรฐานสากล (International Standards)

1.1.3.1 มาตรฐานประจำชาติ

ประเทศอุตสาหกรรมที่สำคัญในโลก ต่างมีมาตรฐานของตนเองมานานแล้ว โดยมาตรฐานประจำชาติของแต่ละประเทศต่างร่างขึ้นมาใช้ภายในประเทศของตนเอง เพื่อให้ตรงกับอุตสาหกรรมภายในประเทศและตรงกับวิธีปฏิบัติของตนเอง นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและสภาพแวดล้อมของประเทศนั้น ๆ ด้วย

มาตรฐานประจำชาติที่สำคัญ ได้แก่

- ANSI (American National Standard Institute) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- NEMA (National Electrical Manufacturers Association) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- NEC (National Electrical Code) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- NFPA (National Fire Protection Association) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- UL (Underwriters' Laboratories, Inc.) ของประเทศสหรัฐอเมริกา
- BS (British Standard) ของประเทศสหราชอาณาจักร
- DIN (German Industrial Standard) ของประเทศเยอรมนี
- VDE (Verband Deutscher Elekteotechniker) ของประเทศเยอรมนี
- KEMA (Keuring van Elektrotechnische Materialen) ของประเทศเนเธอร์แลนด์
- JIS (Japanese National Standard) ของประเทศญี่ปุ่น
- EIT (The Engineering Institute of Thailand) หรือ วสท. (มาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย) ของประเทศไทย
- TIS (Thai Industrial Standard) หรือ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม) ของประเทศไทย

สำหรับประเทศไทย หน่วยงานที่เรียกว่า สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (สมอ.) (Thai Industrial Standard Institute: TISI) เป็นผู้กำหนดและรับรอง มอก. ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานกำหนดคุณลักษณะเฉพาะของวัสดุ - อุปกรณ์ ในงานออกแบบระบบไฟฟ้าเป็นอย่างมาก ตัวอย่างเครื่องหมายที่ใช้รับรองคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่ออกโดย สมอ. แสดงดังภาพที่ 1.1

เครื่องหมายมาตรฐานทั่วไป

เครื่องหมายมาตรฐานบังคับ

เครื่องหมายมาตรฐานเฉพาะด้านความปลอดภัย

เครื่องหมายมาตรฐานเฉพาะด้านสิ่งแวดล้อม

เครื่องหมายมาตรฐานเฉพาะด้านความเข้ากันได้ทางแม่เหล็กไฟฟ้า

ภาพที่ 1.1 เครื่องหมายมาตรฐานสำหรับผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สมอ.

1.1.3.2 มาตรฐานสากล

มาตรฐานสากลเป็นมาตรฐานที่มีสามาชิกอยู่หลายประเทศ เช่น มาตรฐาน ISO, IEC และ EN

1. ISO (National Organization for Standardization)

ISO เป็นองค์กรกำหนดมาตรฐานระหว่างประเทศ มีหน้าที่กำหนดมาตรฐานทั่วไปทางวิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี (ยกเว้นทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์) โดยมาตรฐานของ ISO จะใช้หน่วย SI จึงเป็นที่นิยมมาก เพราะว่าเป็นมาตรฐานสากลอย่างแท้จริง มาตรฐานที่รู้จักกันดี ได้แก่ ISO 9000 (เกี่ยวกับการควบคุมคุณภาพของการผลิตภัณฑ์สินค้า) ISO 14000 (เกี่ยวกับการรักษาสิ่งแวดล้อม) เป็นต้น

2. IEC (International Electrotechnical Commission)

IEC เป็นองค์กรระหว่างประเทศที่ร่างมาตรฐานทางด้านไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ มีสำนักงานใหญ่ที่กรุงเจนีวา ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ และร่วมมือกับ ISO อย่างใกล้ชิด มาตรฐานของ IEC ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามแนวโน้มความเป็นสากลของโลก และตามโลกาภิวัตน์ (Globalization) โดยขณะนี้ IEC มีประเทศสมาชิกเกือบทุกประเทศในโลก

