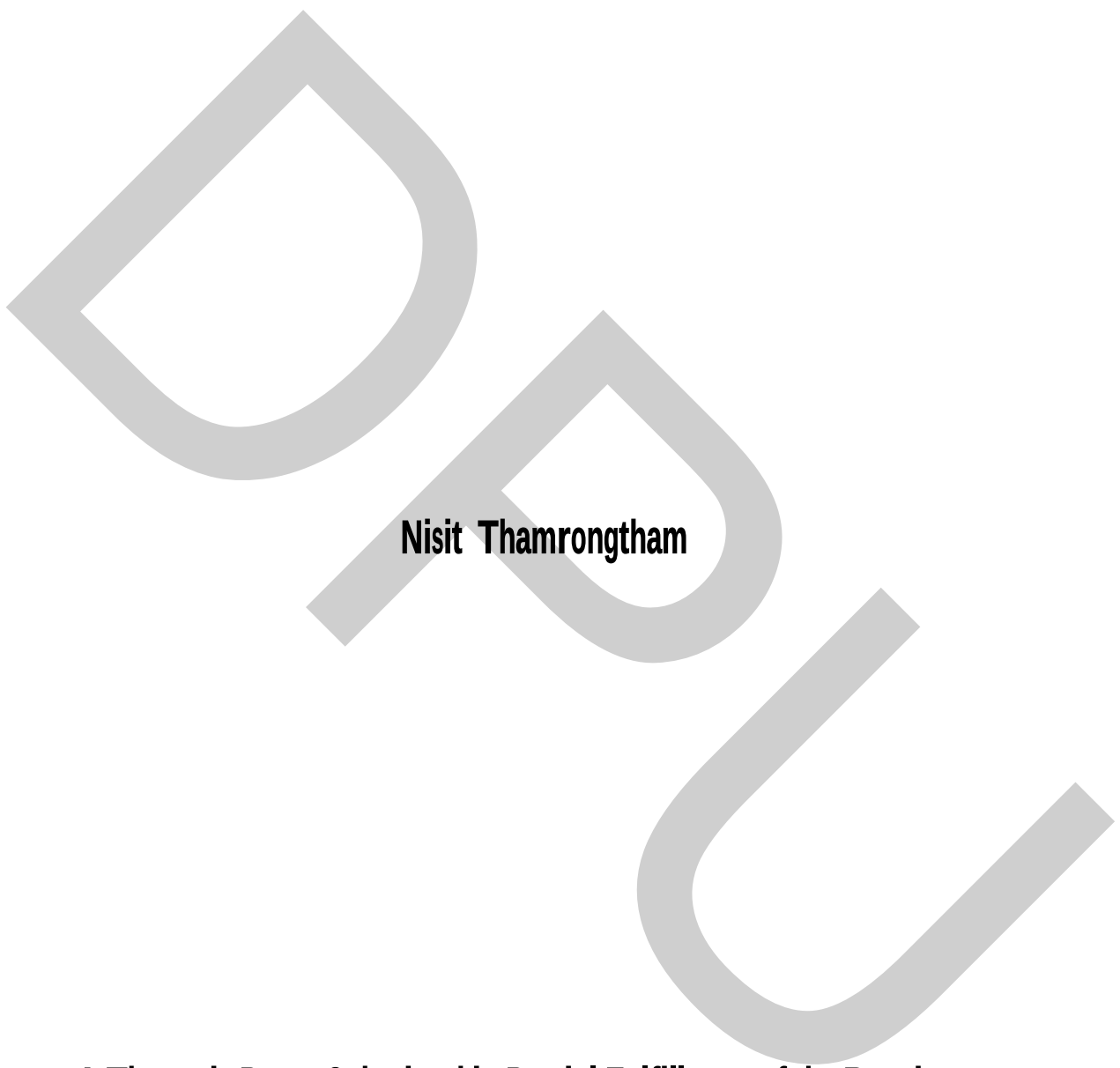


# ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์

นิสิต ชำรงธรรม

สารนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์  
พ.ศ. 2552

# **Decision The UPS System for Data Center**



**Nisit Thamrongtham**

**A Thematic Paper Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science**

**Department of Building Technology Management  
Graduate School, Dhurakij Pundit University**

**2009**

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานิพนธ์ในครั้งนี้สำเร็จลงได้ โดยได้รับความอนุเคราะห์จากหลายๆ ท่าน  
หลายๆ บริษัท ผู้ทำการศึกษานิพนธ์กราบขอบพระคุณ ดร.รังสิต ศรีจิตติ อาจารย์ลือชัย ทองนิล  
และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรีชา สาคะรังค์ ผู้ซึ่งกรุณาให้ความเอาใจใส่ช่วยเหลือให้ความรู้และ  
ชี้แนะแนวทางรวม ทั้งคำแนะนำต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อผู้ทำการศึกษาเป็นอย่างยิ่ง อันมีผลให้งาน  
ศึกษานิพนธ์นี้มีคุณค่าทางวิชาการ

ขอขอบคุณ บริษัทต่าง ๆ ที่ทำงานเกี่ยวเนื่องกับระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ทั้ง  
ในส่วนบริษัทผู้ผลิตและให้บริการ (Vendor) และบริษัทผู้ใช้บริการ (User) ที่ให้คำปรึกษา  
ช่วยเหลือ และสละเวลาตอบแบบสอบถาม ข้อมูลผลลัพธ์ที่ได้เป็นประโยชน์อย่างมากในการนำไป  
วิเคราะห์ใช้ในการศึกษานิพนธ์ครั้งนี้

ขอขอบคุณ ดร.มนตรี วิบูลรัตน์ (IT Consultant) บริษัท เทคนิคคอล เซอร์วิส ซัพพอร์ท  
จำกัด บริษัทซึ่งให้บริการด้านการออกแบบศูนย์คอมพิวเตอร์ ที่เอื้อเพื่อข้อมูลที่เป็นประโยชน์อย่าง  
มากในการนำไปวิเคราะห์ใช้ในการศึกษานิพนธ์ในครั้งนี้

ขอขอบคุณ คุณประยุทธ์ ฤทธิเดช ที่ให้ความช่วยเหลือในการตรวจรูปเล่มและช่วย  
ประสานงานในการจัดทำรูปเล่มจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

คุณงามความดีและประโยชน์อันพึงมีจากสารนิพนธ์เล่มนี้ ผู้ทำการศึกษามอบเป็น  
เครื่องบูชาพระคุณแก่ คุณพ่อ คุณแม่ บุพการี ผู้ซึ่งมอบความรักความห่วงใยและสิ่งที่ดีกับ  
ผู้ทำการศึกษาดลอดมา

นิสิต ชำรงธรรม

## สารบัญ

|                                                         | หน้า |
|---------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                                   | ฅ    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....                                 | ง    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                    | จ    |
| สารบัญตาราง.....                                        | ซ    |
| สารบัญรูป.....                                          | ฌ    |
| บทที่                                                   |      |
| 1 บทนำ.....                                             | 1    |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....                      | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....                        | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....                              | 3    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                      | 3    |
| 2. แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....         | 5    |
| 2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality).....               | 5    |
| 2.2 มลภาวะทางไฟฟ้า (Electrical Pollution).....          | 6    |
| 2.3 ระบบ UPS.....                                       | 12   |
| 2.4 Reliability and Availability.....                   | 14   |
| 2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                 | 15   |
| 3. ระเบียบวิธีศึกษา.....                                | 30   |
| 3.1 ผู้ผลิตและให้บริการเครื่องสำรองไฟฟ้า(ยูพีเอส) ..... | 30   |
| 3.2 หน่วยงานที่ใช้บริการระบบไฟฟ้าสำรอง(ยูพีเอส).....    | 31   |
| 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา.....                     | 31   |
| 3.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำแบบสอบถาม.....        | 32   |
| 3.5 ความคาดหวังผลรับของข้อมูล จากแบบสอบถาม .....        | 33   |
| 4. ผลการศึกษาและแนวทางการประยุกต์ใช้.....               | 35   |

สารบัญ (ต่อ)

|                                                                   | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------|------|
| 4.1 ผลการสอบถามผู้ใช้บริการ(User)                                 |      |
| ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง(ยูพีเอส).....                             | 35   |
| 4.2 ผลการสอบถามผู้ให้บริการ (Vendor)                              |      |
| ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส).....                            | 44   |
| 4.3 การประยุกต์ใช้.....                                           | 57   |
| 5. สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....                              | 66   |
| 5.1 สรุปผลการศึกษา .....                                          | 66   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ.....                                               | 72   |
| บรรณานุกรม.....                                                   | 74   |
| ภาคผนวก.....                                                      | 77   |
| ภาคผนวก ก แบบสอบถาม.....                                          | 78   |
| ภาคผนวก ข เอกสารงานศึกษาวิจัยระดับปริญญาเอก                       |      |
| เกี่ยวกับศูนย์คอมพิวเตอร์ An Optimal Data Center Availability and |      |
| Investment Trade-Offs ของ ดร. มนตรี วิบูลย์รัตน์.....             | 97   |
| ประวัติผู้เขียน.....                                              | 104  |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่                                                                    | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 แสดงข้อมูลคุณลักษณะของ Tier Classifications I-IV.....                   | 18   |
| 2.2 แสดงข้อมูลคุณลักษณะของการต่อวงจร UPS รูปแบบต่างๆ.....                   | 18   |
| 2.3 แสดงข้อมูลคุณลักษณะของ Tier Classifications I-IV .....                  | 19   |
| 2.4 ค่า Availability MTTR MTBF ของรายการอุปกรณ์ต่างๆ.....                   | 23   |
| 2.5 ข้อแตกต่างคุณลักษณะการลงทุนและAvailability<br>ของศูนย์คอมพิวเตอร์.....  | 25   |
| 4.1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม.....                                          | 36   |
| 4.2 ประเภทกิจการของหน่วยงาน.....                                            | 37   |
| 4.3 พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer).....                                | 37   |
| 4.4 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Generator) .....                       | 38   |
| 4.5 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (UPS) .....                    | 38   |
| 4.6 รูปแบบการต่อวงจรของระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (UPS) .....                  | 38   |
| 4.7 การจัดการควบคุมดูแลและซ่อมบำรุงระบบ UPS.....                            | 39   |
| 4.8 การจัดการการลงทุนระบบ UPA.....                                          | 41   |
| 4.9 การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นรูปธรรม (Tangible loss) .....                 | 42   |
| 4.10 การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นนามธรรม (Intangible loss) .....              | 43   |
| 4.11 คุณสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพ (Physical Characteristic) .....             | 44   |
| 4.12 ข้อดี-ข้อด้อยและการลงทุน<br>(Advantage-Disadvantage &Investment) ..... | 46   |
| 4.13 ข้อดี ข้อเสีย ของ UPS รูปแบบ E.....                                    | 48   |
| 4.14 ข้อดี ข้อเสีย ของ UPS รูปแบบ A.....                                    | 49   |
| 4.15 คุณภาพระบบไฟฟ้า.....                                                   | 50   |
| 4.16 Maintenance , Reliability & Availability.....                          | 52   |
| 4.17 System Expansion, Cost & Investment.....                               | 55   |
| 5.1 สรุปแนวทางการเลือกรูปแบบ UPS.....                                       | 71   |

## สารบัญรูป

| รูปที่                                                                              | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 2.1 รูปคลื่นของแรงดันไฟเกิน.....                                                    | 6    |
| 2.2 รูปคลื่นของแรงดันไฟตก.....                                                      | 6    |
| 2.3 รูปคลื่นของแรงดันไฟดับ.....                                                     | 7    |
| 2.4 รูปคลื่นตัวอย่างของของแรงดันไฟกระชาก.....                                       | 7    |
| 2.5 รูปคลื่นของแรงดันที่เกิดออสซิลเลตชั่วขณะ.....                                   | 8    |
| 2.6 รูปคลื่นของแรงดันไฟตกชั่วขณะ.....                                               | 8    |
| 2.7 รูปคลื่นของแรงดันไฟเกินชั่วขณะ.....                                             | 9    |
| 2.8 รูปคลื่นของแรงดันไฟกระพริบ.....                                                 | 9    |
| 2.9 รูปคลื่นของแรงดันที่มีองค์ประกอบของแรงดันไฟตรง.....                             | 10   |
| 2.10 รูปคลื่นกระแสของแหล่งจ่ายที่มีฮาร์มอนิก<br>ปะปนของวงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟส..... | 10   |
| 2.11 รูปคลื่นของแรงดันที่มีการเกิดน็อดซ์.....                                       | 11   |
| 2.12 รูปคลื่นของสัญญาณรบกวนของแรงดันที่สายกำลังในสถานะไฟตก.....                     | 11   |
| 2.13 รูปคลื่นของแรงดันกระเพื่อม.....                                                | 12   |
| 2.14 รูปคลื่นของแรงดันที่มีการเปลี่ยนความถี่.....                                   | 12   |
| 2.15 Dynamic UPS.....                                                               | 13   |
| 2.16 Static UPS และแบตเตอรี่.....                                                   | 14   |
| 2.17 แสดงข้อมูลการเกิดการสูญเสียหากระบบเกิดการหยุดทำงาน.....                        | 16   |
| 2.18 แสดงสัดส่วนของต้นทุนการสูญเสีย<br>ของธุรกิจต่างๆ เทียบต่อชั่วโมง.....          | 17   |
| 2.19 แสดงข้อมูลในการพิจารณาเลือกระบบ UPS แบบต่างๆ.....                              | 21   |
| 2.20 RBD เปรียบเทียบระหว่างมาตรฐาน<br>ศูนย์คอมพิวเตอร์ Tier IV กับ Tier III.....    | 24   |
| 2.21 Optimum availability and investment trade offs.....                            | 27   |
| 2.22 Data Center Concerns – Availability v.s. Cost.....                             | 27   |
| 4.1 ตัวอย่างข้อพิจารณาความเหมาะสม อพเกรดจากรูปแบบ B-D.....                          | 58   |

สารบัญรูป (ต่อ)

| รูปที่                                                                                                     | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| 4.2 ตัวอย่างการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส)<br>ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง (ตัวอย่างที่ 1) ..... | 59   |
| 4.3 วงจรระบบไฟฟ้า Single line diagram (ตัวอย่างที่ 1).....                                                 | 60   |
| 4.4 วงจรระบบไฟฟ้า Single line diagram (ตัวอย่างที่ 2).....                                                 | 61   |
| 4.5 ตัวอย่างการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส)<br>ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง (ตัวอย่างที่ 2) ..... | 62   |
| 4.6 วงจรระบบไฟฟ้า Single line diagram (ตัวอย่างที่ 2) .....                                                | 64   |

|                  |                                                          |
|------------------|----------------------------------------------------------|
| หัวข้อสารนิพนธ์  | ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์ |
| ชื่อผู้เขียน     | นิสิต ชำรงธรรม                                           |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | ดร.รังสิต ศรจิตติ                                        |
| สาขาวิชา         | การจัดการเทคโนโลยีในอาคาร                                |
| ปีการศึกษา       | 2552                                                     |

### บทคัดย่อ

สารนิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเหมาะสมของระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) รูปแบบต่าง ๆ จำนวน 5 รูปแบบ ที่องค์กรขนาดใหญ่ในประเทศไทยนิยมเลือกใช้งาน ดังนี้ แบบ A เครื่องเดียว แบบ B หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายใน แบบ C หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายนอก 1 ชุด แบบ D หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายนอก 2 ชุด และแบบ E แบ่งเป็น 2 กลุ่มจ่ายกระแสไฟฟ้าและสำรองซึ่งกันและกัน การศึกษาและเปรียบเทียบได้พิจารณาปัจจัยสำคัญ 3 ด้าน ได้แก่ ด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า ด้านการซ่อมบำรุงความน่าเชื่อถือและความพร้อมใช้งานของระบบ และด้านความสามารถขยายพิกัดของระบบและการลงทุน เพื่อผลสัมฤทธิ์ในการเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ได้เหมาะสมสำหรับอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์

แนวทางการศึกษาเป็นการสำรวจข้อคิดเห็นและการให้ความสำคัญเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง โดยผู้ตอบแบบสำรวจได้จำแนกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ผู้ผลิตและให้บริการ และผู้ให้บริการ

ผลการศึกษาพบว่าหน่วยงานที่เป็นองค์กรขนาดใหญ่และมีชื่อเสียง และต้องการดำเนินงานศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก ซึ่งจะมีมูลค่าความสูญเสียสูงมากหากเกิดการหยุดทำงาน ดังนั้นระบบที่ควรเลือกนำมาใช้ควรเป็นระบบที่มีความน่าเชื่อถือสูง มีความพร้อมใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง Availability สูงมาก และ Downtime ต่ำ

สำหรับองค์กรที่พิจารณาดำเนินงานศูนย์คอมพิวเตอร์สำรอง หรือระบบงานที่มีเวลาปิดทำการบำรุงรักษาได้บ้างและมีความสูญเสียไม่สูงมากหากเกิดการหยุดทำงาน ควรเลือกระบบที่มี Availability ที่สูงพอประมาณ และ Downtime ต่ำพอสมควร การซ่อมบำรุงยังมีความสะดวกและปลอดภัยต่อระบบคอมพิวเตอร์ของศูนย์ฯ สามารถขยายพิกัดของระบบได้ในอนาคต โดยการลงทุนสูงในระดับที่เหมาะสม

คำสำคัญ : ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส), ศูนย์คอมพิวเตอร์, การต่อขนานเครื่อง, ความพร้อมใช้งานของระบบ

|                        |                                         |
|------------------------|-----------------------------------------|
| Thematic Paper Title   | Decision the UPS System for Data Center |
| Author                 | Nisit Thamrongtham                      |
| Thematic Paper Advisor | Dr. Rangsit Sarachitti                  |
| Department             | Building Technology Management          |
| Academic Year          | 2009                                    |

### ABSTRACT

This Paper Title is studied and compared a suitable application from 5 types of Uninterruptible power supply (UPS) type which many organizations in Thailand are familiar and operation on it. They are classification into 5 types; A single UPS (N); B active redundancy with modular UPS units: N+1 (internal static bypass); C active redundancy with centralized static-switch cubicle: N+1 (single external static bypass); D active redundancy with double static-switch cubicle: N+1 (multiple external static bypass); E redundancy distribution with static transfer switch (2N). This Paper Title is consideration and comparison on 3 criteria factors for effectiveness proper selected UPS such as; first, power quality (PQ); second, scalability; third, investment.

The Paper Title methodology is conducted by questionnaire according to availability of UPS and the opinions of other importance factors e.g., manufacturer, after sales services, and end users.

The Paper Title results finding that the large, well know, and during planning for constructing as Data Center organizations are considered on the consequence impacted of power interruption and effect of business downtime losses as the first priority. UPS which is suitable for this organization shall be high availability and closed to zero downtime.

On the other hand, constructing as Disaster Recover Center organizations have tolerance on business interruption between medium to low should apply UPS that have enough availability and optimum investment.

Keywords : Uninterruptible Power Supply (UPS), Data Center, Parallel Redundant, System

Availability

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันนี้ภาคธุรกิจต่างๆ ดำเนินงานไปได้เป็นปกติและมีความเจริญก้าวหน้าของธุรกิจอย่างต่อเนื่อง โดยต้องอาศัยการติดต่อสื่อสารข้อมูลสารสนเทศผ่านระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ (เซิร์ฟเวอร์ เมนเฟรม) ขององค์กร เช่น ธุรกิจการเงินการธนาคาร ธุรกิจให้บริการอินเทอร์เน็ต ธุรกิจให้บริการระบบสื่อสาร ธุรกิจพลังงาน ธุรกิจยานยนต์ ธุรกิจอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์ ธุรกิจขนส่ง ธุรกิจโรงแรมและธุรกิจการให้บริการอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นองค์กรขนาดใหญ่ บริษัทเหล่านี้จำเป็นต้องมีการติดต่อสื่อสารข้อมูลสารสนเทศอยู่ตลอดเวลา คือการทำธุรกรรมทางธุรกิจ การติดต่อสื่อสารข้อมูล การเก็บข้อมูล การประมวลผลข้อมูล ผ่านระบบเครือข่ายสื่อสารและระบบคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่ขององค์กรเหล่านั้น บางบริษัทมีระบบคอมพิวเตอร์ระบบงานเดียว บางบริษัทก็มีระบบคอมพิวเตอร์หลายเครื่องหลายระบบงาน ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดใหญ่เหล่านั้นจำเป็นต้องติดตั้งในอาคาร ในห้องเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการปรับอากาศสิ่งแวดล้อมที่เหมาะสม มีระบบสาธารณูปโภคที่ดีมีคุณภาพพอเหมาะพอเพียงอย่างเหมาะสม อาคารที่ติดตั้งระบบเครื่องคอมพิวเตอร์ดังกล่าวเรียกว่า “อาคารศูนย์คอมพิวเตอร์”

หากจะนับว่าระบบคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน เป็นหัวใจหลักของการทำธุรกิจก็ไม่าจะผิดอะไร การสื่อสารหรือทำธุรกรรมทางธุรกิจผ่านคอมพิวเตอร์ย่อมต้องมีข้อควรระวังคือ จะต้องให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้โดยไม่มีข้อผิดพลาดหรือขาดตกบกพร่องใดๆ เพื่อป้องกันข้อมูลที่ได้บันทึกไว้สูญหายและเป็นหลักประกันอย่างหนึ่งในการทำธุรกิจ และข้อมูลที่เก็บไว้นี้เองก็จะเก็บเอาไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์รักษาข้อมูล ภายในอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ สถานที่นี้เองย่อมต้องมีการป้องกันขั้นสูง ไม่ให้เกิดไฟฟ้าดับหรือไฟฟ้าตกขณะที่คอมพิวเตอร์เครื่องหลักกำลังมีการติดต่อข้อมูลไปยังเครือข่าย เพราะหากเกิดเหตุไฟฟ้าดับหรือกระแสไฟฟ้ากระชากขัดข้อง อาจส่งผลต่อการทำงานของระบบคอมพิวเตอร์ทั้งหมด จะทำให้ข้อมูลที่เก็บบันทึกไว้เสียหาย และอาจจะไม่สามารถกู้กลับคืนมาได้ซึ่งนับเป็นการเสียหายทางธุรกิจอย่างร้ายแรง นับได้ว่าอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์เป็นอาคารที่ต้องการระบบแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีความสะอาดและมีเสถียรภาพที่สุด