3. EN (European Standard)

EN เป็นมาตรฐานบังคับ กล่าวคือ ถ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ได้ตามมาตรฐานนี้จะนำเข้ามาขายในกลุ่มประเทศสมาชิกไม่ได้ จุดประสงค์ของมาตรฐานนี้ คือ ทำให้เกิดการค้าเสรีเพราะถ้าอุปกรณ์ได้มาตรฐานนี้แล้วก็สามารถนำเข้ามาขายได้ทุกประเทศ และนอกจากนี้ยังต้องการให้ทุกประเทศในกลุ่มมีมาตรฐานเดียวกัน

ในขณะนี่มาตรฐานประจำชาติ (National Standards) ของชาติอุตสาหกรรมใหญ่ ๆ ได้ลดความสำคัญลงมากตามโลกาภิวัตน์ และเนื่องจากมาตรฐานประจำชาติถือเป็นกำแพงการค้า (Trade Barrier) อย่างหนึ่ง หลายประเทศจึงได้พยายามปรับปรุงมาตรฐานสากล เรียนกว่า Harmonization และหลายประเทศได้ยกเลิกมาตรฐานของตนเองโดยนำมาตรฐานสากลทั้งฉบับมาใช้เป็นมาตรฐานประจำชาติของตน โดยไม่มีการแปลเป็นภาษาของตนเอง

สำหรับประเทศไทย ในอดีตการทำมาตรฐานทางไฟฟ้าส่วนมากจะแปลและเรียบเรียงจากมาตรฐาน IEC การแปลนั้นต้องใช้เวลามากและความหมายอาจไม่ตรงความหมายเดิม แต่ในขณะนี้มาตรฐานหลายฉบับสำหรับอุปกรณ์ไฟฟ้านั้นไม่มีการแปลและเรียบเรียงต่อไป แต่นำมาตรฐาน IEC ทั้งฉบับซึ้งเขียนเป็นภาษาอังกฤษมาเป็นมาตรฐานไทยเลยตามแนวปฏิบัติซึ่งหลายประเทศในโลกกำลังทำอยู่

1.1.3.3 มาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้า

อุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ในระบบไฟฟ้ามีอยู่มากมายหลายชนิด ส่วนมากจะมีมาตรฐานควบคุมคุณภาพอยู่แล้ว โดยมาตรฐานอุปกรณ์ไฟฟ้าที่นิยมกันมาก คือ IEC จะสังเกตได้จากแคตตาลอกของอุปกรณ์ไฟฟ้าจะอ้างถึงมาตรฐานนี้อยู่เสมอ เช่น เซอร์กิตเบอรกเกอร์ จะอ้างมาตรฐาน IEC 60947-2 “ Low Voltage Switchgear and Control Gear Part 2”

ดังนั้นสำหรับผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าในประเทศไทย ในการเขียนรายละเอียดข้อกำหนด (Specification) ของอุปกรณ์ไฟฟ้าต่าง ๆ ควรใช้มาตรฐานไทย (มอก.) และมาตรฐาน IEC เป็นหลัก ไม่ควรใช้มาตรฐานประจำชาติของประเทศอื่น ยกเว้นอุปกรณ์ดังกล่าวไม่มีในมาตรฐานไทยและมาตรฐาน IEC

1.1.3.4 มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า

มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า อาจแบ่งออกเป็น

- มาตรฐานต่างประเทศ
- มาตรฐานสากล
- มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

1. มาตรฐานต่างประเทศในการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า

มาตรฐานต่างประเทศที่นิยมใช้กันมากในประเทศไทย คือ NEC (National Electrical Code) ซึ่งเป็นมาตรฐานการออกแบบการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าของประเทศสหรัฐอเมริกา เริ่มมีครั้งแรกตั้งแต่ปี ค.ศ. 1897 และมีการแก้ไขปรับปรุงทุก ๆ 3 ปี จึงนับได้ว่าเป็นมาตรฐานการออกแบบและติดตั้งที่สมบูรณ์มาก มาตรฐาน NEC ได้แพร่เข้ามาในประเทศไทยอย่างมากในช่วงที่ประเทศสหรัฐอเมริกามีฐานทัพในประเทศไทย วิศวกรไฟฟ้าของไทยส่วนมากจึงนิยมใช้ NEC เป็นพื้นฐานในการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า

แม้ว่า NEC จะเป็นมาตรฐานที่ดีมาก ทำจากประสบการณ์ซึ้งมีอยู่มากมายในประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ก็มีข้อกำหนดที่วิศวกรไฟฟ้าไทยต้องอ่านล่ะทำความเข้าใจอย่างระมัดระวัง เพื่อให้การประยุกต์ใช้เป็นไปอย่างถูกต้อง เนื่องจากระบบต่าง ๆ ที่ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกาตาม NEC นั้นมีข้อแตกต่างจากระบบที่ใช้ในภายในประเทศไทยหลายอย่างด้วยกัน ดังนี้

	ประเทศสหรัฐอเมริกา	ประเทศไทย
ความถี่	60 Hz	50 Hz
ระบบไฟฟ้า	208/120 V, 480/277 V	380/220 V, 400/230 V
สายไฟฟ้า	AWG	mm^2
มิติ	inch, feet	m., mm
น้ำหนัก	pound	kg.

มาตรฐาน NEC (รวมทั้งมาตรฐานอย่างอื่นของสหรัฐอเมริกา เช่น ANS) จะเป็นมาตรฐานที่ดีมาก แต่เนื่องจากระบบ และมิติต่าง ๆ ดังที่กล่าวมาแล้วมีใช้เฉพาะในสหรัฐอเมริกาเท่านั้น ผู้เขียนจึงมีความเห็นว่ามาตรฐาน NEC คงจะเสื่อมความนิยมไปอย่างช้า ๆ และในที่สุดก็อาจมีใช้อยู่ในประเทศสหรัฐอเมริกาเท่านั้น หรืออีกกรณีหนึ่งก็คือประเทศสหรัฐอเมริกาต้องปรับปรุงมาตรฐาน NEC ให้สอดคล้องกับมาตรฐานสากล

2. มาตรฐานสากลในการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า

เนื่องจากหลาย ๆ ประเทศโดยเฉพาะประเทศในทวีปยุโรปมีมาตรฐานการติดตั้งระบบ และอุปกรณ์ไฟฟ้าเป็นของตนเอง ซึ่งจะมีความแตกต่างในรายละเอียดต่าง ๆ เป็นอย่างมาก ดังนั้น International Electrotechnical Commission (IEC) จึงได้จัดทำมาตรฐานเกี่ยวกับการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้า ขึ้นในปี ค.ศ. 1972 คือ IEC 60364 “Electrical Installation of Buildings” ซึ่งมีหลายฉบับ ได้แก่

IEC 60364-1 “Scope, Object and Definitions”

IEC 60364-2 “Fundamental Principles”

IEC 60364-3 “Assessment of General Characteristics”

IEC 60364-4 “Protection for Safety”

IEC 60364-5 “Selection and Erection of Electrical Equipment”

IEC 60364-7 “Requirement for Special Installations or Locations”

ในการจัดทำมาตรฐาน IEC 60364 นี้ คณะกรรมการฝ่ายเทคนิคผู้ร่างได้ใช้มาตรฐานการติดตั้งระบบและอุปกรณ์ไฟฟ้าของหลายประเทศเป็นตัวอย่างรวมทั้ง NEC ด้วยเพื่อให้มาตรฐานที่ได้เป็นสากลและสามารถปฏิบัติได้

IEC 60364 นี้ได้รับการแก้ไข และปรับปรุงอยู่ตลอดเวลาเพื่อให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น ในขณะนี้ประเทศในทวีปยุโรปหลายประเทศ ได้นำมาตรฐานนี้มาใช้กันแล้ว โดยเฉพาะประเทศสหราชอาณาจักร (United Kingdom) ได้เลิกใช้มาตรฐานของตนเอง ซึ่งมีมานับร้อยปี โดยหันมาใช้ IEC 60364 แทน ตั้งแต่ปี ค.ศ.1983 คือ Regulation for Electrical Installation ของ The Institute of Electrical Engineers (IEE)

3. มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย

การติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยนั้นในอดีตการไฟฟ้านครหลวง (กฟน.) และการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค (กฟภ.) ต่างมีมาตรฐานของหน่วยงาน ข้อกำหนดส่วนมากจะเหมือนกัน แต่ก็มีบางส่วนที่ต่างกันทำให้ผู้ออกแบบระบบไฟฟ้าและผู้ติดตั้งระบบอุปกรณ์ไฟฟ้าเกิดความสับสน ด้วยเหตุนี้สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ด้วยความร่วมมือจากการไฟฟ้าทั้งสองแห่งดังกล่าว“มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย” ขึ้นเพื่อให้ทั้งประเทศมีมาตรฐานเรื่องการติดตั้งไฟฟ้าเพียงฉบับเดียว

มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยฉบับใหม่นี้ เนื้อหาส่วนมากจะแปลและเรียบเรียงจาก National Electrical Code (NEC) และก็มีความพยายามที่จะนำมาตรฐานของ IEC มาใช้ด้วย โดยเฉพาะส่วนที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ไฟฟ้า เช่น เซอร์กิตเบอรกเกอร์ที่ใช้จะต้องได้มาตรฐาน IEC 60898 และ IEC 60947-2 เป็นต้น

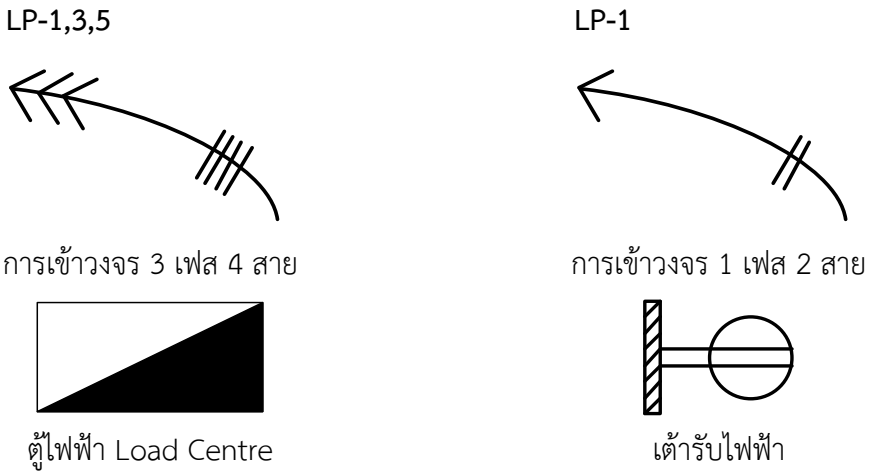
1.1.4 สัญลักษณ์ในแบบไฟฟ้า

แบบระบบไฟฟ้าอุปกรณ์ไฟฟ้าและวงจรจะแทนด้วยสัญลักษณ์ต่าง ๆ ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้กันมากส่วนใหญ่ใช้ตามมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา แต่ในขณะนี้สัญลักษณ์ตามมาตรฐาน IEC ก็มีผู้นิยมใช้มากขึ้น