ได้เลือกเอาหัวข้อการเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ภายในศูนย์คอมพิวเตอร์มาทำการศึกษา เพราะปัจจุบันในหน่วยงานที่รับผิดชอบอยู่นั้น เป็นศูนย์คอมพิวเตอร์ของธนาคารแห่งหนึ่ง และมีการเก็บข้อมูลของการทำธุรกรรมทางการเงินทั้งหมดของธนาคารทุกสาขาทั่วประเทศมาเก็บไว้ จึงจำเป็นต้องมีการพิจารณาในประเด็นต่างๆ ในการเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ได้อย่างเหมาะสม สำหรับอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ขององค์กรขณะเดียวกันสถาบันต่างๆ ในต่างประเทศที่พิจารณามาตรฐานด้านศูนย์คอมพิวเตอร์ ได้แก่ สถาบันผู้ผลิตและให้บริการด้านเครื่องคอมพิวเตอร์ ผู้ผลิตและให้บริการด้านสาธารณูปโภค ได้ทำสรุปประสบการณ์ การทดลอง และการวิจัยด้านต่างๆ ออกเป็นขั้นมาตรฐานสำหรับการให้บริการศูนย์คอมพิวเตอร์ ไว้ใช้เป็นมาตรฐานอ้างอิงในการที่จะก่อสร้างอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ใหม่ และเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ที่เหมาะสม สำหรับองค์กรนั้นๆ เป็นต้น เนื่องจากเริ่มมีการแข่งขันกันในการให้บริการศูนย์คอมพิวเตอร์ ทั้งเป็นส่วนของหน่วยงานประจำองค์กรเองหรือเปิดให้บริการหน่วยงานภายนอก จึงมีการเรียนรู้จากการถ่ายทอดประสบการณ์และการสร้างขั้นมาตรฐาน (Tier I - IV) ในการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส)

จากประสบการณ์และปัญหาด้านการปฏิบัติงานระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ที่นำมาร่วมพิจารณาศึกษา ได้แก่

1. ระบบ UPS แบบไดนามิกส์ ของธนาคารแห่งหนึ่ง ติดตั้งใช้งานมา 10 กว่าปีไม่เคยเกิดปัญหาใดๆ แต่ค่าใช้จ่ายลงทุนและการซ่อมบำรุงสูงกว่าระบบอื่นๆ หลายเท่าตัว
2. ระบบ UPS แบบ ต่อขนาน (Redundant) ของธนาคารแห่งหนึ่ง มีอยู่หนึ่งเครื่องชำรุดทำให้นุดทั้งระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่องล่มได้ทำให้ไม่สามารถทำธุรกรรมทางการเงินได้เป็นเวลานาน
3. ระบบ UPS แบบเครื่องเดี่ยว (Single UPS) ของธนาคารแห่งหนึ่งชำรุด ต้องทำการปิดซ่อมเป็นเวลานาน เนื่องจากไม่มีเครื่องสำรองต่อขนาน (Redundant)
4. ระบบ UPS แบบ ต่อขนาน (Redundant) และมีบายพาสอยู่ภายนอกของธนาคารแห่งหนึ่งระบบมีเสถียรภาพดี แต่ก็ต้องลงทุนค่อนข้างสูง เป็นต้น

จึงเป็นที่มาของสารนิพนธ์ “การเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์” อย่างเหมาะสม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบความเหมาะสมของระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) รูปแบบต่างๆ ที่องค์กรขนาดใหญ่ต่างๆ ในประเทศไทยนิยมเลือกใช้งาน

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษานี้จะพิจารณาที่พิกัดกำลังไฟฟ้า (เอทท์พท) ที่เท่ากันจำนวน 5 รูปแบบ (A – E) ดังนี้

- A. เครื่องเดียว (Single UPS)
- B. หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายใน (Active redundancy with modular UPS units: internal static bypass)
- C. หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายนอก 1 ชุด (Active redundancy with centralized static-switch cubicle: single external static bypass)
- D. หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายนอก 2 ชุด (Active redundancy with double static-switch cubicle: multiple external static bypass)
- E. แบ่งเป็น 2 กลุ่มเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าหรือการสำรอง 100 เปอร์เซ็นต์ (Redundant distribution with static transfer switch)

และมีปัจจัยหลัก 3 ด้านในการพิจารณาศึกษาและเปรียบเทียบ ได้แก่

- 1. คุณภาพระบบไฟฟ้า (power quality)
- 2. การซ่อมบำรุง ความน่าเชื่อถือ และความพร้อมในการใช้งานของระบบอย่างต่อเนื่อง (maintenance, reliability and availability)
- 3. ความสามารถขยายพิกัดของระบบและการลงทุน (expansion and investment)

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 เพื่อเป็นแนวทางเบื้องต้นสำหรับการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ที่เหมาะสมตามความต้องการของศูนย์คอมพิวเตอร์แต่ละแห่ง

1.4.2 เป็นข้อมูลประกอบในการบริหารงานด้านต่างๆ เช่น การปรับปรุง การวางแผน การกำหนดนโยบาย และการพัฒนางานในองค์กรด้านการเตรียมระบบไฟฟ้าสำรองขององค์กรได้

1.4.3 ลดปัญหาความเสี่ยง และความสูญเสียที่อาจเกิดขึ้นกับระบบคอมพิวเตอร์สื่อสารและระบบสารสนเทศ

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาการเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์ได้นำทฤษฎีความรู้ทางวิชาการที่เกี่ยวข้องมาใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงเพื่อเป็นแนวทางในการทำการศึกษ ซึ่งมีแนวคิดที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

#### 2.1 คุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality)

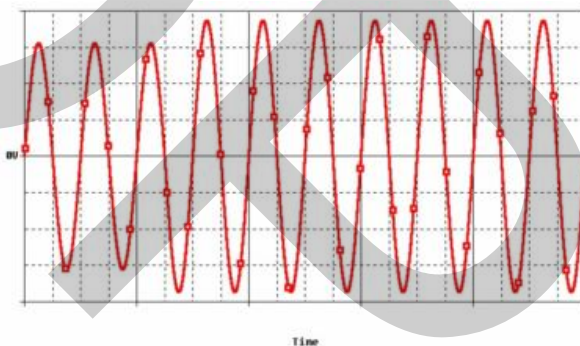
คุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นเรื่องของความแน่นอนในการจ่ายกำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งจ่าย นิยามของคุณภาพไฟฟ้า หมายถึงลักษณะของกระแสไฟฟ้าแรงดันไฟฟ้าและความถี่ของ แหล่งจ่ายไฟ ในสภาวะปกติที่ไม่ทำให้อุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้า มีการทำงานที่ผิดพลาด หรือ เสียหาย ในปัจจุบันเรื่องของคุณภาพกำลังไฟฟ้าเป็นที่สนใจและนำมาพิจารณากันมาก เนื่องจาก สาเหตุใหญ่ๆ คือ กระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมมีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีเทคโนโลยีสูง ซึ่งมีความไวในการตอบสนองต่อคุณภาพกำลังไฟฟ้ามากกว่าในอดีต โดยเฉพาะอุปกรณ์ประเภท อิเล็กทรอนิกส์กำลัง การเพิ่มขึ้นของอุปกรณ์ไฟฟ้าในการปรับเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้า ซึ่งจะทำให้เกิดฮาร์มอนิกที่สูงมากขึ้นในระบบกำลัง ระบบไฟฟ้าในปัจจุบันมีการต่อเชื่อมโยงถึงกัน ถ้าส่วนใดส่วนหนึ่งของระบบมีปัญหาหรือจ่าย ฮาร์มอนิกเข้าสู่ระบบ จะทำให้อุปกรณ์หรือระบบ ข้างเคียงได้รับผลกระทบด้วยและมีผลกระทบต่อการทำงานของระบบที่เป็นอยู่ เป็นต้น

สำหรับปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบไฟฟ้าที่ทำให้คุณภาพกำลังงานไฟฟ้าเสียไปนั้นเราอาจ จะแบ่งแยกสาเหตุออกได้หลายรูปแบบเช่น ปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ไฟฟ้า ความผิดพลาดใน ระบบส่งกำลังของแหล่งจ่ายไฟฟ้าหลัก การทำงานของอุปกรณ์ประเภทสวิตชิง (Switching) การ ทำงานของอุปกรณ์ประเภทไม่เป็นเชิงเส้น การต่อกราวด์ (Grounding) ในระบบไม่ถูกต้อง เป็นต้น เมื่อเกิดปัญหาเกี่ยวกับคุณภาพของกำลังงานไฟฟ้าขึ้นย่อมจะทำให้ลักษณะของรูปคลื่น แรงดัน กระแส ตลอดจนความถี่ของระบบไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป ซึ่งปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นเราเรียกรวมว่า เป็น “มลภาวะทางไฟฟ้า (Electrical Pollution)” ดังนั้นเราสามารถนิยาม และพิจารณาถึงมลภาวะ ทางไฟฟ้าได้ดังนี้

## 2.2 มลภาวะทางไฟฟ้า (Electrical Pollution)

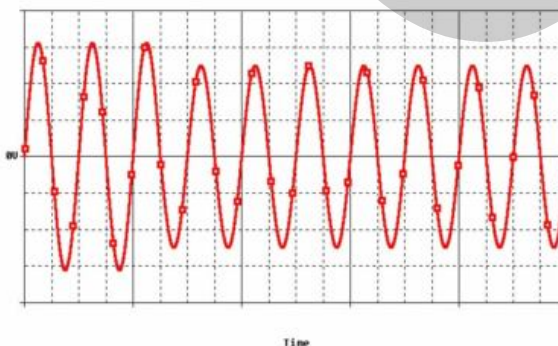
คือ ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้า แล้วทำให้เครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ โหลด ไม่สามารถทำงานได้อย่างปกติ หรือ อาจเกิดปัญหาให้โหลดเสียหายได้ โดยเราสามารถแบ่งมลภาวะทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในระบบสายส่งกำลังแบบ 220 โวลต์อาร์เอ็มเอส ( $V_{RMS}$ ) ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ (Hertz) ออกตามลักษณะได้ 10 ประเภท คือ

ไฟเกิน (Over Voltage) เป็นสถานะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าสูงเพิ่มขึ้นเป็นระยะเวลานาน โดยอาจจะมีสาเหตุต่าง ๆ กัน เช่น เกิดจากตำแหน่งใช้งานที่ใกล้แหล่งจ่ายไฟฟ้า เกิดจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เกิดจากการปลดโหลดขนาดใหญ่ออกจากระบบ การสวิตซ์ตัวเก็บประจุเข้าระบบ หรือ การปรับแท็บ (Tap) ของหม้อแปลงไม่เหมาะสม เป็นต้น



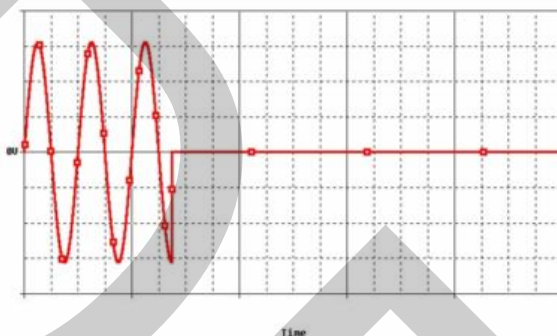
รูปที่ 2.1 รูปคลื่นของแรงดันไฟเกิน

ไฟตก (Under Voltage) เป็นสถานะที่แรงดันไฟฟ้ามีค่าลดต่ำลงเป็นระยะเวลานาน โดยอาจเกิดได้จากหลายสาเหตุ เช่น การใช้กำลังงานไฟฟ้าจากแหล่งกำลังงานสูง ตำแหน่งใช้งานอยู่ไกลจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า เกิดจากการต่อโหลดขนาดใหญ่เข้าสู่ระบบ การสวิตซ์ตัวเก็บประจุออกจากระบบ เป็นต้น



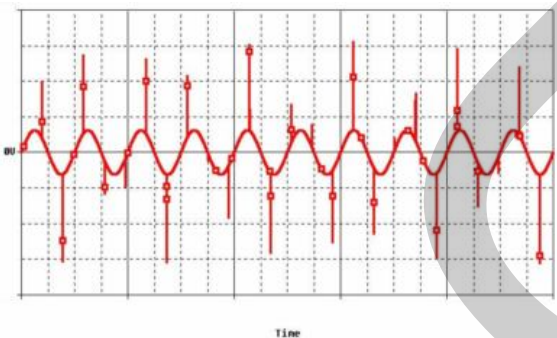
รูปที่ 2.2 รูปคลื่นของแรงดันไฟตก

ไฟดับ (Blackout หรือ Sustained Interruptions) เป็นสถานะที่แหล่งจ่ายกำลังงานทางไฟฟ้าหยุดจ่ายกำลังงานทำให้ไม่มีแรงดันปรากฏในสายกำลัง โดยอาจจะมีสาเหตุเกิดมาจากแหล่งจ่ายกำลังงานได้รับความเสียหาย หรือ มีการลัดวงจรในสายกำลัง ทำให้อุปกรณ์ป้องกันมีการตัดวงจรแหล่งจ่ายไฟออกถาวร



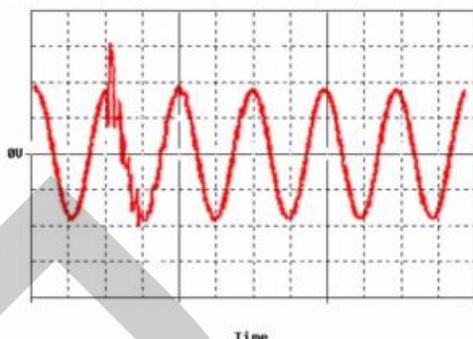
รูปที่ 2.3 รูปคลื่นของแรงดันไฟดับ

ไฟกระชาก (Surge หรือ Spike) และการออสซิลเลต (Oscillate) สถานะไฟกระชากเป็นสถานะที่แรงดันสูงขึ้นทันที ซึ่งมักจะมีสาเหตุมาจากปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น ฟ้าผ่า และมักเป็นสาเหตุให้เครื่องใช้ไฟฟ้าเสียหายทันที



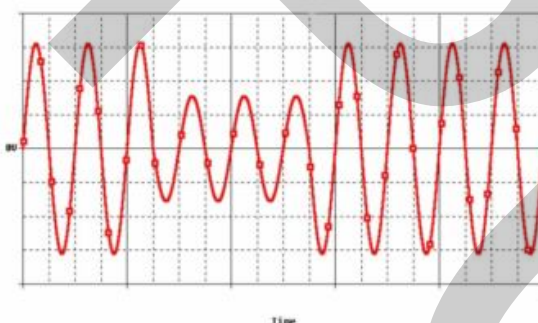
รูปที่ 2.4 รูปคลื่นของแรงดันไฟกระชาก

ส่วนสถานะการออสซิลเลตเป็นปรากฏการณ์ที่แรงดัน หรือ กระแส มีค่าสูงอย่างทันทีทันใด โดยมีการเปลี่ยนแปลงของรูปคลื่นทั้งชั่ววอกและลบ แต่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความถี่ ดังแสดงในรูปที่ 2.5



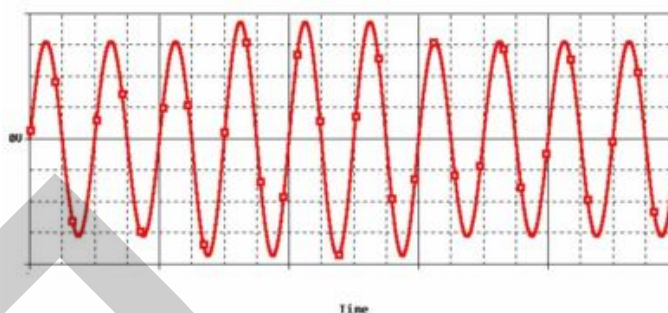
รูปที่ 2.5 รูปคลื่นของแรงดันที่เกิดออสซิลเลตชั่วขณะ

ไฟตกชั่วขณะ (Voltage Sag) เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าขาดหายไปในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการใช้งานมอเตอร์ขนาดใหญ่ ซึ่งต้องการกระแสสูงกว่าปกติประมาณ 10 เท่า ในขณะที่เริ่มทำงาน ทำให้มีผลกับอุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการความต่อเนื่องของแรงดัน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยอาจทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์หยุดทำงาน (Hang) หรือ เกิดการรีเซ็ต (Reset) ได้



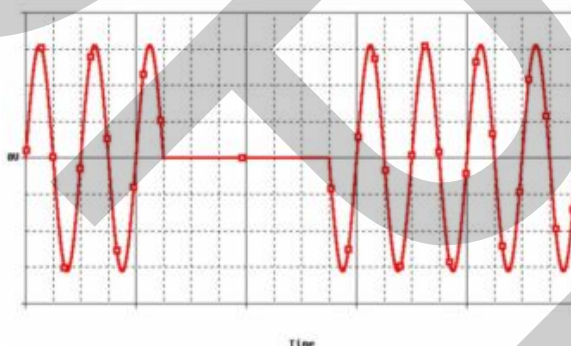
รูปที่ 2.6 รูปคลื่นของแรงดันไฟตกชั่วขณะ

ไฟเกินชั่วขณะ (Voltage Swell) เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจเกิดขึ้นจากการใช้งานของชุดตัวเก็บประจุ (Capacitor Bank) ทำให้มีผลกับอุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าที่ต้องการความต่อเนื่องของแรงดัน เช่น เครื่องคอมพิวเตอร์ โดยอาจทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์หยุดทำงาน (Hang) หรือ เกิดการรีเซ็ต (Reset) ได้เช่นเดียวกัน



รูปที่ 2.7 รูปคลื่นของแรงดันไฟเกินชั่วขณะ

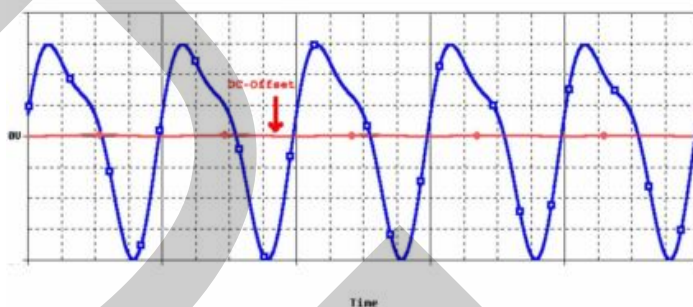
ไฟดับชั่วขณะ หรือ ไฟกระพริบ (Short Interruption) เป็นปรากฏการณ์ที่แรงดันไฟฟ้าขาดหายไปในช่วงเวลาสั้นๆ ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นจากการลัดวงจรภายในระบบ ทำให้อุปกรณ์ป้องกันทำการตัดวงจรชั่วคราว ทำให้อุปกรณ์ หรือ เครื่องใช้ไฟฟ้าหยุดทำงานได้



รูปที่ 2.8 รูปคลื่นของแรงดันไฟกระพริบ

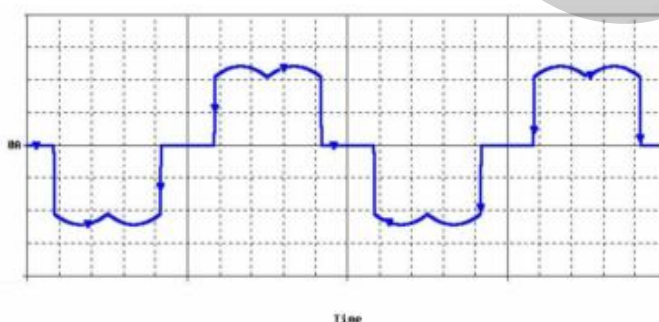
ความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น (Waveform Distortion) เป็นปรากฏการณ์ที่ลักษณะของรูปคลื่นมีการเบี่ยงเบนไปจากคลื่นไซน์ ซึ่งอาจจะเกิดจาก องค์ประกอบไฟตรง (DC Offset) ฮาร์โมนิก (Harmonic) คลื่นแบบนอตช์ (Notch) สัญญาณรบกวน (Noise) และ อินเตอร์ฮาร์โมนิก (Interharmonic) มักจะเกิดจากสัญญาณรบกวนทางแม่เหล็กไฟฟ้า (EMI) หรือ สัญญาณวิทยุความถี่สูง (RFI) จากเครื่องใช้ไฟฟ้า หรือ ปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น โหลดไม่เป็นเชิงเส้น เครื่องเชื่อมไฟฟ้า สวิตช์เครื่องส่งสัญญาณวิทยุกำลังสูง หรือ ฟาผ่า เป็นต้น ซึ่งสัญญาณรบกวนจะถูกเหนี่ยวนำกับสายส่งกำลังทำให้สัญญาณแรงดันมีรูปคลื่นไม่เรียบสม่ำเสมอ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการประมวลผล หรือ การสื่อสารข้อมูลได้ ซึ่งเราอธิบายลักษณะความผิดเพี้ยนของรูปคลื่นแบบต่างๆ ได้ดังนี้

องค์ประกอบไฟตรง ( DC Offset ) – เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดความไม่สมมาตรของรูปคลื่น ทำให้ค่าเฉลี่ยของรูปคลื่นมีค่าไม่เป็นศูนย์ ซึ่งก็คือค่าของแรงดันไฟตรงที่ปรากฏอยู่ในระบบ ผลของแรงดันไฟตรงนี้จะทำให้เกิดความสูญเสียในรูปความร้อนที่หม้อแปลงและ ระบบส่งกำลังได้



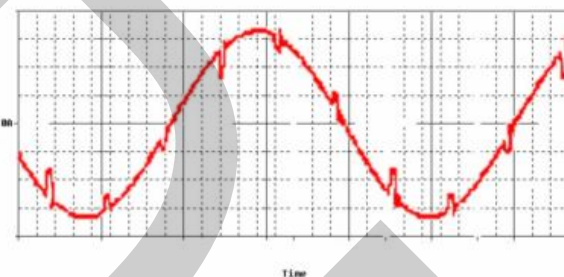
รูปที่ 2.9 รูปคลื่นของแรงดันที่มีองค์ประกอบของแรงดันไฟตรง

ฮาร์โมนิก (Harmonic) – คือองค์ประกอบของสัญญาณที่มีรูปร่างเป็นไซน์ที่มีความถี่เป็นจำนวนเต็มเท่าของความถี่ที่สัญญาณหลักมูล (fundamental frequency) เช่น ความถี่ในระบบไฟฟ้าบ้านเรามีค่า 50 เฮิร์ตซ์ ฮาร์โมนิกของสายกำลังจะมีความถี่ต่างๆ ขึ้นอยู่กับอันดับของฮาร์โมนิก เช่น ฮาร์โมนิกอันดับ 3 (3<sup>rd</sup> Harmonic) จะมีความถี่เท่ากับ 150 เฮิร์ตซ์ ฮาร์โมนิกอันดับ 5 (5<sup>th</sup> Harmonic) จะมีความถี่เท่ากับ 250 เฮิร์ตซ์ เป็นต้น ซึ่งเมื่อมีองค์ประกอบที่ฮาร์โมนิกต่างๆ ปะปนเข้ามาในระบบจะส่งผลให้รูปคลื่นของแรงดัน หรือ กระแส มีขนาดและเฟสเปลี่ยนไป หรือที่เราเรียกว่าเกิดความผิดเพี้ยนของรูปคลื่น (Distortion Waveform) นั่นเอง มักจะเกิดในระบบไฟฟ้าที่มีการใช้งานโหลดที่ไม่เป็นเชิงเส้น ปรากฏการณ์เช่นนี้จะมีผลให้อุปกรณ์ไฟฟ้าบางประเภทหยุดทำงาน หรือทำงานผิดพลาด และ อาจสร้างความเสียหายกับโหลด เช่น มอเตอร์ ได้ถ้าองค์ประกอบของฮาร์โมนิกมีขนาดใหญ่