U.S.A	IEC		U.S.A	IEC

เซอร์กิตเบรกเกอร์ คอนแทรกเตอร์

ภาพที่ 1.2 สัญลักษณ์ในแบบไฟฟ้า



การเข้าวงจร 3 เฟส 4 สาย การเข้าวงจร 1 เฟส 2 สาย

ตู้ไฟฟ้า Load Centre เต้ารับไฟฟ้า

ภาพที่ 1.2 (ต่อ) สัญลักษณ์ในแบบไฟฟ้า

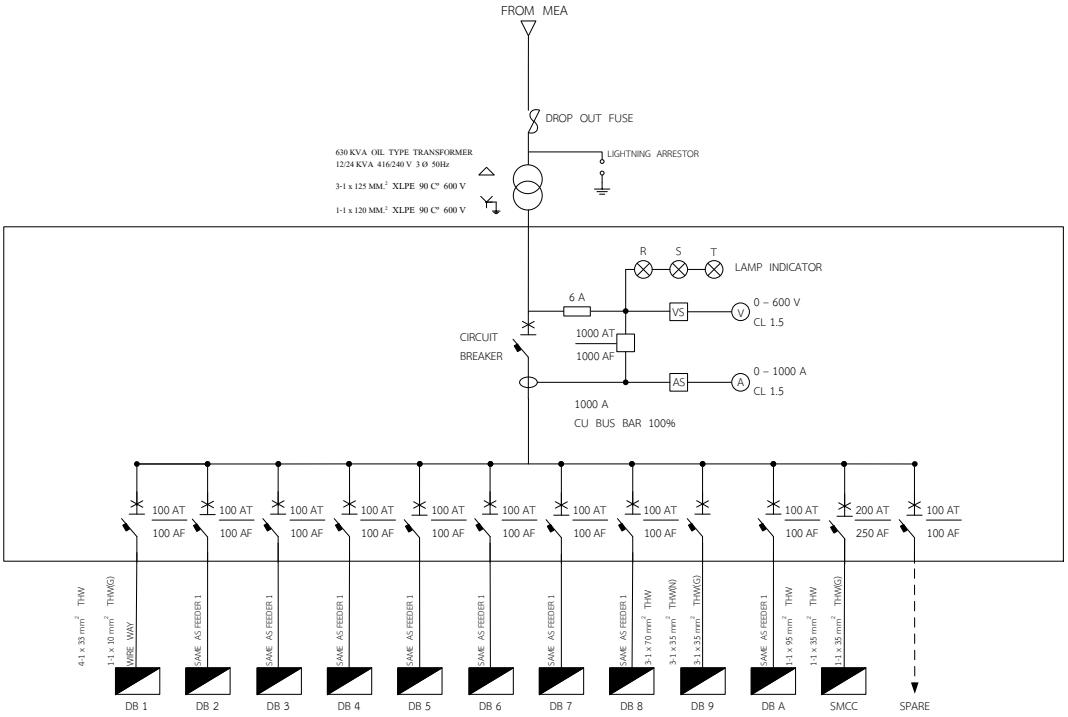
1.1.5 แบบไฟฟ้า

ระบบไฟฟ้าส่วนมากแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ดังนี้

ระบบ 1 เฟส 2 สาย มี 2 เส้น (ไม่นับสายดิน)

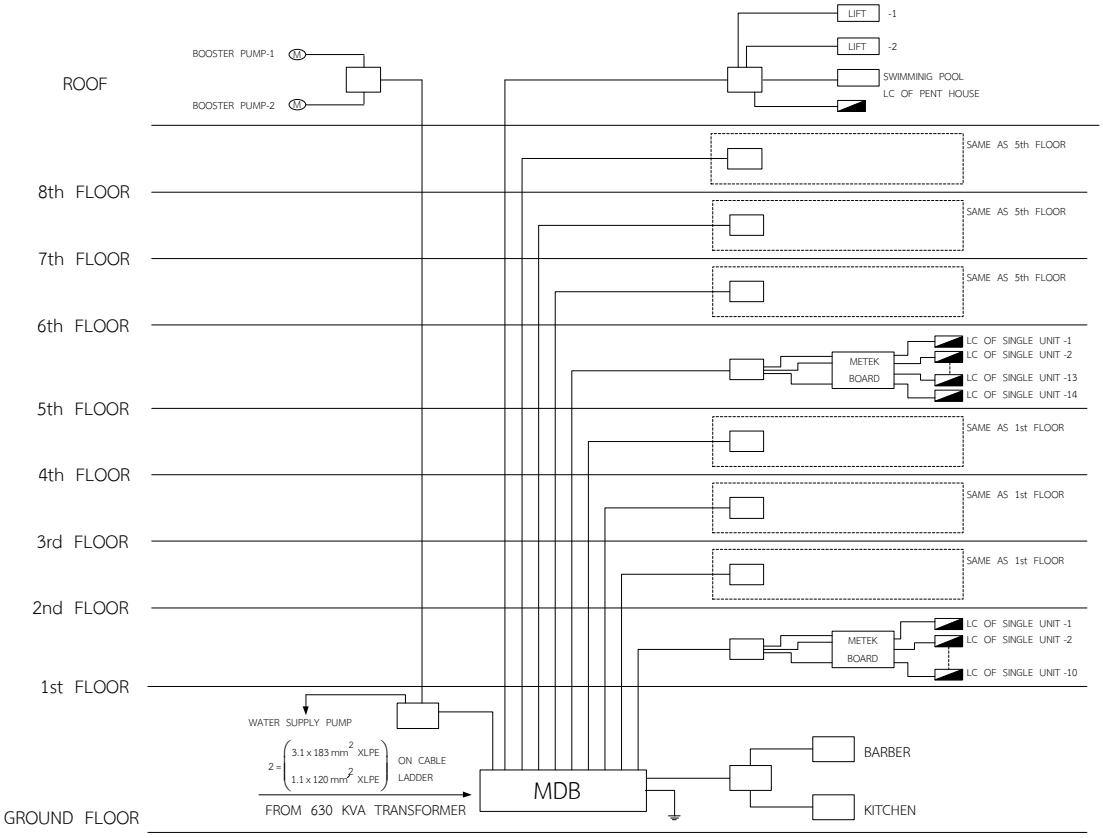
ระบบ 3 เฟส 4 สาย มี 4 เส้น (ไม่นับสายดิน)

ดังนั้นถ้าต้องการแสดงวงจรให้สมบูรณ์ จะต้องเขียนจำนวนสายไฟฟ้าให้ครบ ซึ่งจะดูซับซ้อนมาก ดังนั้นขณะนี้จึงนิยมเขียนไดอะแกรมเส้นเดียว และมีขนาด จำนวนสายไฟฟ้าและท่อสายกำกับด้วย โดยนิยมเรียนกว่า Single Line Diagram ดังแสดงในภาพที่ 1.3 ซึ่งจะแสดงลักษณะของระบบไฟฟ้าทั้งระบบให้เห็นเป็นภาพรวม



ภาพที่ 1.3 ไดอะแกรมเส้นเดี่ยวของระบบไฟฟ้า

ในอาคารที่มีหลายชั้นจำเป็นต้องส่งสายไฟฟ้าไปยังชั้นต่าง ๆ ดังนั้นเพื่อความถูกต้องระบบไฟฟ้าจะต้องแสดงในแนวดิ่งด้วย วงจรที่แสดงในแนวดิ่งเรียกว่า Riser Diagram แสดงดังภาพที่ 1.4



ภาพที่ 1.4 ไดอะแกรมแนวดิ่งของระบบไฟฟ้า

วิธีการสอนและกิจกรรม

1. แนะนำการเรียน ลักษณะรายวิชา กำหนดการสอน การวัดและการประเมินผลการเรียน
2. มอบเอกสารคำสอน
3. ผู้สอนบรรยายเนื้อหา
4. นักศึกษาร่วมอภิปราย
5. ผู้สอนตั้งคำถามให้ผู้เรียนมีส่วนร่วมในการเรียน
6. นักศึกษาทำแบบฝึกหัด
7. ให้งานที่มอบหมาย

สื่อการสอน/อุปกรณ์การสอน

1. หนังสือ

- วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ. 2556.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556.

- ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : โชติอนันต์ ครีเอชั่น, 2556.

- ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : สมารัท ดิจิทัล โซลูชั่น, 2556.

- นัฐโชติ รักไทยเจริญชีพ. **เอกสารคำสอน รายวิชา 04-112-313 การออกแบบระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2559.