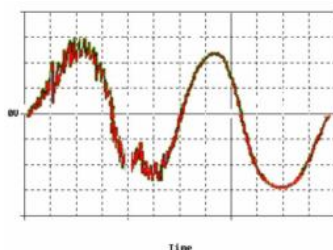
รูปที่ 2.10 รูปคลื่นกระแสของแหล่งจ่ายที่มีฮาร์โมนิกปะปนของวงจรเรียงกระแสแบบ 3 เฟส

รูปคลื่นแบบน็อทช์ (Notch) – เป็นสัญญาณรบกวนประเภทหนึ่งคล้ายกับสัญญาณรบกวนแบบทรานเซียน (Transient) ที่มีการเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง มักจะเกิดจากการใช้งานวงจรอิเล็กทรอนิกส์กำลังที่มีการสับเปลี่ยนกำลังงานจากแหล่งจ่าย โดยอาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ ให้ทำงานผิดพลาดได้



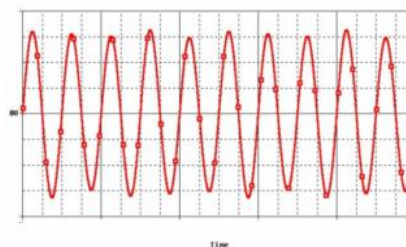
รูปที่ 2.11 รูปคลื่นของแรงดันที่มีการเกิดน็อทช์

สัญญาณรบกวน (Noise) – เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดสัญญาณไฟฟ้าที่ไม่ต้องการ และมีความถี่ต่ำกว่า 200 kHz ปะปนเข้ามาในสัญญาณของแรงดัน หรือ กระแสในสายกำลัง ซึ่งอาจจะเกิดขึ้นได้จากการที่ระบบไฟฟ้าไม่มีการต่อสายลงดิน (Grounding) ที่ถูกต้องเหมาะสม ซึ่งอาจเกิดร่วมกับความผิดพลาดทางไฟฟ้าแบบอื่นด้วย ในขณะที่มีการใช้งานอุปกรณ์สวิตซ์อื่นๆ ในระบบ ผลของสัญญาณรบกวนอาจจะทำให้วงจรควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานผิดพลาดหรือหยุดทำงานได้ลักษณะของสัญญาณรบกวนในสายกำลังแสดงตัวอย่างรูปที่ 2.12



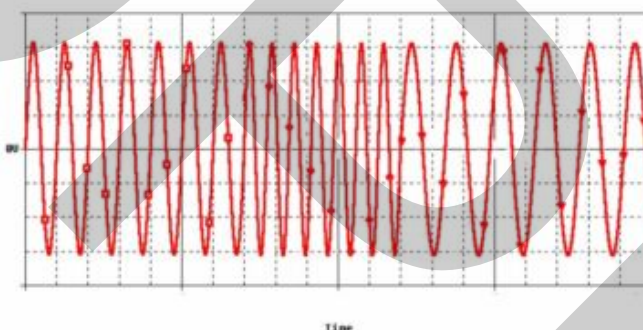
รูปที่ 2.12 รูปคลื่นของสัญญาณรบกวนของแรงดันที่สายกำลังในสภาวะไฟตก

แรงดันกระเพื่อม (Voltage Fluctuation) เป็นปรากฏการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงดันอย่างต่อเนื่องดังรูปที่ 2.13 โดยอาจจะเกิดได้จากการเชื่อมต่อไฟฟ้า



รูปที่ 2.13 รูปคลื่นของแรงดันกระเพื่อม

การเปลี่ยนความถี่ (Frequency Variation) เป็นปรากฏการณ์ที่ความถี่ของระบบไฟฟ้ามีค่าเปลี่ยนแปลงจาก 50 เฮิร์ตซ์ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ซึ่งมักจะมีผลมาจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการทำงานของโหลดประเภทเชิงกลอย่างมาก เนื่องจากการทำงานสัมพันธ์กับความถี่



รูปที่ 2.14 รูปคลื่นของแรงดันที่มีการเปลี่ยนความถี่

จากปัญหา “มลภาวะทางไฟฟ้า (Electrical Pollution)” ที่เกิดขึ้นในระบบไฟฟ้านั้นเราสามารถแก้ไขและลดปัญหาได้ด้วยการติดตั้งเครื่องระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) เข้าไปในระบบเพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพกำลังไฟฟ้าได้อย่างเหมาะสม

## 2.3 ระบบ UPS

ปัจจุบันระบบ UPS นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ชื่อเรียกเต็มๆ คือ Uninterruptible Power Supply ความหมายของระบบแปลได้ตรงตัว คือ ระบบจ่ายไฟฟ้ากำลังชนิดจ่ายได้ต่อเนื่องตลอดเวลา โดยไม่มีการกระพริบของไฟฟ้าเมื่อกระแสไฟฟ้าดับลง “UPS” เป็นอุปกรณ์ชนิดแหล่งจ่ายกำลังงานไฟฟ้าประเภทหนึ่ง ที่ช่วยให้อุปกรณ์สามารถมีกำลังงานไฟฟ้าใช้ และ ทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้มีการออกแบบใช้งานมาเป็นเวลานานแล้ว แต่ในสมัยก่อนเราใช้งาน UPS เป็นอุปกรณ์เสริมพิเศษเพื่อแก้ไขคุณภาพกำลังไฟฟ้า (Power Quality) โดยมักจะมีการใช้เฉพาะงานที่

จำเป็น เช่น ในระบบเครื่องมือคอมพิวเตอร์ ในเครื่องมือแพทย์ ในเครื่องมือวัดเก็บค่าที่ใช้เวลานาน เป็นต้น และยังไม่เป็นที่รู้จักแพร่หลายมากนักเนื่องจากราคาสูง แต่ในปัจจุบันซึ่งนับได้ว่าเป็นยุค ไอที ได้มีการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมากในระบบบริษัท และ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ตามบ้านกันมากขึ้น อีกทั้งปัจจัยทางด้านราคาที่ค่อนข้างต่ำของ UPS ในปัจจุบัน ยิ่งส่งเสริมให้ความต้องการใช้งาน UPS มีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อพูดถึงคำว่า UPS เรากล่าวได้ว่าแทบจะไม่มีใครที่ไม่รู้จัก แต่สำหรับโครงสร้างและการทำงานของ UPS ยังไม่เป็นที่รู้กันมากนัก สำหรับ UPS ที่มีขายในตลาดที่แท้จริงแล้วมี 2 ระบบใหญ่ๆแบ่งตามลักษณะของแหล่งกำลังงานคือ

1. โรตารี UPS (Rotary Uninterruptible Power Supply) หรือ ไดนามิกส์ UPS (Dynamic Uninterruptible Power Supply) ซึ่งใช้พลังงานจากแหล่งน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า เนื่องจากในอดีตอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ยังไม่แพร่หลาย โดยในสภาวะปกติไฟฟ้าส่วนหนึ่งจะถูกเก็บไว้ใน Fly Wheel และเมื่อไฟฟ้าดับ เครื่องยนต์ต้นกำลังจะถูกเดินเครื่องทันที และจ่ายกระแสไฟฟ้าออกมาอย่างต่อเนื่องในลักษณะเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้า



รูปที่ 2.15 Dynamic UPS

2. สเตติก UPS (Static Uninterruptible Power Supply) ซึ่งมีแบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงานไฟฟ้า หลักการทำงานคือ ในสภาวะปกติไฟฟ้าจากการไฟฟ้าจะถูกแปลงจากกระแสสลับ (AC) เป็นกระแสตรง (DC) เพื่อเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ใน แบตเตอรี่ ขณะเดียวกันจะมีเครื่องแปลงไฟฟ้ากระแสตรงไปเป็นกระแสสลับ จ่ายต่อไปยังอุปกรณ์ไฟฟ้าหรือคอมพิวเตอร์ เมื่อไฟฟ้าดับ พลังงานจากแบตเตอรี่ จะถูกจ่ายออกไปในทันที อย่างต่อเนื่อง ระยะเวลาสำรองพลังงานได้ยาวนาน ขนาดไหนขึ้นอยู่กับขนาดของแบตเตอรี่



รูปที่ 2.16 Static UPS และแบตเตอรี่

## 2.4 Reliability and Availability

ในปัจจุบันภาคอุตสาหกรรมและสารสนเทศในประเทศไทยได้เจริญรุดหน้าอย่างเห็นได้ชัด ส่งผลให้ระบบไฟฟ้าสำรองมีความจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ดังนั้นการเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) โดยทั่วไปวิศวกร มักจะพิจารณาในปัจจัยของ **Reliability** หรือเสถียรภาพของอุปกรณ์ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วนอกจาก **Reliability** แล้วนั้น มีปัจจัยที่ควรคำนึงถึงมากกว่า คือ **Availability**

**Reliability** หมายถึง ความสามารถของอุปกรณ์ หรือระบบที่จะทำงานได้ตาม Function ที่ต้องการในสภาพแวดล้อมและช่วงเวลาที่กำหนดไว้ วิธีการตรวจสอบว่าอุปกรณ์หรือระบบนั้นมี **Reliability** หรือไม่ เราสามารถพิจารณาจากมาตรฐานต่าง ๆ ที่อุปกรณ์หรือระบบนั้นได้รับด้วย เช่น มาตรฐานการผลิตของตัวเครื่อง UPS หรือแม้กระทั่งวัสดุที่ใช้ผลิต เป็นต้น ซึ่งอุปกรณ์ต่าง ๆ มีโอกาสที่จะเสียได้ นอกจากนี้ **Reliability** ยังเป็นปัจจัยที่สัมพันธ์กับ **MTBF (Mean Time Between Failure)** ถ้าค่าของ **MTBF** มากเท่าไรแปลว่าอุปกรณ์นั้นมี **Reliability** สูงเท่านั้น

**MTBF (Mean Time Between Failure)** หมายถึงอายุการใช้งานเฉลี่ยของอุปกรณ์ ซึ่งมีการคำนวณมาจาก

$$MTBF = UT/F$$

$$\lambda = 1/MTBF$$

โดย U = จำนวนอุปกรณ์ที่นำมาใช้ทดสอบ

T = เวลาในการทดสอบ (ชั่วโมง)

F = จำนวนอุปกรณ์ที่เสียในระหว่างทดสอบ

$\lambda$  = อัตราการเสีย

### ความสัมพันธ์ระหว่าง Reliability กับ Availability

**Availability** หมายถึงโอกาสหรือความพร้อมที่สามารถใช้งานของระบบได้ตามเวลาที่ต้องการ เราสามารถเดินระบบได้ตามเวลาที่เรต้องการ หรือ ในกรณีที่ระบบมีปัญหา ต้องสามารถแก้ไขและเดินระบบได้ตามเวลาที่ยอมรับได้ ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ Reliability และ MTBF ดังนี้

$$\text{Availability (\%)} = \frac{\text{MTBF}}{(\text{MTBF} + \text{MTTR} + \text{MTPM})} \times 100$$

**MTTR (Mean Time To Repair)** หมายถึง เวลาเฉลี่ยในการแก้ไขหรือกู้ระบบให้กลับมาใช้งานได้เหมือนเดิม

**MTPM (Mean Time for Preventive Maintenance)** หมายถึง เวลาเฉลี่ยในการซ่อมบำรุงต่อช่วงเวลาหนึ่ง

**Downtime** ช่วงเวลาที่เครื่องหรือระบบเสียใช้งานไม่ได้ ต้องปิดทำการเครื่องหรือระบบ โดยอยู่ในระหว่างเวลาซ่อมแซมแก้ไข (MTTR) และอยู่ในระหว่างเวลาบำรุงรักษา (MTPM)

สมมติว่า คำนวณหาค่า ความพร้อมในการใช้งานของระบบได้ Availability = 95 %

แสดงว่าเกิดเวลาที่เครื่องหรือระบบเสียใช้งานไม่ได้ Downtime = 5 %

ซึ่งเครื่อง หรือระบบใด ๆ ก็ตามหากเกิดการเสียชำรุดบ่อยครั้ง (MTTR) หรือ ระบบใดก็ตามต้องปิดเครื่องหรือระบบในการทำการบำรุงรักษาเป็นระยะเวลานาน (MTPM) เกิดเป็นเวลาสูญเสีย Downtime เป็นระยะเวลานาน จะส่งผลให้เกิดเป็นมูลค่าความสูญเสียที่สูง (Downtime loss cost) ตามระยะเวลาที่เกิด Downtime แสดงว่าระบบนั้นมีค่า Availability ที่ไม่สูงดีพอ เป็นต้น

## 2.5 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการทำสารนิพนธ์ ได้อ้างอิง บทความ เอกสารงานวิจัย ทฤษฎีและคำอ้างอิงจาก องค์การสถาบันมาตรฐาน ต่างๆ และ บทความผลงานวิจัยในการนำมาใช้วิเคราะห์ ข้อมูลงาน สารนิพนธ์ฉบับนี้ ดังนี้

งานสัมมนา Security Awareness Training (CAT Telecom) ชนันต์ สัตยภิวัฒน์ (2547) ได้อธิบายถึงต้นทุนการสูญเสียต่างๆ (Downtime loss cost) ซึ่งจะมีทั้งในส่วนที่เป็นรูปธรรม และเป็นนามธรรม

### Why Security?

- Tangible loss
  - Direct financial loss
  - Productivity loss
  - Investigation and recovery costs
  - Legal responsibility towards companies and their management
- Intangible loss
  - Corporate image and reputation eg. Microsoft, Ebay, Amazon

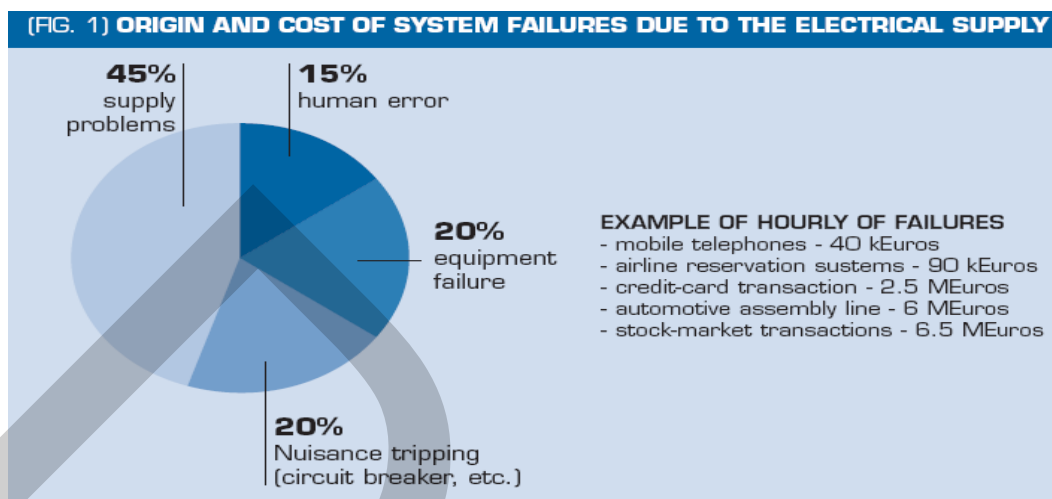
### (Case study)

- Real case happening on one CAI server!!!
- Hutch data-traffic collector
- Server down for 5 days
- Loss
  - Direct financial loss
    - 1 MB costs 1 Baht
    - On average, 30,000 MB of data transfer per one day
    - Total cost of the event = 150,000 Baht
  - Productivity loss
    - Two of our engineers spent days to recover
- Real case !!!
- Router attacks developed within days
- Result in 100% CPU usages and dropped packets
- Loss
  - Direct financial loss
    - Shorten CPU lifetime
  - Recovery costs
    - One engineer stayed overnight waiting for IOS upgrade
- Not yet happen but quite possibly because of its high-profile
- Loss
  - Direct financial loss
    - Service Level Agreement (SLA) 99.9% means no more than 43.2 minutes of downtime per month
    - If downtime is higher than 99.9%, IDC has to refund the customer.
    - Recovery cost subjects to vendor human costs
  - Corporate image and reputation
    - Even though loss cannot be financially estimated, damage is immeasurable as previously shown.

รูปที่ 2.17 แสดงข้อมูลการเกิดการสูญเสียหากระบบเกิดการหยุดทำงาน (Downtime loss cost)

ที่มา : งานสัมมนา Security Awareness Training (CAT Telecom) ณรงค์ สัตยกิจวัฒน์ (2547)

Uninterruptible Power Supplies (European Guide) CEMEP (2007 : 11) ได้ทำวิจัยกล่าวถึงว่าถ้าเกิดอุบัติเหตุทางแหล่งจ่ายไฟฟ้า จะเกิดต้นทุนการสูญเสีย (Downtime loss cost) ของธุรกิจต่างๆ เทียบต่อชั่วโมง



รูปที่ 2.18 แสดงสัดส่วนของต้นทุนการสูญเสีย (Downtime loss cost) ของธุรกิจต่างๆ เทียบต่อชั่วโมง

ที่มา : Uninterruptible Power Supplies (European Guide) (CEMEP) European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics (2007 : 11)

สถาบัน Uptime Institute's Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance (2006) ได้แบ่ง Class คุณภาพศูนย์คอมพิวเตอร์จาก รูปแบบงานสาธารณูปโภค ออกเป็น 4 ระดับ Tier Classifications คือ

Tier I : วงจรการจ่ายกำลังไฟฟ้าและการทำความเย็น เพียงชุดเดียว และไม่มีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ : Single path for power and cooling distribution, no redundant components, 99.671% availability.

Tier II : วงจรการจ่ายกำลังไฟฟ้าและการทำความเย็น เพียงชุดเดียว โดยมีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ : Single path for power and cooling distribution, redundant components, 99.741% availability.

Tier III : มีวงจรการจ่ายกำลังไฟฟ้าและการทำความเย็น สองชุด โดยมีอยู่หนึ่งชุด(แอคทีฟ) สามารถสำรองกำลังไฟฟ้าให้กับระบบได้ และมีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ สามารถซ่อมบำรุงได้อย่างต่อเนื่อง : Multiple power and cooling distribution paths, but only one path active, redundant components, concurrently maintainable, 99.982% availability.

Tier IV : มีวงจรการจ่ายกำลังไฟฟ้าและการทำความเย็น สองชุด โดยทุกชุด(แอคทีฟ) สามารถสำรองกำลังไฟฟ้าให้กับระบบได้ และมีเครื่องสำรองต่อขนานในระบบ สามารถซ่อมบำรุง

ได้โดยไม่มีข้อผิดพลาด : Multiple active power and cooling distribution paths, redundant components, fault tolerant, 99.995% availability.

## ตารางที่ 2.1 แสดงข้อมูลคุณลักษณะ ของ Tier Classifications I-IV

**Performance Standards by Tier Level**

| Tier Requirement               | Tier I | Tier II | Tier III                 | Tier IV                 |
|--------------------------------|--------|---------|--------------------------|-------------------------|
| Source                         | System | System  | System                   | System + System         |
| System Component Redundancy    | N      | N+1     | N+1                      | Minimum of N+1          |
| Distribution Paths             | 1      | 1       | 1 normal and 1 alternate | 2 simultaneously active |
| Compartmentalization           | No     | No      | No                       | Yes                     |
| Concurrently Maintainable      | No     | No      | Yes                      | Yes                     |
| Fault Tolerance (single event) | No     | No      | No                       | Yes                     |

ที่มา : (White Paper) The Uptime Institute's Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance (2006 : 5)

## ตารางที่ 2.2 แสดงข้อมูลคุณลักษณะของการต่อวงจร UPS รูปแบบต่างๆ โดยอ้างอิงสถาบัน (Uptime Institute's) Tier Classifications I-IV และต้นทุนการลงทุนต่อ Rack ของศูนย์คอมพิวเตอร์

**Table** – Scale of availability and cost for UPS configurations

| Configurations                | Scale of Availability | Tier Class <sup>1</sup> | Data Center Scale of Cost (US\$) |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Capacity (N)                  | 1 = Lowest            | Tier I                  | \$13,500 - \$18,000 / rack       |
| Isolated Redundant            | 2                     | Tier II                 | \$18,000 - \$24,000 / rack       |
| Parallel Redundant (N+1)      | 3                     |                         |                                  |
| Distributed Redundant         | 4                     | Tier III                | \$24,000 - \$30,000 / rack       |
| System plus System (2N, 2N+1) | 5 = Highest           | Tier IV                 | \$ 36,000 - \$42,000 / rack      |

ที่มา : เอกสาร (White Paper # 75) American Power Conversion (APC) Comparing UPS System Design Configurations (2005 : 4)

## ตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลคุณลักษณะ ของ Tier Classifications I-IV

### Typical Tier Attributes

|                                                                                      | Tier 1                               | Tier II                              | Tier III                             | Tier IV                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Building Type                                                                        | Tenant                               | Tenant                               | Stand-alone                          | Stand-alone                          |
| Staffing                                                                             | None                                 | 1 Shift                              | 1+Shifts                             | "24 by Forever"                      |
| Useable for Critical Load                                                            | 100% N                               | 100% N                               | 90% N                                | 90% N                                |
| Initial Build-out Gross Watts per Square Foot (W/ft <sup>2</sup> ) (typical)         | 20-30                                | 40-50                                | 40-60                                | 50-80                                |
| Ultimate Gross W/ft <sup>2</sup> (typical)                                           | 20-30                                | 40-50                                | 100-150 <sup>1,2,3</sup>             | 150+ <sup>1,2</sup>                  |
| Class A Uninterruptible Cooling                                                      | No                                   | No                                   | Maybe                                | Yes                                  |
| Support Space to Raised Floor Ratio                                                  | 20%                                  | 30%                                  | 80-90+% <sup>2</sup>                 | 100+%                                |
| Raised Floor Height (typical)                                                        | 12"                                  | 18"                                  | 30-36" <sup>2</sup>                  | 30-36" <sup>2</sup>                  |
| Floor Loading lbs/ft <sup>2</sup> (typical)                                          | 85                                   | 100                                  | 150                                  | 150+                                 |
| Utility Voltage (typical)                                                            | 208, 480                             | 208, 480                             | 12-15 kV <sup>2</sup>                | 12-15 kV <sup>2</sup>                |
| Single Points-of-Failure                                                             | Many + human error                   | Many + human error                   | Some + human error                   | None + fire and EPO                  |
| Annual Site Caused IT Downtime (actual field data)                                   | 28.8 hours                           | 22.0 hours                           | 1.6 hours                            | 0.8 hours                            |
| Representative Site Availability                                                     | 99.67%                               | 99.75%                               | 99.98%                               | 99.99%                               |
| Typical Months to Implement                                                          | 3                                    | 3-6                                  | 15-20                                | 15-20                                |
| Year first deployed                                                                  | 1965                                 | 1970                                 | 1985                                 | 1995                                 |
| Construction Cost (+ 30%) <sup>1,2,3,4,5</sup><br>Raised Floor<br>Useable UPS Output | \$220/ft <sup>2</sup><br>\$10,000/kW | \$220/ft <sup>2</sup><br>\$11,000/kW | \$220/ft <sup>2</sup><br>\$20,000/kW | \$220/ft <sup>2</sup><br>\$22,000/kW |

<sup>1</sup> 100 W/ft<sup>2</sup> maximum for air-cooling over large areas, water or alternate cooling methods greater than 100 W/ft<sup>2</sup> (added cost excluded).

<sup>2</sup> Greater W/ft<sup>2</sup> densities require greater support space (100% at 100 W/ft<sup>2</sup> and up to 2 or more times at greater densities), higher raised floor, and, if required over large areas, medium voltage service entrance.

<sup>3</sup> Excludes land; unique architectural requirements, permits and other fees; interest; and abnormal civil costs. These can be several million dollars. Assumes minimum of 15,000 ft<sup>2</sup> of raised floor, architecturally plain, one-story building, with power backbone sized to achieve ultimate capacity with installation of additional components or systems. Make adjustments for NYC, Chicago, and other high cost areas.

<sup>4</sup> Costs are based on 2005 data. Future year costs should be adjusted using ENR indexes.

<sup>5</sup> See *Institute White Paper* entitled *Dollars per kW plus Dollars per Square Foot Is a Better Data Center Cost Model than Dollars per Square Foot Alone* for additional information on this cost model.

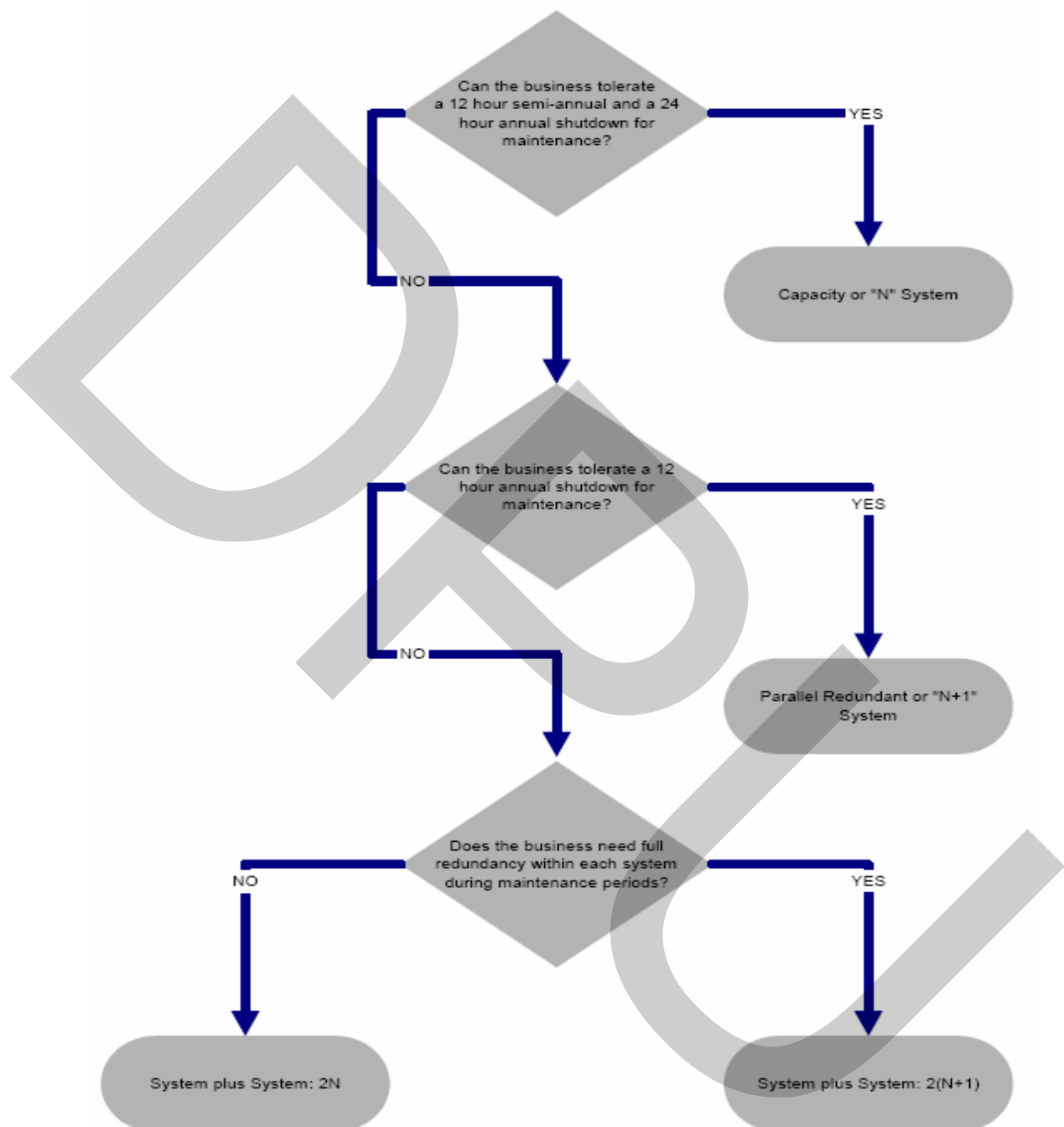
ที่มา : (White Paper) The Uptime Institute's Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance (2006 : 9)

White Paper # 75 American Power Conversion (APC) Comparing UPS System Design Configurations “Choosing the Right Configuration” (2005 : 18-19) มีข้อพิจารณาในการเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง UPS ดังนี้

1. ในการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ให้พิจารณาต้นทุนของการเลือกลงทุนในระบบนั้นๆ เทียบกับ ต้นทุนความสูญเสีย หากเกิดระบบหยุดทำงาน (Downtime loss cost) องค์กรใดมีต้นทุนความสูญเสียสูง ควรเลือกระบบที่ดีมีประสิทธิภาพสูง (Cost / Impact of downtime)
2. แต่ละองค์กรที่มีรูปแบบการดำเนินการทางธุรกิจ ที่แตกต่างกันย่อมมีความเสี่ยงในขบวนการการปฏิบัติงาน การผลิต และในการดำเนินธุรกิจแตกต่างกัน ความต้องการด้านการบริหารความเสี่ยงแตกต่างกัน (Risk Tolerance)
3. องค์กรใดที่สามารถปิดทำการบำรุงรักษาระบบได้ หรือ ปิดทำการระบบในช่วงนอกเวลาทำการได้ ย่อมเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ที่แตกต่างจาก องค์กรที่ต้องเปิดทำการตลอด 24 ชั่วโมง และต้องเลือกระบบที่สามารถเข้าถึงการบำรุงรักษาได้ ขณะที่ยังเปิดระบบให้บริการอยู่ได้เป็นปกติ (Availability Requirements)
4. เครื่องคอมพิวเตอร์สมัยใหม่ ทันสมัย ปัจจุบันต้องการ ระบบไฟฟ้าชนิด 2 แหล่งจ่าย เพื่อเป็นการสำรองกำลังไฟฟ้าซึ่งกันและกัน ดังนั้นในการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์ ต้องพิจารณาโหลดที่เป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยว่าเป็นชนิดต้องการ Single Source หรือ Dual Source เพื่อเหมาะสมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้าสำรอง (Types of loads)
5. ในการเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ต้นทุนค่าใช้จ่ายเป็นหัวข้อหนึ่งที่ต้องพิจารณาด้วย คือการที่จะเลือกระบบที่มีการขนานเครื่องแบบธรรมดา (N+1) และ ได้รับความน่าเชื่อถือของระบบ (Availability) ระดับหนึ่งเหมาะสมกับองค์กร ซึ่งค่าใช้จ่ายลงทุนจะไม่สูงมาก แต่หากองค์กรใดพิจารณาแล้วว่าต้องการความน่าเชื่อถือ (Availability ) สูงมากๆ เนื่องจากไม่ต้องการให้เกิด Downtime สูง ก็จะต้องพิจารณาเลือกลงทุนระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) อีกรูปแบบหนึ่ง 2(N+1) ซึ่งก็ต้องยอมรับในค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้นตามไปด้วย (Budget)

White Paper # 75 American Power Conversion (APC) สามารถสรุปการพิจารณาเลือกระบบ UPS สรุปอย่างเหมาะสมโดยใช้ Flow Chart ดังนี้

**Figure** – Design configuration selection decision tree



รูปที่ 2.19 แสดงข้อมูลในการพิจารณาเลือกระบบ UPS แบบต่างๆ

ที่มา : เอกสาร (White Paper # 75) American Power Conversion (APC) Comparing UPS System Design Configurations ( 2005 : 20 )

## An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs มนตรี วิบูลย์รัตน์ (2550)

บทความในการทำวิจัยระดับปริญญาเอก ของ มหาวิทยาลัยอีสต์แฮมป์ไชร์บริหารธุรกิจ

สารนิพนธ์ ฉบับนี้ได้อ้างอิงหัวข้อและหลักการต่าง ๆ นำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลอธิบายสรุปการเลือกกระบวนไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ในจุดที่เหมาะสมตามเงื่อนไขของแต่ละศูนย์คอมพิวเตอร์ โดยข้อมูลหลักเป็นการเปรียบเทียบรูปแบบของศูนย์คอมพิวเตอร์ในระดับ Tier III เปรียบเทียบกับ Tier IV โดยมีรูปแบบและหลักการพิจารณาต่างๆ ดังนี้

การสูญเสียทางธุรกิจ (Downtime loss cost) ไม่เพียงเฉพาะต้นทุนการกู้ระบบและข้อมูลเท่านั้นแต่ยังรวมถึงความสูญเสียชื่อเสียงและภาพลักษณ์องค์กร ค่าปรับและการเสียโอกาสทางธุรกิจ โดยความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าของศูนย์คอมพิวเตอร์ ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบอุปกรณ์ทางไฟฟ้าและเครื่องกลหลายๆ ส่วนประกอบกัน การเพิ่มประสิทธิภาพความน่าเชื่อถือให้กับศูนย์คอมพิวเตอร์ด้วยการต่อขนานเครื่อง (Redundancy) เป็นการเพิ่มความน่าเชื่อถือของระบบจากเครื่องเดี่ยวๆ ก็จริงแต่ก็ต้องลงทุนเพิ่มเป็นสองเท่าด้วยเช่นกัน จึงเป็นที่ถกเถียงกันระหว่างผู้ลงทุน และ ฝ่ายจัดการด้านไอทีถึงจุดที่เหมาะสมด้านความน่าเชื่อถือของระบบที่ต้องการกับเม็ดเงินลงทุนที่ต้องดำเนินการ โดยใช้หลักการที่ว่า การดำเนินการทางธุรกิจที่แตกต่างกันย่อมพิจารณาความเสี่ยงและความต้องการความน่าเชื่อถือของระบบที่แตกต่างกัน

จากบทความได้ใช้ข้อมูลความพร้อมและความน่าเชื่อถือ Reliability Block Diagram (RBD) จาก IEEE 493 Gold book (Roczen 2004) มาทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างศูนย์คอมพิวเตอร์ มาตรฐาน Tier III กับ Tier IV การเพิ่มความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบด้วยการปรับปรุงติดตั้งเพิ่มเติมอุปกรณ์และเทคโนโลยี สามารถเพิ่ม Availability ได้ซึ่งความพร้อมในการใช้งานของระบบได้อย่างต่อเนื่อง Availability คือเป้าหมายในการปรับปรุง ด้วยการออกแบบให้มีการขนานเครื่อง Redundancy (N+1) ในมาตรฐาน Tier III และ 2(N+1) ในมาตรฐาน Tier IV

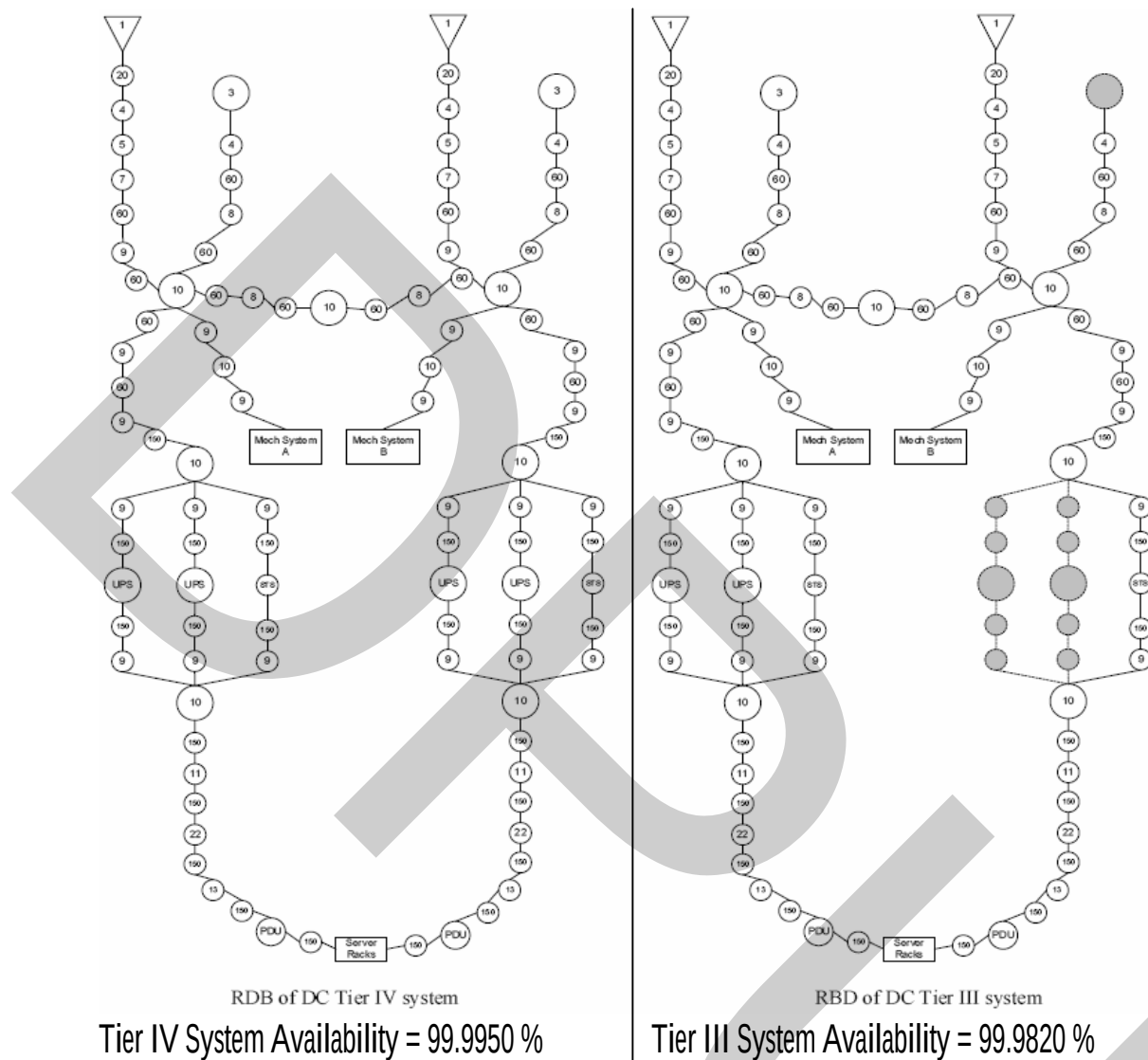
ความสูญเสียทางธุรกิจ (Downtime loss cost) ขึ้นอยู่กับความถี่และระยะเวลาของการเกิด Downtime ตัวอย่างการเกิดการหยุดทำงาน Downtime 1 ชั่วโมง ตลาดหุ้นอาจสูญเสียถึง 6.45 M\$ การสูญเสียการทำธุรกรรม Online Transaction 2.6 M\$ (มนตรี วิบูลย์รัตน์, 2550 : 1)

ตารางที่ 2.4 ค่า Availability MTTR MTBF ของรายการอุปกรณ์ต่างๆ ที่ติดตั้งในศูนย์คอมพิวเตอร์

Equipment reliability data from IEEE 493 Gold Book Standard Network (Roczen et. al., 2004)

| Ref. # | Item Description                                                                        | PREP Item # | Inherent Availability | MTTR (Hours) | Failure Rate Failure/Year | Calculated Availability | MTBF          |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-----------------------|--------------|---------------------------|-------------------------|---------------|
| 1      | Single Circuit Utility Supply, 1.78 failures/unit years, A = 0.999705, Gold Book p. 107 | NA          | 0.999705              | 1.32         | 1.956                     |                         | 4,481.60      |
| 2      | Cable Aerial, ≤ 15kV, per mile                                                          | 32          | 0.99999022            | 1.82         | 0.04717                   |                         | 185,838.46    |
| 20     | Cable Aerial, ≤ 15kV - 300 feet                                                         | 32          |                       | 1.82         | 0.00268                   | 0.9999994               | 3,270,895.52  |
| 3      | Diesel Engine Generator, Packaged, Stand-by, 1500kW                                     | 98          | 0.99974231            | 18.28        | 0.1235                    |                         | 70,979.76     |
| 4      | Manual Disconnect Switch                                                                | 187         | 0.9999998             | 1            | 0.00174                   |                         | 5,037,931.03  |
| 5      | Fuse, 15kV                                                                              | 117         | 0.99995363            | 4            | 0.10154                   |                         | 86,330.51     |
| 6      | Cable Below Ground in conduit, ≤ 600V, per 1000 ft                                      | 47          | 0.99999743            | 11.22        | 0.00201                   |                         | 4,361,194.03  |
| 60     | Cable Below Ground in conduit, ≤ 600V - 300 feet                                        |             |                       | 11.22        | 0.000603                  | 0.9999992               | 14,537,313.43 |
| 7      | Transformer, Liquid, Non Forced Air, 3000kVA                                            | 208         | 0.99999937            | 5            | 0.00111                   |                         | 7,897,297.30  |
| 8      | Ckt. Breaker, 600V, Drawout, Normally Open, > 600 Amp                                   | 68          | 0.99999874            | 2            | 0.00553                   |                         | 1,585,171.79  |
| 80     | Ckt. Breaker, 600V, Drawout, Normally Open, > 600 Amp                                   | 68          |                       | 2            | 0.002765                  | 0.9999994               | 3,170,343.58  |
| 9      | Ckt. Breaker, 600V, Drawout, Normally Closed, > 600 Amp                                 | 69          | 0.99999989            | 0.5          | 0.00185                   |                         | 4,738,378.38  |
| 90     | Ckt. Breaker, 600V, Drawout, Normally Closed, > 600 Amp                                 | 69          |                       | 0.5          | 0.000925                  | 0.9999999               | 9,476,756.76  |
| 10     | Switchgear, Bare Bus, 600V                                                              | 191         | 0.9999921             | 7.29         | 0.00949                   |                         | 923,709.17    |
| 11     | Ckt. Breaker, 600V Drawout, Normally Closed, < 600 Amp                                  | 67          | 0.99999986            | 6            | 0.00021                   |                         | 41,742,857.14 |
| 110    | Ckt. Breaker, 600V Drawout, Normally Closed, < 600 Amp                                  | 67          |                       | 6            | 0.000105                  | 0.9999999               | 83,485,714.29 |
| 12     | Ckt. Breaker, 600V, Normally Closed, > 600 Amp, Gold Book p. 40                         | 63          | 0.99998948            | 9.6          | 0.0096                    |                         | 913,125.00    |
| 120    | Ckt. Breaker, 600V, Normally Closed, > 600 Amp, Gold Book p. 40                         | 63          |                       | 9.6          | 0.0048                    | 0.9999947               | 1,826,250.00  |
| 13     | Ckt. Breaker, 3 Phase Fixed, Normally Closed, ≤ 600 Amp                                 | 61          | 0.99999656            | 5.8          | 0.0052                    |                         | 1,685,769.23  |
| 130    | Ckt. Breaker, 3 Phase Fixed, Normally Closed, ≤ 600 Amp, Gold Book p. 40                | 61          |                       | 5.8          | 0.0026                    | 0.9999983               | 3,371,538.46  |
| 14     | Ckt. Breaker, 3 Phase Fixed, Normally Open, > 600 Amp                                   | 62          | 0.99998532            | 37.5         | 0.00343                   |                         | 2,555,685.13  |
| 140    | Ckt. Breaker, 3 Phase Fixed, Normally Open, > 600 Amp                                   | 62          |                       | 37.5         | 0.001715                  | 0.9999927               | 5,111,370.26  |
| 15     | Cable, Above Ground, No Conduit, ≤ 600V, per 1000 ft.                                   | 20          | 0.99999997            | 2.5          | 0.00012                   |                         | 73,050,000.00 |
| 150    | Cable, Above Ground, No Conduit, ≤ 600V, per 1000 ft.                                   | 20          |                       | 2.5          | 0.000096                  | 0.99999997              | 91,312,500.00 |
| 16     | Cable, Above Ground, Trays, ≤ 600V, per 1000 ft., Gold Book p.105                       |             | 0.99999831            | 10.5         | 0.00141                   |                         | 6,217,021.28  |
|        | Cable, Above Ground, Trays, < 600V, per 1000 ft., Gold Book p.105                       |             |                       | 10.5         | 0.00282                   | 0.9999966               | 3,108,510.64  |
| 22     | Switchgear, Insulated Bus, ≤ 600V                                                       |             | 0.99999953            | 2.4          | 0.0017                    | 0.9999995               | 5,156,470.59  |
| 26     | Bus Duct, Gold Book p. 206, per Circuit foot                                            |             | 0.99981596            | 12.9         | 0.000125                  | 0.999816                | 70,080.18     |

ที่มา : An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs มนตรี วิบูลย์รัตน์ (2550 : 2)

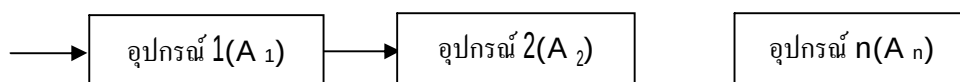


รูปที่ 2.20 RBD เปรียบเทียบระหว่างมาตรฐานศูนย์คอมพิวเตอร์ Tier IV กับ Tier III

ที่มา : An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs มนตรี วิบุลย์รัตน์ (2550 : 5)

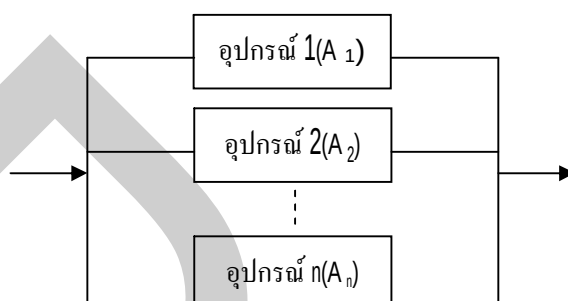
เอกสาร Introduction to Maintenance & Reliability ดร.สมภพ ตลับแก้ว (2549) ความพร้อมในการใช้งานและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์ในรูปแบบการต่อวงจรต่างๆ มีข้อพิจารณาดังนี้