2. โสตทัศนวัสดุ

- กระดาน
- เครื่องฉาย จอรับภาพ และคอมพิวเตอร์

งานที่มอบหมาย

1. ทำแบบฝึกหัดท้ายบทเรียน
2. ศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมจากหนังสือที่เกี่ยวกับหลักการเบื้องต้นการออกแบบระบบไฟฟ้า

การวัดผล

1. พิจารณาการเข้าชั้นเรียนตามเวลากำหนด สนใจเรียนและเข้าร่วมกิจกรรมการเรียน
2. ตรวจแบบฝึกหัด การซักถาม-ตอบ

แบบฝึกหัด

1. จงอธิบายระบบไฟฟ้าที่วิศวกรไฟฟ้าผู้ออกแบบจะต้องรับผิดชอบมีระบบอะไรบ้าง
2. จงอธิบายหลักการในการออกแบบระบบไฟฟ้าที่ดีมีอะไรบ้าง
3. จงอธิบายถึงมาตรฐานที่นิยมใช้ในการออกแบบ
4. หน่วยงานที่เป็นผู้กำหนดและรับรองมาตรฐาน คือหน่วยงานใด
5. สัญลักษณ์ทางไฟฟ้าที่นิยมใช้อ้างอิงจากมาตรฐานใดเป็นหลัก
6. จงอธิบายแบบไฟฟ้าที่นิยมใช้กันมีกี่แบบ อะไรบ้าง

บรรณานุกรม

วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์. **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้า สำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556.** กรุงเทพฯ : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **การออกแบบระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : โชติอนันต์ ครีเอชั่น, 2556.

ประสิทธิ์ พิทยพัฒน์. **คู่มือการออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : สมารัท ดิจิทัล โซลูชั่น, 2556.

ลือชัย ทองนิล. **การออกแบบและติดตั้งระบบไฟฟ้าตามมาตรฐานของการไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : ส.ส.ท., 2556.

ตฤณ แสงสุวรรณ. **คุณภาพไฟฟ้า.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2556.

เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง **ระบบต่อลงดิน,** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556.

เอกสารประกอบการอบรม เรื่อง **การป้องกันฟ้าผ่าสำหรับสิ่งปลูกสร้างและการป้องกันแม่เหล็กไฟฟ้าจากผ่าฟ้า,** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556.

เอกสารประกอบการอบรมเชิงปฏิบัติการ เรื่อง **การตรวจสอบและทดสอบระบบไฟฟ้าอาคารเพื่อการบำรุงและความปลอดภัย (ทฤษฎีและปฏิบัติ)**, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2556.

เอกสารประกอบการอบรม เรื่อง **มาตรฐานการติดตั้งทางไฟฟ้าสำหรับประเทศไทย พ.ศ.2556 (มาตรฐานฉบับใหม่)**, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2557.

เอกสารประกอบการอบรม เรื่อง **การออกแบบและบำรุงรักษา 115/22 kV สถานีไฟฟ้าแรงสูง**, ศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง, 2557.

เอกสารประกอบการอบรม เรื่อง **การวัดวิเคราะห์คุณภาพไฟฟ้าและวิธีแก้ไขปัญหา (ทฤษฎีและปฏิบัติ),** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2557.

เอกสารประกอบการอบรมเชิงวิชาชีพ เรื่อง **การเพิ่มค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์และการแก้ไขปัญหาฮาร์มอนิก.** วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2557.

ABB SACE. **Electrical installation handbook Protection, control and electrical devices.** Italy : ABB SACE, 2010.

Gunte G. Seip. **Electrical Installations Handbook.** Hoboken : John Wiley & Sons, 2000.

J. F. McPartland. **Electrical System Design.** New York : Electric Construction and Maintenance, 2000.

Mark W. Earley, P. E. **National Electrical Code Handbook.** Massachusetts : National Fire Protection Associations, 2011

http://www.iec.ch/. **IEC Standard.**

http://www.tisi.go.th/. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 11-2553.**