อุปกรณ์ที่ต่อกันแบบอนุกรม (Series) มีความพร้อมและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์โดยรวมลดลง



$$\text{System Availability} = A_1 * A_2 \dots A_n$$

อุปกรณ์ที่ต่อกันแบบขนาน (Parallel) มีความพร้อมและความน่าเชื่อถือของอุปกรณ์โดยรวมเพิ่มขึ้น



$$\text{System Availability} = 1 - [(1 - A_1)(1 - A_2) \dots (1 - A_n)]$$

ข้อแตกต่างคุณลักษณะการลงทุน และ Availability ของศูนย์คอมพิวเตอร์ Tier III – Tier IV ที่การพิจารณาพื้นที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ 25,000 ตารางฟุต (2,322 ตารางเมตร) มูลค่าการลงทุนแตกต่างกันถึง 5 ล้านดอลลาร์สหรัฐ หรือ 175 ล้านบาท (1 \$ = 35 บาท) หรือ

1. มูลค่าการลงทุน Tier III – IV แตกต่างกัน 75 ล้านบาท ที่การพิจารณาพื้นที่ ศูนย์คอมพิวเตอร์ 1,000 ตารางเมตร
2. Downtime แตกต่างกัน / ปี  $1.6 - 0.4 = 1.2$  ชั่วโมง
3. Availability แตกต่างกัน  $99.9950\% - 99.9820\% = 0.0130\%$  ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ข้อแตกต่างคุณลักษณะการลงทุน และ Availability ของศูนย์คอมพิวเตอร์

Tier III and IV comparison (Turner and Brill, 2007)

| Details                                    | Tier III          | Tier IV           | Difference       |
|--------------------------------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| Number of delivery paths                   | N+1               | 2(N+1) or S+S     | 100%             |
| Support space to raised floor ratio        | 80-90%            | 100%              | 10-20%           |
| Initial watts/sq.ft*                       | 40-60             | 50-80             | 10-20%           |
| Ultimate watts/sq.ft*                      | 100-150           | 150+              | >50%             |
| Construction US\$/sq.ft*                   | \$900             | \$1,100+          | >\$200           |
| <b>Total cost construction \$US*</b>       | <b>22,500,000</b> | <b>27,500,000</b> | <b>5,000,000</b> |
| Annual DC downtime                         | 1.6 hrs           | 0.4 hrs           | 1.2 hrs          |
| Site availability                          | 99.9820%          | 99.9950%          | 0.0130%          |
| <b>*Simulated DC differs @25,000 sq.ft</b> |                   | <b>5,000,000</b>  |                  |
| <b>Downtime gap Tier III&amp;IV</b>        |                   | <b>1.2 hrs</b>    |                  |

ที่มา : An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs มนตรี วิบูลย์รัตน์ (2550 : 3)

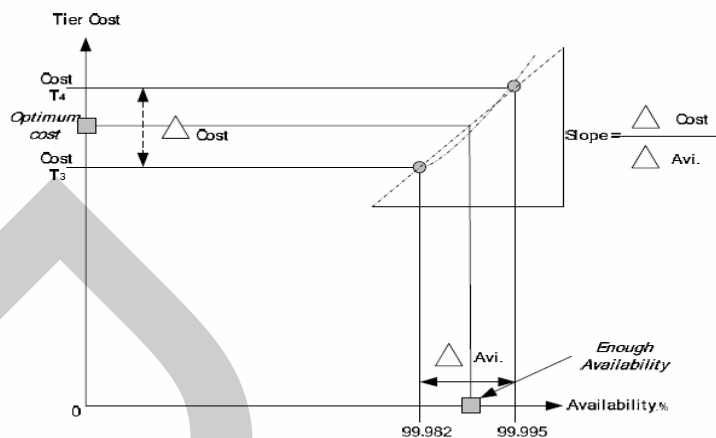
ความสูญเสียทางธุรกิจ เป็นผลมาจากปัจจัยต่างๆประกอบกัน ได้แก่ การเลือกลงทุนในแต่ละระดับของศูนย์คอมพิวเตอร์ Tier I-IV ซึ่งมีระดับความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบ Availability ที่ต้องการแตกต่างกัน โดยใช้หลักของความคุ้มค่า (Return of Investment) ในการพิจารณาดังนี้

$$ROI = \frac{Benifits(Downtimes Costs) - Investment Costs}{Investment Costs}$$

การพิจารณาด้านทุนต่างๆ Downtime Cost , Investment Cost ชื่อเสียง Reputation (R) ภาพลักษณ์องค์กร Goodwill (G) เป็นองค์ประกอบสำคัญที่นำมาคำนวณเป็นต้นทุนความสูญเสียด้วยซึ่งเป็นไปตาม สมการที่ (1) ดังนี้

$$R + G + (\omega.t.L) \geq C \text{ สมการที่ (1)}$$

- R : มูลค่าความสูญเสียด้านชื่อเสียง (Business losses in term of reputation and business accountability (Subjective)
- G : มูลค่าความสูญเสียด้านภาพลักษณ์องค์กร ( Lost reliable relation with partners and suppliers (Goodwill-Subjective)
- $\omega$  : ความถี่ในการเกิดเหตุ Downtime (Frequency of interruption occurrence per year)
- t : ระยะเวลาในการเกิด Downtime (Duration of interruption at least an hour per occurrence; integer number)
- L : มูลค่าความสูญเสียเฉลี่ยต่อชั่วโมงในแต่ละประเภทธุรกิจ Cost of business lost per hour of occurrence (Estimated average costs of an hour of downtime)
- $\Delta C$  : มูลค่าการลงทุนที่แตกต่างกัน Cost trade off between Tier III and Tier IV (จากตาราง =5 M\$ หรือ เกือบ 75 ล้านบาท ที่การพิจารณาพื้นที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ 1,000 ตารางเมตร)
- $\Delta \text{Avi}$  : ส่วนต่างความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบที่ได้ดีขึ้น (Increasing site availability from Tier III to Tier IV )

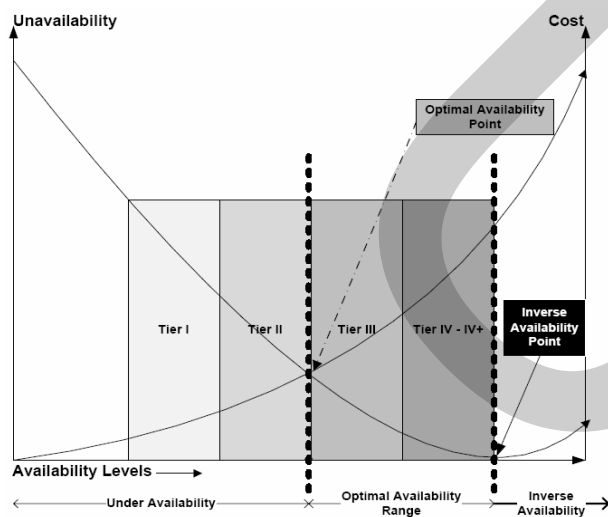


Optimum availability and investment trade offs

รูปที่ 2.21 Optimum availability and investment trade offs

ที่มา : An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs มนตรี วิบูลย์รัตน์ (2550 : 3)

เป็นการพิจารณา  $\Delta \text{Cost} / \Delta \text{Avi}$  คืออัตราส่วนการลงทุนที่เพิ่มขึ้น เหมาะสมกับ Availability ที่ทำได้เพิ่มขึ้นหรือไม่ ถ้าอัตราส่วนชันมากแสดงว่าลงทุนสูงมากแต่ได้ Availability เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยซึ่งอาจไม่คุ้มค่าการเลือกลงทุน โดยต้องพิจารณาความคุ้มค่า (ROI) ประกอบด้วย



Data Center Design Concerns-Availability v.s Cost

รูปที่ 2.22 Data Center Design Concerns-Availability v.s Cost

ที่มา : An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs มนตรี วิบูลย์รัตน์ (2550 : 4)

เป็นการพิจารณา **Availability** ที่ศูนย์คอมพิวเตอร์แต่ละศูนย์ที่ต้องการจริงๆ เทียบกับการลงทุนในแต่ละช่วงมาตรฐาน Tier I – IV ซึ่งการกำหนดมาตรฐาน Tier มาจากค่ามาตรฐาน **Availability** ที่ UPS ทำได้และทำการพล็อตกราฟ **Unavailability** (แกน Y) ซึ่งเป็นส่วนผกผันกับ **Availability** (บนแกน X) เพื่อหาจุดตัดที่เหมาะสมคือจุดที่ **Availability** เหมาะสมและพิจารณาประกอบร่วมกับ **Investment Cost** และ **ROI** ว่าเหมาะสมด้วยหรือไม่ ด้านซ้ายมือของจุดตัด คือ โซนที่ **Availability** ไม่เหมาะสม (**Under Availability**) และด้านขวามือของจุดตัด คือ โซนที่ **Availability** เหมาะสม (**Optimal Availability**) จุดที่เกิด **Inverse Availability** คือจุดที่การปรับปรุงระบบด้วยการต่อขนานเครื่องเข้าไปกลับไม่ไปเพิ่ม **Availability** ของระบบ แต่กลับลดค่า **Availability** ลง เนื่องจากการต่อขนานเครื่องมากขึ้น ทำให้เกิดจุดที่เครื่องต้องทำการสื่อสารกันจำนวนมาก (ชิงโครไนซ์) ทำให้ภาพรวม **Availability** ลดลง

การพิจารณารูปแบบต้นทุนการลงทุนและทุนสูญเสียต่างๆ (**Data Center Cost Model**) จากบทความ **An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs** มนตรี วิบูลย์รัตน์ (2550) สรุปได้ดังนี้

1. การลงทุนของศูนย์คอมพิวเตอร์ ประกอบไปด้วย 1.การก่อสร้างอาคารและห้องคอมพิวเตอร์ต่างๆ 2.การก่อสร้างและติดตั้งระบบสาธารณูปโภคเพื่อรองรับสำหรับห้องคอมพิวเตอร์ 3. ค่าใช้จ่ายดำเนินการ ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษา และค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค
2.  $\Delta Cost$  มูลค่าการลงทุนที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับ คุณลักษณะและรูปแบบของอุปกรณ์ที่ประกอบกันเป็นระบบสาธารณูปโภคสำหรับให้บริการ รูปแบบการต่อแบบอนุกรมและขนาน (**Parallel** หรือ **Redundancy**) ก็เป็นรูปแบบหนึ่งในการพิจารณา
3. มูลค่าความสูญเสีย ต่อชั่วโมง ขึ้นอยู่กับประเภทและการดำเนินการทางธุรกิจที่แตกต่างกันองค์กรขนาดใหญ่มีชื่อเสียงและภาพลักษณ์ที่ดี หากเกิด **Downtime** ย่อมมีมูลค่าความสูญเสียสูงมากกว่าองค์กรขนาดเล็ก
4. จุดในการพิจารณาความเหมาะสมขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ประเภทและความต้องการของธุรกิจ ต้นทุนการลงทุนที่ต้องดำเนินการ เป็นอัตราส่วนเทียบกับ ความน่าเชื่อถือที่ต้องการของศูนย์คอมพิวเตอร์นั้น  $\Delta Cost \Delta Avi$

ถ้าพิจารณาแล้ว การเกิดต้นทุนความสูญเสีย (**Downtime loss cost**) มีค่าสูงมาก กลุ่มค่ากับการลงทุน (**Investment cost**) ที่ไม่สูงมากและได้ความน่าเชื่อถือเพิ่มสูงขึ้น  $\Delta Avi$  ในระดับที่เหมาะสมกับศูนย์คอมพิวเตอร์ ถือว่าโครงการนั้นๆเหมาะสมในการลงทุน

ถ้าพิจารณาแล้ว การเกิดต้นทุนความสูญเสีย (Downtime loss cost) มีค่าไม่สูงมากแต่การลงทุน (Investment cost) กลับสูงมากกว่า โดยที่ได้ความน่าเชื่อถือเพิ่มสูงขึ้น  $\Delta \text{Avi}$  เล็กน้อยและไม่คุ้มค่ากับเม็ดเงินการลงทุน ถือว่าโครงการนั้นๆ ไม่เหมาะสมในการลงทุน

ศูนย์คอมพิวเตอร์ต่างๆ ส่วนมากจะขาดประสิทธิภาพเกี่ยวกับการเกิดอุบัติเหตุ (Downtime) ที่ทำให้เกิดต้นทุนความสูญเสีย (Downtime loss cost) จึงเป็นการยากที่จะทำการประมาณการต้นทุนความสูญเสียเทียบต่อชั่วโมง การถ่ายทอดประสิทธิภาพและการเรียนรู้อ้างอิงเป็นสิ่งจำเป็น IEEE 493 Gold book (Roczen 2004) ข้อมูล Reliability Block Diagram (RBD) Simulation สามารถนำไปใช้เป็นตัวอย่างจำลองในการทดสอบเปรียบเทียบ (Benchmark) ระดับความพร้อมและความน่าเชื่อถือ (Availability) ที่เหมาะสม เทียบกับต้นทุนต่างๆ คือการลงทุนในโครงการ (Investment Cost) เทียบกับต้นทุนมูลค่าความสูญเสีย (Downtime loss cost) และพิจารณาความคุ้มค่า (Return of Investment) ประกอบด้วยว่ามีความเหมาะสมเพียงใด

ซึ่งสามารถนำข้อมูลเปรียบเทียบที่ได้นำไปพิจารณาการเลือกของระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ในแต่ละอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีศึกษา

การศึกษา เรื่อง การเลือกระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์ เป็นการศึกษาประยุกต์ โดยใช้แบบสำรวจสอบถาม (Questionnaire) เพื่อศึกษาแนวคิด ทฤษฎี เทคโนโลยี และการให้ความสำคัญประเด็นต่างๆ โดยพิจารณาคุณสมบัติของระบบในด้าน คุณภาพของระบบไฟฟ้า การลดความเสี่ยงระหว่างซ่อมบำรุง คุณภาพความน่าเชื่อถือและ เสถียรภาพความมั่นคงของระบบ ความพร้อมและโอกาสในการใช้งาน การขยายฟังก์ชันของระบบ และงบประมาณค่าใช้จ่ายการลงทุนในระบบนั้น ๆ จากกลุ่มเป้าหมาย คือ บริษัทผู้ผลิตและ ให้บริการ (Vendor) ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ภายในประเทศและบริษัทผู้ให้บริการ (User) ในการเลือกติดตั้งระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ในรูปแบบต่างๆ การศึกษาจึงได้ กำหนดระเบียบวิธีศึกษา ดังนี้

#### 3.1 ผู้ผลิตและให้บริการเครื่องสำรองไฟฟ้า (ยูพีเอส)

บริษัทผู้ผลิตและให้บริการ (Vendor) เครื่องและระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ภายในประเทศไทย ได้แก่

1. Site Preparation Management Co., Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- AEG
2. Unitrio Engineering ., Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- Powerware
3. Schneider Group Electric ., Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- MGE

4. Socomec UPS Thailand Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- Socomec
1. Victron UPS [Thailand] Co., Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- Victron GE
6. Emerson Network Power [Thailand] Co., Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- Liebert
7. Chloride Power Protection Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- Chloride
8. Watford Control [Thailand] Co., Ltd.  
ผู้จัดจำหน่ายและให้บริการ UPS ยี่ห้อ  
- Powerware

### 3.2 หน่วยงานที่ให้บริการระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส)

บริษัทผู้ให้บริการ (User) ในการเลือกติดตั้งระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) และมีข้อพิจารณาให้มีความสำคัญคุณสมบัติ ในรูปแบบต่างๆของระบบ UPS System ได้แก่ บริษัทตัวอย่างตามข้อเสนอแนะของบริษัทผู้ให้บริการ จำนวน 16 หน่วยงาน

### 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การเก็บรวบรวมข้อมูลจะใช้แบบสำรวจ (Questionnaire) เป็นการตอบแบบสอบถาม และแสดงข้อคิดเห็นด้วยการให้คะแนน โดยแบบสอบถามแบ่งเป็น 2 ชุด

3.3.1 แบบสอบถามสำหรับบริษัทผู้ผลิตและให้บริการ (Vendor) เครื่องและระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ภายในประเทศไทย

3.3.2 แบบสอบถามสำหรับบริษัท ผู้ให้บริการ (User) โดยตอบข้อพิจารณาให้มีความสำคัญข้อคิดเห็นในการเลือกติดตั้งระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ในรูปแบบต่างๆ

### 3.4 วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำแบบสอบถาม

3.4.1 องค์การที่พิจารณาในส่วนมาตรฐานด้านศูนย์คอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับรูปแบบการต่อวงจร UPS System Configuration ด้วยว่ามีข้อพิจารณาต่างๆเช่นไร และแต่ละรูปแบบวงจร UPS เข้าชั้นมาตรฐานใด โดยกำหนดเป็นชั้นมาตรฐาน Tier I – IV (Tier Classification) เช่น องค์การสถาบัน UPTIME Institute's , BITCOM Institute's

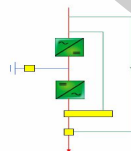
3.4.2 จากข้อมูลการสอบถามไปยังบริษัทผู้ผลิตและให้บริการ (Vendor) เครื่องและระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ภายในประเทศไทย (Site Reference) ถึงรูปแบบการต่อวงจรในรูปแบบต่างๆ

สมมติฐานของปัจจัยหลักและข้อดี-ข้อเสีย ในการทำการศึกษาเพื่อเลือกรูปแบบการต่อวงจรระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์ ในรูปแบบต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม โดย ศูนย์คอมพิวเตอร์ มีข้อปัจจัยหลักในการพิจารณา การเปรียบเทียบรูปแบบการต่อวงจรต่างๆ ดังนี้

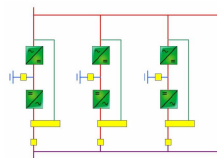
1. คุณภาพระบบไฟฟ้า (Power Quality)
2. การซ่อมบำรุง เสถียรภาพและความมั่นคงของระบบ ความพร้อมในการใช้งาน (Maintenance, Reliability & Availability)
3. ความสามารถขยายพิกัดของระบบและการลงทุน (Extension & Investment)
4. ต้นทุนความสูญเสียด้านต่างๆ ในการเกิดเหตุหยุดทำงานของระบบ (Downtime Loss Cost) ทั้งในส่วนที่เป็นรูปธรรม (Tangible Loss Cost) และในส่วนที่เป็นนามธรรม (Intangible Loss Cost)

ขอบเขตการศึกษา โดยพิจารณาจาก 5 รูปแบบการต่อวงจรระบบไฟฟ้าสำรอง UPS ดังนี้

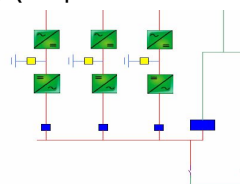
- A. เครื่องเดี่ยวๆ เพียง 1 เครื่อง Single UPS (Modular)  
(เลือก UPS 600 KVA 1 unit as N) (Output = 600 KVA)



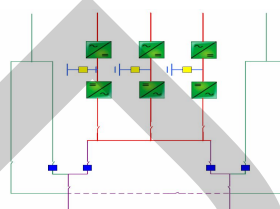
- B. หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายในเครื่อง Active redundancy with modular UPS units (internal static bypass) (เลือก UPS 300 KVA x 3 units duty 2 + standby 1 as N+1) (Output = 600 KVA)



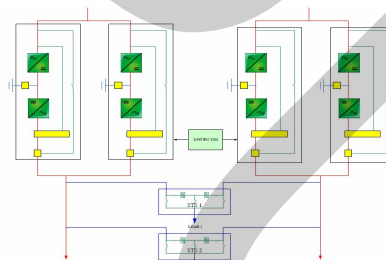
C. หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายนอกเครื่อง (ยูพีเอส) 1 ชุด  
Active redundancy with centralized static-switch cubicle (single external static bypass) (เลือกUPS 300 KVA x 3 units duty 2+ standby 1 as N+1) (Output = 600 KVA)



D. หลายเครื่องต่อขนานโดยมีอุปกรณ์บายพาสอยู่ภายนอกเครื่อง (ยูพีเอส) 2 ชุด  
Active redundancy with double static-switch cubicle (multiple external static bypass) (เลือกUPS 300 KVA x 3 units duty 2+ standby 1 as N+1) (Output = 600 KVA)



E. แบ่งเป็น 2 กลุ่มเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้า Redundant distribution with static transfer switch (2N) (เลือกUPS 300 KVA x 4 units Source A 2 units+ Source B 2 units as 2N) (Output = 600 KVA)



### 3.5 ความคาดหวังผลรับของข้อมูล จากแบบสอบถาม

ความมุ่งหวังจากแบบสอบถาม ฉบับ ผู้ใช้บริการ (User) ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) โดยเมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลได้ทั้งหมดแล้วคือ

1. การทราบข้อมูลว่าองค์กรประเภทต่างๆ พิจารณาด้านการลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาถึง งบลงทุนเพียงใด
2. การทราบข้อมูลว่าองค์กรประเภทต่างๆ พิจารณาการลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาเปรียบเทียบถึง การเกิด Downtime loss cost เพียงใด
3. การทราบข้อมูลว่าองค์กรประเภทต่างๆ พิจารณาการลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาถึง ความสำคัญด้านความน่าเชื่อถือและความพร้อมของระบบเพียงใด

4. การทราบข้อมูลว่าองค์กรประเภทต่างๆ พิจารณาด้านการลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาถึง ความเหมาะสมในการซ่อมบำรุงและมีความเสี่ยงมากน้อย เพียงใด

5. การทราบข้อมูลว่าองค์กรประเภทต่างๆ พิจารณาด้านการลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาถึงความสำคัญและภาพลักษณ์ขององค์กรเพียงใด

ความมุ่งหวังจากแบบสอบถาม ฉบับนี้ ผู้ให้บริการระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) โดยเมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลได้ทั้งหมดแล้วคือ

1. การทราบข้อมูล การลงทุนของรูปแบบการต่อวงจร UPS ระบบต่างๆ
2. การทราบข้อมูล ของความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของระบบ ของรูปแบบการต่อวงจร UPS ระบบต่างๆ
3. การทราบข้อมูล ของความเหมาะสมของการซ่อมบำรุงและมีความเสี่ยงมาก-น้อย ระหว่างทำการซ่อมบำรุง ของรูปแบบการต่อวงจร UPS ระบบต่างๆ
4. การทราบข้อมูล ของความเหมาะสมในการที่จะต้องเตรียมการให้ระบบไฟฟ้าสำรอง(ยูพีเอส) สามารถขยายพิกัดได้ในอนาคต
5. การทราบข้อมูลถึง มีความเสี่ยงในโอกาสการเกิด Downtime ของระบบ มาก-น้อย เพียงใด ของรูปแบบการต่อวงจร UPS ระบบต่างๆ

## บทที่ 4

### ผลการศึกษาและแนวทางการประยุกต์ใช้

การศึกษารั้งนี้ ผู้ศึกษามุ่งหวังที่จะศึกษาข้อมูลและมุมมองที่ได้จากองค์กรที่เป็นผู้ผลิตและให้บริการ (Vendor) และองค์กรที่เป็นผู้ให้บริการ (User) ที่มีข้อพิจารณาเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ทั้งในการเลือกระบบ การใช้งานระบบ การดูแลและซ่อมบำรุงระบบ รวมทั้งข้อพิจารณาในการเลือกลงทุนในระบบ เป็นต้น ซึ่งข้อมูลและผลการศึกษาที่ได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการพิจารณาเปรียบเทียบประเด็นต่างๆ ประกอบการตัดสินใจเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) สำหรับอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

#### 4.1 ผลการสอบถามผู้ให้บริการ (User) ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส)

ได้ดำเนินการให้ผู้ผลิตและบริการ (Vendor) ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) จัดส่งแบบสอบถาม ฉบับผู้ให้บริการ (User) ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ให้กับหน่วยงานบริษัทต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่องกับระบบสำรองไฟฟ้า (ยูพีเอส) ดำเนินการตอบแบบสอบถามทั้งหมด 16 ชุด (บริษัท) โดยเก็บรวบรวมได้ข้อมูลดังนี้

##### 4.1.1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ การศึกษาระดับปริญญาตรี รองลงไปที่การศึกษาระดับปริญญาโท โดยมีตำแหน่งส่วนใหญ่เป็นผู้จัดการและมีความรู้ทางเทคนิควิศวกรรม ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในสายงานควบคุมและจัดการทางวิศวกรรมอาคารและระบบสาธารณูปโภคของหน่วยงานนั้นๆ

ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีประสบการณ์การทำงานมากกว่า 10 ปี ขณะที่ส่วนใหญ่มีประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) น้อยมากประมาณ 3-7 ปี แสดงว่า ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ยังเป็นเทคโนโลยี ที่ยังค่อนข้างสมัยใหม่อยู่ ความเข้าใจหรือเทคนิควิศวกรรมต่างๆ ยังคงต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมและอาศัยการแลกเปลี่ยนถ่ายทอดประสบการณ์ (Best Practice) เพื่อให้เกิดความเข้าใจในความเหมาะสมในด้านต่างๆ เนื่องจากหน่วยงานส่วนใหญ่เป็นผู้บริโภค (User) และต้องเลือกใช้งานในระบบ เพื่อให้เกิดประโยชน์และมีประสิทธิภาพเหมาะสมที่สุด สำหรับรายละเอียดผลการสอบถาม มีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 สถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

| รายการ                                     | จำนวน | ร้อยละ |
|--------------------------------------------|-------|--------|
| <b>ระดับการศึกษา</b>                       |       |        |
| ปริญญาตรี                                  | 12    | 75     |
| ปริญญาโท                                   | 3     | 19     |
| ต่ำกว่าปริญญาตรี                           | 1     | 6      |
| <b>ตำแหน่ง</b>                             |       |        |
| ผู้จัดการ                                  | 8     | 50     |
| วิศวกร/ช่างเทคนิค                          | 8     | 50     |
| <b>แผนก/ฝ่าย</b>                           |       |        |
| Operation Department                       | 6     | 38     |
| Marketing Department                       | 3     | 19     |
| Building & Facility Department             | 6     | 38     |
| General Admin Department                   | 1     | 5      |
| <b>ประสบการณ์การทำงาน</b>                  |       |        |
| น้อยกว่า 5 ปี                              | 4     | 25     |
| ตั้งแต่ 5-10 ปี                            | 4     | 25     |
| ตั้งแต่ 11-15 ปี                           | 6     | 38     |
| ตั้งแต่ 16-20 ปี                           | 2     | 12     |
| <b>ประสบการณ์การทำงานด้านระบบไฟฟ้า UPS</b> |       |        |
| น้อยกว่า 3 ปี                              | 5     | 32     |
| ตั้งแต่ 3-7 ปี                             | 6     | 38     |
| ตั้งแต่ 8-12 ปี                            | 4     | 25     |
| ตั้งแต่ 13-15 ปี                           | 1     | 5      |

#### 4.1.2 สถานภาพของหน่วยงาน / บริษัท / องค์กร

หน่วยงานของผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่อยู่ในภาคการเงิน/การธนาคาร และภาคการให้บริการ หน่วยงานส่วนใหญ่ มีการติดตั้งระบบหม้อแปลงไฟฟ้าและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองมีพิกัดกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ ประมาณ 1,000 เควีเอ ขณะที่ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) มีพิกัดกำลังไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 400 เควีเอ

และพบว่าหน่วยงานส่วนใหญ่ ให้ความสำคัญโอกาสและความพร้อมในการใช้งานเครื่อง UPS ได้อย่างต่อเนื่อง (Availability) สูงด้วยการเลือกระบบที่มีการต่อขนานเครื่องและมีเครื่องสำรอง (Redundancy N+1) ในระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) รายละเอียดผลการสอบถามมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ประเภทกิจการของหน่วยงาน

| ประเภทกิจการของหน่วยงาน | จำนวน | ร้อยละ |
|-------------------------|-------|--------|
| การเงิน / การธนาคาร     | 6     | 38     |
| การให้บริการ            | 6     | 38     |
| การผลิต                 | 3     | 19     |
| ราชการ / รัฐวิสาหกิจ    | 1     | 5      |

ตารางที่ 4.3 พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer)

| พิกัดของหม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) | จำนวน | ร้อยละ |
|-------------------------------------|-------|--------|
| อยู่ระหว่าง 401 – 1,000 KVA         | 5     | 32     |
| อยู่ระหว่าง 100 – 400 KVA           | 4     | 25     |
| น้อยกว่า 100 KVA                    | 5     | 31     |
| มากกว่า 1,000 KVA                   | 1     | 6      |
| อื่น ๆ                              | 1     | 6      |

ตารางที่ 4.4 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Generator)

| พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง<br>(Generator) | จำนวน | ร้อยละ |
|------------------------------------------------|-------|--------|
| อยู่ระหว่าง 401 – 1,000 KVA                    | 5     | 31     |
| น้อยกว่า 100 KVA                               | 5     | 31     |
| มากกว่า 1,000 KVA                              | 3     | 19     |
| อื่น ๆ                                         | 3     | 19     |

ตารางที่ 4.5 พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (UPS)

| พิกัดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (UPS) | จำนวน | ร้อยละ |
|---------------------------------------|-------|--------|
| อยู่ระหว่าง 100-400 KVA               | 7     | 44     |
| น้อยกว่า 100 KVA                      | 6     | 38     |
| มากกว่า 1,000 KVA                     | 2     | 12     |
| อื่น ๆ                                | 1     | 6      |

ตารางที่ 4.6 รูปแบบการต่อวงจรของระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (UPS)

| รูปแบบการต่อวงจรไฟฟ้าสำรอง (UPS)                   | จำนวน | ร้อยละ |
|----------------------------------------------------|-------|--------|
| ต่อวงจรแบบขนานและมีเครื่องสำรองในระบบ (N+1)        | 7     | 44     |
| ต่อวงจรแบบขนานไม่มีเครื่องสำรองในระบบ (N)          | 4     | 25     |
| เครื่องเดี่ยวๆไม่มีเครื่องสำรองในระบบ (Single UPS) | 4     | 25     |
| อื่น ๆ                                             | 1     | 6      |

### 4.1.3 ด้านการจัดการ ควบคุมดูแลและซ่อมบำรุงระบบ UPS

ตารางที่ 4.7 การจัดการ ควบคุมดูแลและซ่อมบำรุงระบบ UPS

(n = 16)

| คุณลักษณะ                                                                                                                                 | ระดับการให้ความสำคัญ |          |              |           |                 | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{X}$ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|--------------|-----------|-----------------|------------------------|
|                                                                                                                                           | มากที่สุด<br>5       | มาก<br>4 | ปานกลาง<br>3 | น้อย<br>2 | น้อยที่สุด<br>1 |                        |
| <b>ด้านการจัดการ ควบคุมดูแลและซ่อมบำรุงระบบ UPS</b>                                                                                       |                      |          |              |           |                 |                        |
| 1. การตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบประจำวัน                                                                                                     | 3                    | 4        | 4            | 3         | 2               | 3.19                   |
| 2. การตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบประจำสัปดาห์ มีการเดินเครื่องระบบเพื่อทดสอบและตรวจสอบ                                                        | 2                    | 5        | 5            | 3         | 1               | 3.25                   |
| 3. การตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบประจำเดือน                                                                                                   | 3                    | 9        | 3            | 1         | -               | 3.88                   |
| 4. การให้มีการตรวจสอบซ่อมบำรุงแบบป้องกันล่วงหน้า (Preventive Maintenance)                                                                 | 9                    | 5        | 2            | -         | -               | 4.44                   |
| 5. การทำสัญญาซ่อมบำรุงโดยมีการให้บริการซ่อมฉุกเฉิน (Corrective Maintenance แบบ 5 วัน x 8 ชั่วโมง)                                         | 3                    | 5        | 1            | 2         | 5               | 2.94                   |
| 6. การทำสัญญาซ่อมบำรุงโดยมีการให้บริการซ่อมฉุกเฉิน (Corrective Maintenance แบบ 7 วัน x 24 ชั่วโมง)                                        | 11                   | 3        | 2            | -         | -               | 4.56                   |
| 7. การทำสัญญาซ่อมบำรุงแบบรวมอะไหล่ ทั้งหมด                                                                                                | 8                    | 4        | 4            | -         | -               | 4.25                   |
| 8. การเลือกระบบ UPS แบบที่มีการต่อขนานเครื่องและมีเครื่องสำรองในระบบ(N+1) และระบบมีเสถียรภาพความน่าเชื่อถือสูง (Reliability)              | 9                    | 5        | 2            | -         | -               | 4.44                   |
| 9. การเลือกระบบ UPS แบบที่สามารถเข้าถึงการซ่อมบำรุงได้สะดวกและมีความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุต่ำ โดยยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง)   | 10                   | 6        | -            | -         | -               | 4.63                   |
| 10.การเลือกระบบ UPS แบบที่สามารถติดตั้งเครื่องUPS เพิ่มและขยายขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าUPS ได้ โดยไม่ต้องเลือกลงทุนติดตั้งระบบ UPS ใหม่ทั้งระบบ | 4                    | 9        | 3            | -         | -               | 4.06                   |
| 11.มีระบบแจ้งเตือน Warning Alarm ทางจอมอนิเตอร์                                                                                           | 8                    | 7        | 1            | -         | -               | 4.44                   |
| 12.มีระบบแจ้งเตือน Warning Alarm ทางเสียง Buzzer Alarm                                                                                    | 6                    | 7        | 3            | -         | -               | 4.19                   |

ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

| คุณลักษณะ                                                                      | ระดับการให้ความสำคัญ |          |              |           |                 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>X |
|--------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|--------------|-----------|-----------------|---------------------|
|                                                                                | มากที่สุด<br>5       | มาก<br>4 | ปานกลาง<br>3 | น้อย<br>2 | น้อยที่สุด<br>1 |                     |
| 13.มีระบบแจ้งเตือน Warning Alarm ทางรีโมทระยะไกล เช่น SMS Alarm , E-mail Alarm | 7                    | 6        | 3            | -         | -               | 4.25                |
| 14.มีการบริหารจัดการระบบ UPS แบบระยะไกลทางเว็บ คอมพิวเตอร์                     | 4                    | 6        | 5            | 1         | -               | 3.81                |
| ค่าเฉลี่ย รวม                                                                  |                      |          |              |           |                 |                     |
| ด้านการจัดการ ควบคุมดูแลและซ่อมบำรุงระบบ UPS = 4.02                            |                      |          |              |           |                 |                     |

จากค่าเฉลี่ยข้อพิจารณาต่างๆ แสดงว่าหน่วยงานต่างๆ ให้ความสำคัญการตรวจสอบ ซ่อมบำรุงแบบป้องกันล่วงหน้า (Preventive Maintenance) และให้ความสำคัญการให้บริการซ่อมฉุกเฉิน (Corrective Maintenance) แบบ 7 วัน x 24 ชั่วโมง (รวมอะไหล่) มากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.44 และ 4.56 ตามลำดับ)

ให้ความสำคัญมากด้านการพิจารณาเลือกระบบ UPS แบบที่มีเครื่องสำรองในระบบ (N+1) ให้ความสำคัญการซ่อมบำรุงได้สะดวกขณะที่ยังสามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง และให้ความสำคัญความสามารถขยายพิกัดกำลังไฟฟ้า ระบบ UPS ได้สะดวก มีระบบแจ้งเตือน (Warning Alarm) ต่างๆ ทางเสียง จอมอร์นิเตอร์ SMS และ E-mail Alarm โดยค่าเฉลี่ยในภาพรวมรวมด้านการจัดการควบคุมดูแลและซ่อมบำรุงระบบ UPS เท่ากับ 4.02 (ถือว่าให้ความสำคัญมาก)

#### 4.1.4 ด้านการจัดการ การลงทุนระบบ UPS

ตารางที่ 4.8 การจัดการ การลงทุนระบบ UPS

(n = 16)

| คุณลักษณะ                                                                                                                                                                                                                                               | ระดับการให้ความสำคัญ |          |              |           |                 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>X |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|--------------|-----------|-----------------|---------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                         | มากที่สุด<br>5       | มาก<br>4 | ปานกลาง<br>3 | น้อย<br>2 | น้อยที่สุด<br>1 |                     |
| <b>การลงทุน</b>                                                                                                                                                                                                                                         |                      |          |              |           |                 |                     |
| 1. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ สูงหรือต่ำ (พิจารณาจากงบประมาณ)                                                                                                                                             | 8                    | 6        | 2            | -         | -               | 4.38                |
| 2. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ สูงหรือต่ำ เทียบกับต้นทุนการสูญเสียหากระบบเกิดการหยุดทำงาน(Downtime loss cost)                                                                                              | 10                   | 5        | 1            | -         | -               | 4.56                |
| 3. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาความสามารถในการขยายพิกัดกำลังไฟฟ้าได้ในอนาคต                                                                                                                                                                         | 1                    | 14       | 1            | -         | -               | 4.00                |
| 4. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยมีโอกาสใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง (Availability) สูงเพียงพอสำหรับองค์กร และการซ่อมบำรุงมีความสะดวกปลอดภัย งบประมาณ สมเหตุสมผล และยอมรับในมาตรฐาน งบประมาณ Tier 3                                                               | 2                    | 12       | 2            | -         | -               | 4.00                |
| 5. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยมีโอกาสใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง (Availability) สูงสุด(ไม่มีข้อผิดพลาด) สำหรับองค์กร และการซ่อมบำรุงมีความสะดวกปลอดภัย สูงสุด (ไม่มีจุดเสี่ยง และไม่มีข้อผิดพลาด) โดยยอมรับในการลงทุนที่สูง และต้องการได้มาตรฐานสูงสุด Tier 4 | 2                    | 9        | 5            | -         | -               | 3.81                |
| ค่าเฉลี่ย รวม                                                                                                                                                                                                                                           |                      |          |              |           |                 |                     |
| ด้านการจัดการ การลงทุนระบบ UPS = 4.15                                                                                                                                                                                                                   |                      |          |              |           |                 |                     |

จากค่าเฉลี่ยข้อพิจารณาต่าง ๆ แสดงว่าหน่วยงานต่างๆ พิจารณาการเลือกลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพและต้นทุนความสูญเสีย (Downtime Loss Cost) มากที่สุด รองลงมา คือ งบประมาณการลงทุน และความสามารถขยายพิกัดกำลังไฟฟ้าในอนาคต ตามลำดับ

นอกจากนี้พบว่าหน่วยงานต่างๆให้ความสำคัญในการเลือกลงทุนระบบที่มีโอกาสใช้งานระบบได้อย่างต่อเนื่อง (Availability) สูงพอประมาณ หรือ Tier III มากกว่าการลงทุนระบบที่มีโอกาสการใช้งานได้อย่างต่อเนื่องสูงสุด หรือ Tier IV โดยเข้าใจถึงการลงทุนที่ต่างกัน ค่าเฉลี่ยในภาพรวมด้านการจัดการการลงทุนระบบ UPS เท่ากับ 4.15 (ถือว่าให้ความสำคัญมาก)

#### 4.1.5 ด้านการจัดการทุนสูญเสียที่เป็นรูปธรรม (Tangible loss)

ตารางที่ 4.9 การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นรูปธรรม (Tangible loss)

(n = 16)

| คุณลักษณะ                                                                                                                   | ระดับการให้ความสำคัญ |          |              |           |                 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>X |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|--------------|-----------|-----------------|---------------------|
|                                                                                                                             | มากที่สุด<br>5       | มาก<br>4 | ปานกลาง<br>3 | น้อย<br>2 | น้อยที่สุด<br>1 |                     |
| <b>การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นรูปธรรม (Tangible loss)</b><br><b>จากการเกิดการหยุดทำงานของระบบ (Downtime)</b>                 |                      |          |              |           |                 |                     |
| 1. การสูญเสียด้านการเงิน (Direct financial loss) เช่น การซ่อมแซม เปลี่ยนอะไหล่ ค่าดำเนินการกู้ระบบและข้อมูล                 | 7                    | 6        | 3            | -         | -               | 4.25                |
| 2. การสูญเสียด้านผลผลิต (Productivity loss) เช่น การผลิตชิ้นงานต่างๆ การทำธุรกรรมทางการเงิน (Transaction) การให้บริการต่างๆ | 9                    | 6        | 1            | -         | -               | 4.50                |
| 3. การสูญเสียด้านการวิเคราะห์ตรวจสอบสาเหตุ และการแก้ไขกู้ระบบกลับคืนมา (Investigation and recovery costs)                   | 6                    | 8        | 2            | -         | -               | 4.25                |
| 4. การสูญเสียด้านกฎหมาย สัญญาและการปรับที่กระทบองค์กร (Legal responsibility towards companies)                              | 6                    | 7        | 3            | -         | -               | 4.19                |
| ค่าเฉลี่ย รวม<br>ด้านการจัดการ ทุนสูญเสียที่เป็นรูปธรรม = 4.30                                                              |                      |          |              |           |                 |                     |

จากค่าเฉลี่ยข้อพิจารณาต่าง ๆ พบว่า หน่วยงานต่าง ๆ ให้ความสำคัญทุนสูญเสียด้านผลผลิต (Productivity) มากที่สุด เช่น การผลิตชิ้นงานต่างๆ การทำธุรกรรมทางการเงินเป็นต้น ส่วนการจัดการทุนสูญเสียด้านการเงิน ด้านการกู้ระบบและด้านการผิคนัดสัญญา ต่างๆ ก็ให้ความสำคัญสูงรองลงไป

#### 4.1.6 ด้านการจัดการทุนสูญเสียที่เป็นนามธรรม (Intangible loss)

ตารางที่ 4.10 การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นนามธรรม (Intangible loss)

(n = 16)

| คุณลักษณะ                                                                                                     | ระดับการให้ความสำคัญ |          |              |           |                 | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|--------------|-----------|-----------------|------------------------|
|                                                                                                               | มากที่สุด<br>5       | มาก<br>4 | ปานกลาง<br>3 | น้อย<br>2 | น้อยที่สุด<br>1 |                        |
| <b>การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นนามธรรม (Intangible loss)</b><br><b>จากการเกิดการหยุดทำงานของระบบ (Downtime)</b> |                      |          |              |           |                 |                        |
| 1. การสูญเสีย ชื่อเสียงและภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร (Reputation) (Good View Corporate Image)                    | 9                    | 7        | -            | -         | -               | 4.56                   |
| 2. การสูญเสีย ความน่าเชื่อถือและไว้วางใจ (Reliability)                                                        | 9                    | 7        | -            | -         | -               | 4.56                   |
| ค่าเฉลี่ย รวม                                                                                                 |                      |          |              |           |                 |                        |
| <b>ด้านการจัดการ ทุนสูญเสียที่เป็นนามธรรม = 4.56</b>                                                          |                      |          |              |           |                 |                        |

ด้านการจัดการทุนสูญเสียที่เป็นนามธรรม ได้แก่ การสูญเสียชื่อเสียง ภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร การสูญเสียความน่าเชื่อถือและความไว้วางใจจากลูกค้า พบว่าหน่วยงานต่างๆ ให้ความสำคัญสูงมาก (ค่าเฉลี่ย 4.56) และสูงกว่าการจัดการทุนสูญเสียที่เป็นรูปธรรม (ค่าเฉลี่ย 4.30)

## 4.2 ผลการสอบถามผู้ให้บริการ (Vendor) ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส)

จากบริษัท (Vendor) ต่างๆ ดำเนินการตอบแบบสอบถามทั้งหมด 8 ชุด โดยพิจารณาจากรูปแบบ UPS ที่มีการใช้งานในประเทศไทยทั้ง 5 รูปแบบ (A – E) เก็บรวบรวมข้อมูลได้ดังนี้

### 4.2.1 คุณสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพ (Physical Characteristic)

ตารางที่ 4.11 คุณสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพ (Physical Characteristic)

| System Connectivity Configuration<br><br>Physical & Characteristic                        | A. Single UPS (N)          | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. จำนวนเครื่อง UPS ในการต่อวงจร ที่ Output UPS = 600 KVA                                 | 1 เครื่อง<br>(600 x 1)     | 3 เครื่อง<br>(300 x 3)                                 | 3 เครื่อง<br>(300 x 3)                                                     | 3 เครื่อง<br>(300 x 3)                                                | 4 เครื่อง<br>(300 x 4)                                   |
| 2. จุดเสี่ยง Single Point of Failure ด้าน Utility Input (มีหรือไม่มี)                     | มี 6 ,ไม่มี 2<br>เฉลี่ย มี | มี 5 ,ไม่มี 3<br>เฉลี่ย มี                             | มี 2 ,ไม่มี 6<br>เฉลี่ย ไม่มี                                              | มี 2 ,ไม่มี 6<br>เฉลี่ย ไม่มี                                         | ไม่มี 8<br>เฉลี่ย ไม่มี                                  |
| 3. จุดเสี่ยง Single Point of Failure ด้านการต่อUPS แบบขนาน Redundancy N+1 (มี หรือ ไม่มี) | มี 7 ,ไม่มี 1<br>เฉลี่ย มี | มี 3 ,ไม่มี 5<br>เฉลี่ย ไม่มี                          | มี 3 ,ไม่มี 5<br>เฉลี่ย ไม่มี                                              | มี 3 ,ไม่มี 5<br>เฉลี่ย ไม่มี                                         | มี 3 ,ไม่มี 5<br>เฉลี่ย ไม่มี                            |
| 4. จุดเสี่ยง Single Point of Failure ด้าน UPS Source Power Output (มีหรือไม่มี)           | มี 7 ,ไม่มี 1<br>เฉลี่ย มี | มี 7 ,ไม่มี 1<br>เฉลี่ย มี                             | มี 8<br>เฉลี่ย มี                                                          | มี 5 ,ไม่มี 3<br>เฉลี่ย มี                                            | มี 1 ,ไม่มี 7<br>เฉลี่ย ไม่มี                            |

ตารางที่ 4.11 (ต่อ)

| System Connectivity Configuration<br>Physical & Characteristic                    | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 5. Mean Time Between Failure (MTBF)                                               | 240,000           | 300,000                                                | 350,000                                                                     | 350,000                                                               | 450,000                                                  |
| 6. Mean Time to Repair (MTTR) or Down time                                        | 28.8 hr           | 22 hr                                                  | 1.6 hr                                                                      | 1.6 hr                                                                | 0.8 hr                                                   |
| 7. โอกาสในการทำงานได้ต่อเนื่องของระบบ Availability / 1 year                       | 99.67%            | 99.75%                                                 | 99.98%                                                                      | 99.98%                                                                | 99.99%                                                   |
| 8. มาตรฐานด้านศูนย์คอมพิวเตอร์ Tier 1 – 4 Classifications                         | Tier 1            | Tier 2                                                 | Tier 3                                                                      | Tier 3                                                                | Tier 4                                                   |
| 9. ความเหมาะสมเป็นแหล่งจ่าย Power Dual Source เพื่อรองรับโหลดชนิด Dual Cords Load | ไม่เหมาะสม        | ไม่เหมาะสม                                             | ไม่เหมาะสม                                                                  | เหมาะสม                                                               | เหมาะสมมาก                                               |

## 4.2.2 ข้อดี-ข้อด้อยและการลงทุน (Advantage-Disadvantage & Investment)

ตารางที่ 4.12 ข้อดี-ข้อด้อยและการลงทุน (Advantage-Disadvantage & Investment)

| System Connectivity Configuration<br>Advantage-Disadvantage & Investment           | A. Single UPS (N)                                                        | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1)                   | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1)   | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N)                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| 1. ให้ชี้แจงจำนวนเครื่อง UPS และอุปกรณ์ประกอบ ในการต่อวงจร ที่ Output UPS= 600 KVA |                                                                          |                                                                          |                                                                            |                                                                         |                                                                             |
| - UPS (ขนาดและจำนวน)                                                               | 1x600KVA                                                                 | 3x300KVA                                                                 | 3x300KVA                                                                   | 3x300KVA                                                                | 4x300KVA                                                                    |
| - Static Bypass Switch Cubicle (จำนวนตู้)                                          | -                                                                        | -                                                                        | 1                                                                          | 2                                                                       | 2                                                                           |
| - ตู้ Main UPS Output (จำนวนตู้)                                                   | 1                                                                        | 1                                                                        | 1                                                                          | 2                                                                       | 2                                                                           |
| ชี้แจงอุปกรณ์ พิเศษ อื่นๆ ที่ต้องติดตั้งในระบบ (Accessories)                       | -                                                                        | -                                                                        | -                                                                          | -                                                                       | -                                                                           |
| 2. การลงทุนในแต่ละรูปแบบ ประมาณการ ทั้งระบบ ( ....บาท.....)                        | 10 ล้านบาท 10 ล้านบาท 7.5 ล้านบาท 4.2 ล้านบาท 8 ล้านบาท เฉลี่ย 8 ล้านบาท | 14 ล้านบาท 13 ล้านบาท 17 ล้านบาท 5 ล้านบาท 9 ล้านบาท เฉลี่ย 11.6 ล้านบาท | 17 ล้านบาท 15 ล้านบาท 17 ล้านบาท 6.5 ล้านบาท 14 ล้านบาท เฉลี่ย 14 ล้านบาท  | 20 ล้านบาท 18 ล้านบาท 17 ล้านบาท 7 ล้านบาท 18 ล้านบาท เฉลี่ย 16 ล้านบาท | 27 ล้านบาท 25 ล้านบาท 22.5 ล้านบาท 9.5 ล้านบาท 32 ล้านบาท เฉลี่ย 23 ล้านบาท |

ตารางที่ 4.12 (ต่อ)

| System Connectivity Configuration<br>Advantage-Disadvantage & Investment                                                        | A. Single UPS (N)     | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 3. การลงทุนของระบบ<br>สมมติการลงทุนของ<br>แบบ A. Single UPS<br>เป็น 1 เท่า (การลงทุน<br>ในแบบ B,C,D,E เป็น<br>กี่เท่าของ แบบ A) | 1 1 1 1 1<br>เฉลี่ย 1 | 1.4 1.3 2.2<br>1.4 1.15 เฉลี่ย<br>1.56 เท่า            | 1.7 1.5 2.2<br>1.53 1.75<br>เฉลี่ย 1.73 เท่า                               | 2.0 1.8 2.2<br>1.65 2.25<br>เฉลี่ย 2 เท่า                             | 2.7 2.5 3<br>2.24 4 เฉลี่ย<br>3 เท่า                     |
| 4. ชี้แจงความสามารถใน<br>การขยายพิกัดระบบใน<br>อนาคต (ยาก หรือ ง่าย)<br>และมีข้อจำกัดใดๆ<br>หรือไม่                             | ยาก<br>-              | ยาก<br>-                                               | ง่าย ต่อขนาน<br>ได้ไม่เกิน 6-8<br>เครื่อง                                  | ง่าย ต่อขนาน<br>ได้ไม่เกิน 6-8<br>เครื่อง                             | ง่าย ที่สุด ต่อ<br>ขนาน ได้ไม่<br>เกิน 6-8<br>เครื่อง    |

จากค่าเฉลี่ยข้อพิจารณาต่าง ๆ เกี่ยวกับข้อมูลคุณสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพ Physical Characteristic และ ข้อพิจารณาเกี่ยวกับข้อดี-ข้อด้อย และการลงทุน ของรูปแบบการต่อวงจรระบบ UPS ทั้ง 5 รูปแบบ ได้ข้อพิจารณาดังนี้

UPS รูปแบบ E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) มีคุณสมบัติด้านกายภาพ (Physical Characteristic) ต่างๆ ดีที่สุด คือ

ตารางที่ 4.13 ข้อดี ข้อเสีย ของ UPS รูปแบบ E

| ข้อดี (UPS รูปแบบ E)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ข้อเสีย(UPS รูปแบบ E)                                                                                                                                                                                              |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- ไม่มี Single Point of Failure ด้าน Input และ Output และด้านการมีเครื่องสำรองในระบบ N+1 (เป็นการ Plus one ด้วยระบบ 1 ระบบ ทำให้มีเสถียรภาพสูง )</li> <li>- Mean Time Between Failure (MTBF) อายุการใช้งานเฉลี่ย (หรือ Reliability) สูงมาก</li> <li>- Mean Time to Repair (MTTR) หรือ (Downtime) ระยะเวลาระบบใช้งานไม่ได้(เครื่องชำรุด) มีค่าต่ำมาก</li> <li>- โอกาสในการทำงานได้ต่อเนื่อง (Availability) เปอร์เซนต์ สูงมาก 99.99%</li> <li>- มาตรฐานคุณสมบัติด้านกายภาพ (Tier Classification) สูงสุดประมาณ Tier 3-4</li> <li>- เหมาะมากสำหรับโหลดที่ต้องการแหล่งจ่าย 2 แหล่ง (Dual Source)</li> <li>- ความสามารถขยายพิกัดของระบบในอนาคต ทำได้ง่ายและไม่ยุ่งยาก</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- จะต้องติดตั้งจำนวนเครื่อง UPS ในระบบมากกว่าแบบอื่นๆ</li> <li>- การลงทุนของระบบสูงมาก สูงกว่าแบบ A. Single UPS ถึง 3 เท่าตัว ที่พิกัดกำลังไฟฟ้าเอาต์พุต เท่ากัน</li> </ul> |

รูปแบบการต่อวงจร แบบ D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) , แบบ C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) , แบบ B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) พบว่ามีคุณสมบัติด้านกายภาพต่างๆ (Physical Characteristic) ดีลดหลั่นกันไปคือแบบ E.-D.-C.-B.-A. ส่วนการลงทุนก็มีการผันแปรตามคือค่าใช้จ่ายลงทุนน้อยลงตามรูปแบบ E.-D.-C.-B.-A. เช่นกัน โดย UPS รูปแบบ A. Single UPS มีคุณสมบัติด้านกายภาพ (Physical Characteristic) ต่างๆ แย่ที่สุด คือ

ตารางที่ 4.14 ข้อดี ข้อเสีย ของ UPS รูปแบบ A

| ข้อดี (UPS รูปแบบ A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ข้อเสีย (UPS รูปแบบ A)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- แบบ A. การลงทุนของระบบไม่สูงมาก<br/> แบบ A : ลงทุนเป็น 1.0 เท่า<br/> แบบ B : ลงทุนเป็น 1.56 เท่า<br/> แบบ C : ลงทุนเป็น 1.73 เท่า<br/> แบบ D : ลงทุนเป็น 2.0 เท่า<br/> แบบ E : ลงทุนเป็น 3.0 เท่า</li> <li>- แบบ A. ใช้งาน ได้เต็มประสิทธิภาพของเครื่อง UPS สูงที่สุด(เนื่องจากไม่มีเครื่องต่อขนานช่วยแบ่งภาระในการทำงาน)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- มี Single Point of Failure ด้าน Input และ Output , ไม่มีเครื่องสำรองในระบบแบบ N+1</li> <li>- Mean Time Between Failure (MTBF) อายุการใช้งานเฉลี่ยต่ำมาก</li> <li>- Mean Time to Repair (MTTR) or (Downtime) ระยะเวลาที่ระบบใช้งานไม่ได้ (เครื่องชำรุด) มีค่าสูงมาก</li> <li>- โอกาสในการทำงานได้ต่อเนื่อง (Availability) เปอร์เซนต์ไม่สูง 99.67 %</li> <li>- มาตรฐานคุณสมบัติด้านกายภาพ (Tier Classification) ไม่สูง Tier 1</li> <li>- ไม่เหมาะสำหรับโหลดที่ต้องการแหล่งจ่าย 2 แหล่ง (Dual Source)</li> <li>- ความสามารถขยายพิกัดของระบบในอนาคต ทำได้ยาก (ต้องเปลี่ยนเครื่อง UPS)</li> </ul> |

4.2.3 ปัจจัยหลักในด้าน คุณภาพระบบไฟฟ้า (Power Quality) ด้านการซ่อมบำรุง ความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของระบบ (Maintenance , Reliability & Availability) และด้านการขยายพิกัดระบบและการลงทุน (Extension & Investment)

1) คุณภาพระบบไฟฟ้า (Power Quality) 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี, 5: ดีมาก

ตารางที่ 4.15 คุณภาพระบบไฟฟ้า

| System Connectivity Configuration<br>Power Quality                                                                                                            | A. Single UPS (N)           | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. คุณสมบัติด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า ด้าน Input การแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้านกระแสไฟฟ้า ( Current THDI ) 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี, 5: ดีมาก  | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.42 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.42                            | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.14                                                | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.14                                           | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.57                              |
| 2. คุณสมบัติด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า ด้าน Output การแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้านแรงดันไฟฟ้า ( Voltage THDU ) 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี 5: ดีมาก | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.71 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.85                            | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.57                                                | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.57                                           | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.85                              |
| 3. คุณสมบัติด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า ด้าน Input ทนทานต่อการเกิด Surge, ไฟตก, ไฟเกิน, ไฟกระชาก ไฟกระพริบ, ไฟฟ้าดับ 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี 5: ดีมาก    | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.75 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.12                            | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.12                                                | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.12                                           | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.75                              |

ตารางที่ 4.15 (ต่อ)

| System Connectivity Configuration                                                                                                                |                                |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                  | A. Single UPS (N)              | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
| Power Quality                                                                                                                                    |                                |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 4. คุณสมบัติด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า ด้าน Output มีความเสถียรภาพด้านการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี, 5: ดีมาก | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>3.00 | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>3.87                         | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>3.87                                             | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>4.00                                        | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>5.00                           |
| 5. เหมาะสำหรับเครื่อง Server สมัยใหม่ที่ต้องการแหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิด Dual Source แท้ ๆ 1: แย่มาก, 2: แย่ 3: ปานกลาง, 4: ดี , 5: ดีมาก               | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>2.50 | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>3.00                         | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>3.00                                             | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>3.50                                        | ค่าเฉลี่ย<br>$\bar{x}$<br>5.00                           |

## 2) Maintenance , Reliability &amp; Availability

ตารางที่ 4.16 Maintenance , Reliability &amp; Availability

(n = 8)

| System Connectivity Configuration                                                                                                                                                                                                       | A. Single UPS (N)           | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Maintenance Reliability & Availability                                                                                                                                                                                                  |                             |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| 1. ท่านคิดว่าสามารถ<br>ออกแบบให้ระบบUPS<br>สามารถทนต่อการเกิด<br>Over Load ได้สูงและมี<br>เสถียรรูปที่สุด 1: แย่มาก,<br>2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี<br>5: ดีมาก                                                                           | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>2.5  | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.75                            | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.87                                                 | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>4.25                                           | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>5.00                              |
| 2. ระหว่างซ่อมบำรุง หรือ<br>ซ่อมแซม UPS แบบใดให้<br>ความเหมาะสมในการซ่อม<br>บำรุงโดยยังปกป้อง<br>Critical Load และมีความ<br>เสี่ยงน้อยต่อการเกิด<br>อุบัติเหตุ (Risk<br>Assessment) 1: แย่มาก,<br>2: แย่ 3: ปานกลาง, 4: ดี,<br>5: ดีมาก | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>2.12 | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.12                            | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.25                                                 | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.75                                           | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>5.00                              |

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

| System Connectivity Configuration<br>Maintenance Reliability & Availability                                                                                          | A. Single UPS (N)             | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 3. ท่านคิดว่า UPS ระบบใดมีเสถียรภาพ , ความน่าเชื่อถือ และ โอกาสในการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง Reliability & Availability 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี 5: ดีมาก | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>2.37   | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.12                            | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.25                                                | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>3.75                                           | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>5.00                              |
| 4. Tier 1-4 Classification คือ ระดับการให้คะแนนของมาตรฐานศูนย์คอมพิวเตอร์แบบการต่อวงจรแต่ละแบบ ได้มาตรฐานใด (1 : Tier 1) (2 : Tier 2) (3 : Tier 3) (4 : Tier 4)      | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>Tier 1 | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>Tier 2                          | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>Tier 2.2                                            | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>Tier 2.3                                       | ค่าเฉลี่ย<br>-<br>x<br>Tier 3.5                          |

ตารางที่ 4.16 (ต่อ)

| รูปแบบการต่อวงจร<br>Configuration                                                                                                                                                                                                                                                                         |                             |                                                           |                                                                               |                                                                          |                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Maintenance<br>Reliability & Availability                                                                                                                                                                                                                                                                 | A. Single UPS (N)           | B. Modular Redundancy UPS<br>Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC<br>Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC<br>Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS<br>Dual UPS Source (2 N) |
| 5. ท่านคิดว่า UPS ระบบใด<br>เมื่อเกิดอุบัติเหตุเครื่อง<br>UPS ชำรุดเพียง 1 เครื่อง<br>ในระบบอาจทำให้ระบบ<br>จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ<br>Critical Load ล่มได้<br>(Downtime)<br>1: โอกาสระบบล่มสูงมาก<br>2: โอกาสระบบล่มสูง<br>3: โอกาสระบบล่ม<br>พอประมาณ 4: โอกาส<br>ระบบลมน้อย 5: ไม่มี<br>โอกาสที่ระบบจะล่ม | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>1.75 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.12                               | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.37                                                   | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.62                                              | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>5.0.                                 |
| 6. ท่านคิดว่า UPS ระบบใด<br>มี Single Point of Failure<br>1 : มีมากที่สุด 2 : มีมาก<br>3: มีพอประมาณ 4: มีน้อย<br>5: ไม่มี                                                                                                                                                                                | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>1.85 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.0                                | ค่าเฉลี่ย _X<br>3.14                                                          | ค่าเฉลี่ย _X<br>3.42                                                     | ค่าเฉลี่ย _X<br>4.85                                        |

## 3) System Expansion, Cost &amp; Investment

ตารางที่ 4.17 System Expansion, Cost &amp; Investment

(n = 8)

| System Connectivity Configuration<br>System Expansion, Cost & Investment                                                                                                                                              | A. Single UPS (N)           | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. ถ้าได้ออกแบบเพื่อไว้ UPS ระบบใดสามารถขยาย พิกัดกำลังไฟฟ้าในอนาคต ได้ 1: ทำไม่ได้ 2: ทำได้ แต่ไม่เหมาะสม 3: พอทำได้ 4: เหมาะสม 5: เหมาะสม ที่สุด                                                                    | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>2.85 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.28                            | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>2.87                                                 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.71                                           | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.57                              |
| 2. ท่านคิดว่าระบบ UPS ระบบใดใช้งานได้ดีมี ประสิทธิภาพเครื่อง UPS ที่สุด 1: ใช้งานไม่เต็ม ประสิทธิภาพอย่างมาก 2: ใช้งานไม่เต็ม ประสิทธิภาพ 3: พอประมาณ 4: เต็ม ประสิทธิภาพพอประมาณ 5: ใช้งานได้ดีมี ประสิทธิภาพเครื่อง | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>4.57 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.71                            | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.28                                                 | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.71                                           | ค่าเฉลี่ย<br>—<br>x<br>3.57                              |

**คุณภาพระบบไฟฟ้า (Power Quality)** ของรูปแบบการต่อวงจรระบบ UPS ทั้ง 5 รูปแบบ ค่าเฉลี่ยต่างๆ มีข้อพิจารณาดังนี้

1. คุณภาพการแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้าน Input แบบ E มีคุณภาพดีที่สุด รองลงมา คือ แบบ A และ B คุณภาพไม่แตกต่างจากแบบ E มากนัก สำหรับแบบ C และ D มีคุณภาพต่ำที่สุด ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยมากกว่า 4 ถือว่าคุณภาพการแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้าน Input ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของเครื่อง UPS ในการปรับปรุงคุณภาพระบบไฟฟ้า

2. คุณภาพการแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้าน Output แบบ B และ E มีคุณภาพดีที่สุด รองลงมา ได้แก่ แบบ A, C และ D ซึ่งพบว่าค่าเฉลี่ยมากกว่า 4 ถือว่าคุณภาพการแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้าน Output ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติประจำตัวของเครื่อง UPS ในการปรับปรุงคุณภาพระบบไฟฟ้า

3. คุณสมบัติด้าน Input ทนทานต่อการเกิด Surge ไฟตก ไฟเกิน พบว่า แบบ E. มีคุณภาพดีที่สุด และแบบ A. มีคุณภาพแย่ ที่สุด (เนื่องจากไม่มีเครื่องต่อขนาน)

4. คุณสมบัติด้าน Output ด้านเสถียรภาพการจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง พบว่า แบบ E. มีคุณภาพดีที่สุด (เนื่องจากเป็นระบบ 2 N) และแบบ A. มีคุณภาพแย่ ที่สุด

5. คุณสมบัติด้านการเป็นแหล่งจ่าย 2 Source สำหรับโหลดที่ต้องการ Dual Source พบว่า แบบ E. มีคุณภาพดีที่สุด และ แบบ D , C , B , A คุณภาพดีลดหลั่นกันไป

**Maintenance , Reliability & Availability** ของรูปแบบการต่อวงจรระบบ UPS ทั้ง 5 รูปแบบ ค่าเฉลี่ยต่างๆ มีข้อพิจารณาดังนี้

1. ระบบสามารถทนต่อการเกิด Over Load ได้สูงและมีเสถียรภาพที่สุดพบว่า แบบ E. มีคุณภาพดีที่สุด (เนื่องจากเป็นระบบ 2 N) และ แบบ D , C , B , A คุณภาพดีลดหลั่นกันไป

2. ระบบมีความเหมาะสมในการซ่อมบำรุงโดยยังปกป้องโหลดและมีความเสี่ยงน้อยต่อการเกิดอุบัติเหตุ พบว่า แบบ E. มีคุณภาพดีที่สุด (เนื่องจากเป็นระบบ 2 N) และ แบบ D, C, B, A คุณภาพดีลดหลั่นกันไป

3. ระบบมีเสถียรภาพมีความน่าเชื่อถือและโอกาสในการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง (Reliability & Availability) พบว่าแบบ E. มีคุณภาพดีที่สุด และ แบบ D, C, B, A คุณภาพดีลดหลั่นกันไป

4. แบบ E ได้มาตรฐานเฉลี่ยประมาณ Tier 3.5 และ แบบ D, C, B, A ได้มาตรฐาน Tier Classification ลดหลั่นกันไป โดย แบบ A ได้มาตรฐาน Tier 1 เท่านั้น

5. หากเกิดอุบัติเหตุเครื่องUPSในระบบสำรองเพียง 1 เครื่อง อาจทำให้แหล่งจ่ายทั้งระบบล่มได้ พบว่า แบบ A โอกาสระบบล่มสูงมาก และ แบบ B, C, D, E โอกาสระบบล่มลดน้อยโดยแบบ E ดีที่สุด (ไม่มีโอกาสที่ระบบจะล่ม) (เนื่องจากเป็นระบบ 2 N)

6. พบว่าแบบ A มี Single Point of Failure มากที่สุดและแบบ B, C, D, E Single Point of Failure ลดน้อยลงไปตามลำดับ

ด้านการขยายงานและความสามารถขยายพิกัดของระบบ ต้นทุนและการลงทุน (System Expansion, Cost & Investment) ของรูปแบบการต่อวงจรระบบ UPS ทั้ง 5 รูปแบบ ค่าเฉลี่ยต่างๆ มีข้อพิจารณาดังนี้

1. พบว่า แบบ D มีความสามารถขยายพิกัดได้สูงสุด รองลงไปคือแบบ E และแบบ B แบบ C ได้คะแนนไม่สูงมากเนื่องจากพิจารณาว่ามีสายพาสเพียงชุดเดียวจึงมีความเสี่ยงอยู่บ้างในการขยายพิกัด โดยที่แบบ A มีความสามารถขยายพิกัดได้น้อยสุด (เนื่องจากต้องเปลี่ยนเครื่องชุดใหม่ขนาดพิกัดใหญ่ขึ้น แทนการต่อขนานเครื่อง)

2. พบว่า แบบ A ใช้งานเครื่อง UPS ได้เต็มประสิทธิภาพที่สุด เนื่องจากไม่มีเครื่องต่อขนาน ในการแบ่งภาระการทำงานของเครื่อง UPS และเป็นการสำรองในระบบแบบ N+1 จึงทำงานได้เต็มประสิทธิภาพสูงสุด แต่เมื่อไม่มีเครื่องสำรองในระบบเมื่อ UPS เพียง 1 เครื่องชำรุดก็จะทำให้ระบบล่มไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ โหลดได้ จึงเป็นข้อเสียของแบบ A

#### 4.3 การประยุกต์ใช้

ตัวอย่างที่ 1 การพิจารณารูปแบบระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูทีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์สำรอง ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง พื้นที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ ขนาด 1,000 ตารางเมตร ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูทีเอส) ขนาดพิกัด (เอาท์พุท) 600 กิโลวัตต์ ควรพิจารณาเลือกรูปแบบใดจึงจะเหมาะสม ?

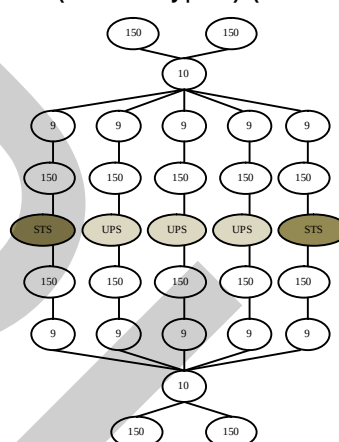
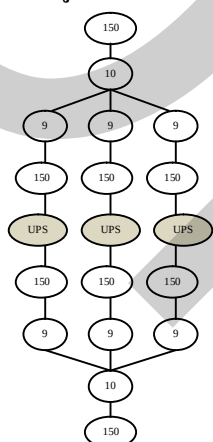
##### ข้อสมมติฐาน

- ใช้งานเป็นศูนย์คอมพิวเตอร์สำรอง
- จากข้อมูลความสูญเสีย การทำธุรกรรม Online 2.6 M\$ / hr (มนตรี วิทยุรัตน์ 2550) หรือ ต้นทุนสูญเสีย 91 ล้านบาท / ชั่วโมง แต่เนื่องจากเป็นศูนย์คอมพิวเตอร์สำรอง Downtime loss cost จึงไม่สูงมากนัก สมมติฐานว่าประมาณครึ่งหนึ่งของศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก ประมาณ 45 ล้านบาท/ชั่วโมง (ซึ่งก็คือทุนสูญเสียทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม Downtime loss cost ต่อการเกิด Downtime 1 ชั่วโมง เป็นมูลค่าสูงมากเนื่องจากรวมต้นทุนความสูญเสียชื่อเสียง และภาพลักษณ์ที่ดี)

- ความต้องการด้านความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) เนื่องจาก เป็นศูนย์คอมพิวเตอร์สำรองสมมติฐานเลือกระบบ (ยูพีเอส) รูปแบบ B (N+1) (Availability 99.75 %) (Downtime 22 ชั่วโมง / ปี) Downtime สูงและได้ Availability ต่ำ และเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ด้วยการลด Downtime และเพิ่ม Availability จึงพิจารณาปรับปรุงระบบไปเป็นรูปแบบ D N+1(2 Static bypass) (Availability 99.98%) (Downtime 1.6 ชั่วโมง/ปี) Downtime ต่ำ และได้ Availability สูงดีขึ้นอย่างมาก

### ข้อพิจารณาความเหมาะสม อัปเกรดจาก รูปแบบ B - D จากตัวอย่างที่ 1

RBD UPS รูปแบบ B N+1 (Tier II) RBD UPS รูปแบบ D N+1 (2 Static bypass) (Tier III)



UPS รูปแบบ B System Availability = 99.75%  
Downtime = 22 ชั่วโมง / ปี

UPS รูปแบบ D System Availability = 99.98%  
Downtime = 1.6 ชั่วโมง / ปี

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างข้อพิจารณาความเหมาะสม อัปเกรดจาก รูปแบบ B - D

จากการพิจารณาปรับปรุงรูปแบบระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) จากรูปแบบ B ไปเป็นรูปแบบ D โดยมีข้อพิจารณาดังนี้

- ความพร้อมและความน่าเชื่อถือ (Availability) ของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) เพิ่มขึ้น (ดีขึ้น)  $\Delta \text{Avi} = 0.23\%$
- สามารถลด Downtime ลงได้ถึง 20.4 ชั่วโมง
- พิจารณาการลงทุน (Investment cost)

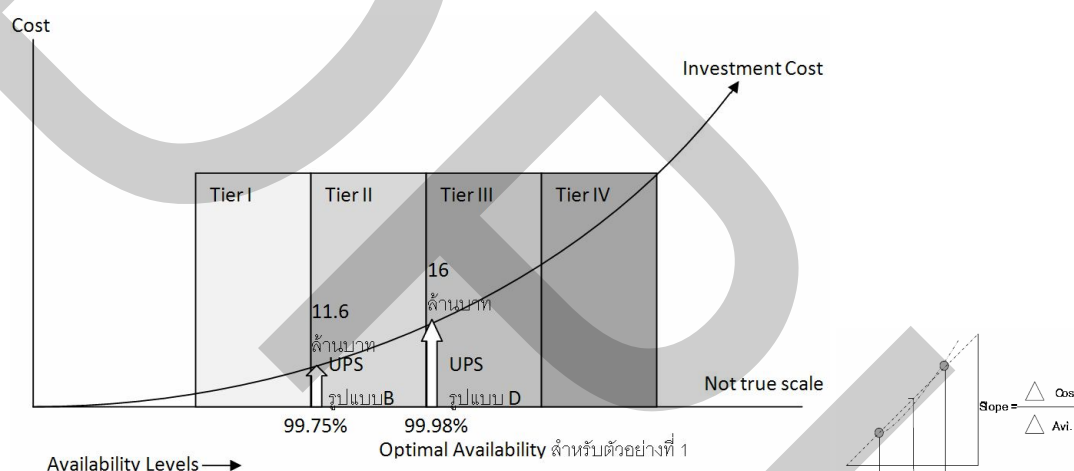
กรณีพิจารณาเฉพาะในส่วนรูปแบบของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ที่ขนาดพิกัด 600 เควีเอ จากผลการศึกษา

UPS รูปแบบ B N+1 (Tier II) การลงทุนประมาณ 11.6 ล้านบาท

UPS รูปแบบ D N+1 (2 Static bypass) (Tier III) การลงทุนประมาณ 16 ล้านบาท

ส่วนที่ต้องลงทุนเพิ่มในการปรับปรุงระบบ  $\Delta \text{Cost} = 4.4$  ล้านบาท (เพิ่มขึ้น 38%)

ข้อสรุปการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง (ตัวอย่างที่ 1)



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง (ตัวอย่างที่ 1)

- จากการพิจารณา อัตราส่วนการลงทุน  $\Delta \text{Cost} / \Delta \text{Avi}$  พบว่าการลงทุนเพิ่มจากรูปแบบ B-D การลงทุนเพิ่มไม่สูงมาก แต่กลับได้ความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบ (Availability) เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก โดยสามารถลด Downtime ลงได้หลายชั่วโมง ซึ่งจะสามารถลดต้นทุนความสูญเสีย Downtime loss cost ลงได้เป็นอย่างดีเช่นกัน

- การพิจารณาความคุ้มค่า (ROI) จากการพิจารณา เป็นศูนย์กลางคอมพิวเตอร์สำรอง ดังนั้นต้นทุนความสูญเสีย (Downtime loss cost) อาจไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับกรณีเป็นศูนย์กลางคอมพิวเตอร์หลัก ซึ่งเทียบกับเงินลงทุนใน UPS รูปแบบ D (16 ล้านบาท) พบว่ามีความคุ้มค่าในการเลือกระบบเนื่องจากลงทุนเพิ่มเพียง 38%

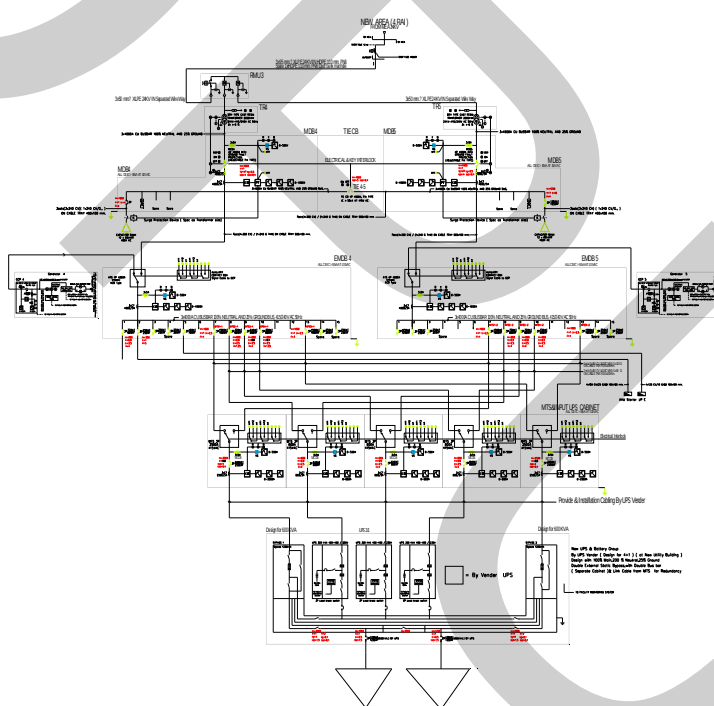
- จากผลการศึกษา ระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) รูปแบบ D มีข้อคุณสมบัติพิเศษที่ควรพิจารณาประกอบในการเลือกลงทุน มีดังนี้

1. UPS รูปแบบ D มีความเหมาะสมสามารถเข้าถึงการบำรุงรักษาได้อย่างสะดวก และเกิดความเสี่ยงน้อย โดยยังสามารถใช้งานและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

2. UPS รูปแบบ D มีความเหมาะสมสามารถออกแบบชุดบายพาสเพื่อไว้เพื่อการขยายพิกัดกำลังไฟฟ้า สำหรับใช้งานในอนาคตได้สะดวกด้วยการต่อขนานเครื่องเข้าไปในระบบ

ตัวอย่างที่ 1 เลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) อัปเกรดจากรูปแบบ B-D โดยรูปแบบ D มีความเหมาะสม (ได้มาตรฐาน Tier III )

รูปวงจรไฟฟ้า UPS รูปแบบ D N+1 (2 Static bypass) ของศูนย์คอมพิวเตอร์สำรอง ธนาคาร แห่งหนึ่ง



รูปที่ 4.3 วงจรระบบไฟฟ้า Single line diagram (ตัวอย่างที่ 1)

ตัวอย่างที่ 2 การพิจารณารูปแบบระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง พื้นที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ ขนาด 1,000 ตารางเมตร ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) ขนาดพิกัด (เอทท์พท) 600 เควีเอ ควรพิจารณาเลือกรูปแบบใด จึงจะเหมาะสม ?

### ข้อสมมติฐาน

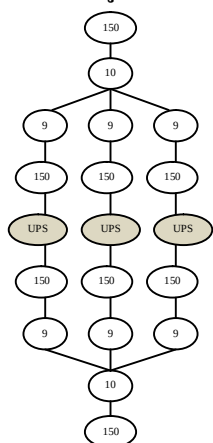
- ใช้งานเป็นศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก ของธนาคาร
- จากข้อมูลความสูญเสีย การทำธุรกรรม Online 2.6 M\$ / hr (มนตรี วิบูลย์รัตน์ 2550) หรือ ต้นทุนสูญเสีย 91 ล้านบาท / ชั่วโมง สำหรับศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก (ซึ่งก็คือต้นทุนสูญเสียทั้งที่เป็นรูปธรรมและนามธรรม Downtime loss cost ต่อการเกิด Downtime 1 ชั่วโมง เป็นมูลค่าสูงมากๆ เนื่องจากรวมต้นทุนการแก้ไขและกู้ระบบรวมทั้งกู้ข้อมูล และต้นทุนความสูญเสียชื่อเสียงและภาพลักษณ์ที่ดี)

ความต้องการด้านความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) เนื่องจาก เป็นศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก สมมติฐานเลือกระบบ (ยูพีเอส) รูปแบบ B(N+1) (Availability 99.75 %) (Downtime 22 ชั่วโมง / ปี) Downtime สูงและได้ Availability ต่ำ

จากการพิจารณาความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบ (Availability) รูปแบบ B มีค่าสูงไม่เพียงพอสำหรับองค์กรที่เป็นศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก ซึ่งต้องการ Availability ที่สูงมากๆ เพื่อลดข้อผิดพลาดต่างๆที่จะเกิดขึ้นและให้ระบบทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และเพื่อเป็นการลดต้นทุนค่าใช้จ่าย ด้วยการลด Downtime และ เพิ่ม Availability จึงพิจารณาปรับปรุงระบบไปเป็น UPS รูปแบบ E 2 (N) Tier IV (Availability 99.99%) (Downtime 0.8 ชั่วโมง / ปี) Downtime ต่ำมาก และได้ Availability สูงมากๆ

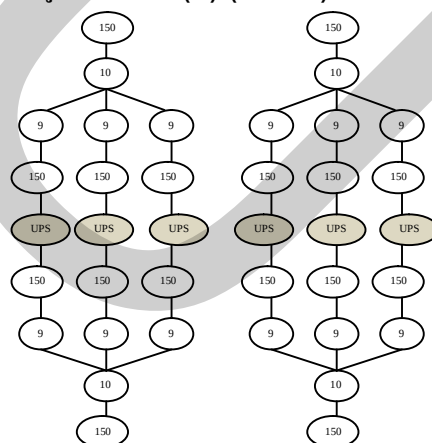
### ข้อพิจารณาความเหมาะสม อพเกรดจาก รูปแบบ B - E จากตัวอย่างที่ 2

RBD UPS รูปแบบ B N+1 (Tier II)



UPS รูปแบบ B System Availability = 99.75%  
Downtime = 22 ชั่วโมง / ปี

RBD UPS รูปแบบ E 2 (N) (Tier IV)



UPS รูปแบบ E System Availability = 99.99%  
Downtime = 0.8 ชั่วโมง / ปี

รูปที่ 4.4 ข้อพิจารณาความเหมาะสม อพเกรดจาก รูปแบบ B - E

จากการพิจารณาปรับปรุงรูปแบบระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) จากรูปแบบ B ไปเป็นรูปแบบ E โดยมีข้อพิจารณาดังนี้

- ความพร้อมและความน่าเชื่อถือ (Availability) ของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ดีขึ้น  $\Delta \text{Avi} = 0.24\%$

- สามารถลด Downtime ลงได้ถึง 21.2 ชั่วโมง

- พิจารณาการลงทุน (Investment cost)

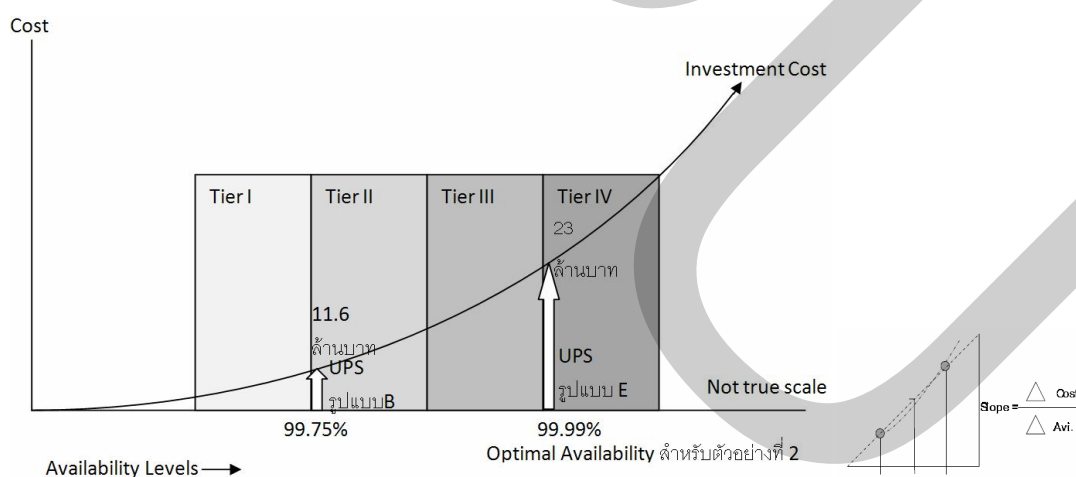
กรณีพิจารณาเฉพาะในส่วนรูปแบบของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ที่ขนาดพิกัด 600 เควีเอ จากผลการศึกษา

UPS รูปแบบ B N+1 (Tier II) การลงทุนประมาณ 11.6 ล้านบาท

UPS รูปแบบ E 2N (Tier IV) การลงทุนประมาณ 23 ล้านบาท

ส่วนที่ต้องลงทุนเพิ่มในการปรับปรุงระบบ  $\Delta \text{Cost} = 11.4$  ล้านบาท (เพิ่มขึ้นเท่าตัว 100 %) หรือ ต้องลงทุน UPS รูปแบบ E เป็นสองเท่าของ UPS รูปแบบ B

ข้อสรุปการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง (ตัวอย่างที่ 2)



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ของธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง (ตัวอย่างที่ 2)

- จากการพิจารณา อัตราส่วนการลงทุน  $\Delta \text{Cost} / \Delta \text{Avi}$  พบว่าการลงทุนเพิ่มจากรูปแบบ B – E การลงทุนเพิ่มสูงมาก (เป็นสองเท่า) และได้ความพร้อมและความน่าเชื่อถือของระบบเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากเช่นกันโดยสามารถลด Downtime ลงได้เป็นอย่างดี แต่จากการพิจารณาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ 1 พบว่า

ตัวอย่างที่ 1 เลือกลงทุน UPS แบบ D ลงทุน 16 ล้านบาท ได้ Availability 99.98%

ตัวอย่างที่ 2 เลือกลงทุน UPS แบบ E ลงทุนสูง 23 ล้านบาท ได้ Availability 99.99%

ตัวอย่างที่ 2 ต้องพิจารณาลงทุนสูงกว่า ตัวอย่างที่ 1 ถึง 7 ล้านบาท โดยได้ Availability เพิ่มขึ้น อีกเพียง 0.01% หรือสามารถลด Downtime ลงได้อีกเพียง 0.8 ชั่วโมง (การพิจารณาด้านอัตราส่วนการลงทุนอาจไม่คุ้มค่า)

- แต่จากการพิจารณาความคุ้มค่า (Return of Investment) แล้วพบว่า

ตัวอย่างที่ 2 เป็นศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก ดังนั้นต้นทุนความสูญเสีย (Downtime loss cost) จะสูงมาก ๆ 91 ล้านบาท/ชั่วโมง (ต้นทุนการกู้ระบบและข้อมูล ต้นทุนด้านชื่อเสียง ภาพลักษณ์ และความเชื่อมั่นของลูกค้า) ซึ่งเทียบกับเงินลงทุนในรูปแบบ E 23 ล้านบาท (ถึงแม้ว่าได้ Availability เพิ่มขึ้นอีกเพียงเล็กน้อย) จากการเปรียบเทียบความคุ้มค่า ก็ยังมีความคุ้มค่า เนื่องจากเป็นประเภทธุรกิจที่ต้องการเลือกระบบที่สามารถให้ Availability ได้สูงที่สุด

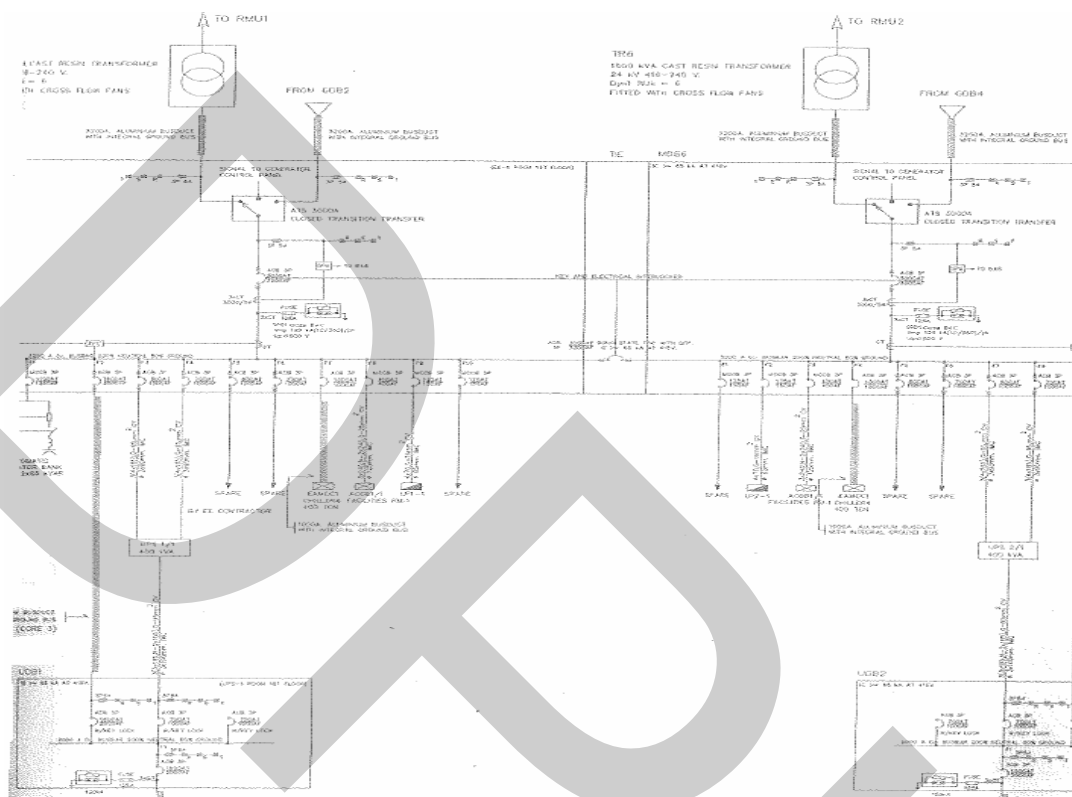
- จากผลการศึกษา ระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) รูปแบบ E มีคุณสมบัติพิเศษที่ควรพิจารณาประกอบในการเลือกลงทุน มีดังนี้

1. รูปแบบ E สามารถเข้าถึงการบำรุงรักษาได้อย่างสะดวก และความเสี่ยงน้อยมาก โดยยังสามารถใช้งานและจ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง ด้วยหลักการเป็นแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าสำรอง 2 แหล่งจ่าย สามารถปิดทำการบำรุงรักษาได้ ทีละ 1 ข้างได้ จึงไม่เกิดความเสี่ยงใดๆ ในการเข้าถึงการบำรุงรักษา

2. รูปแบบ E สามารถเพิ่มการขยายพิกัดกำลังไฟฟ้า สำหรับใช้งานในอนาคตได้สะดวกที่สุดด้วยการ สร้างระบบ UPS ทีละคู่เข้าไปในระบบ และสามารถใช้งานได้ทันที

- ตัวอย่างที่ 2 เลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) รูปแบบ E มีความเหมาะสม (มาตรฐาน Tier IV)

## รูปวงจรไฟฟ้า UPS รูปแบบ E 2(N) ของศูนย์คอมพิวเตอร์หลัก ธนาคารมีชื่อเสียงแห่งหนึ่ง



รูปที่ 4.6 วงจรระบบไฟฟ้า Single line diagram (ตัวอย่างที่ 2)

## บทที่ 5

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษา

จากประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ที่ใช้ในการสำรองกำลังไฟฟ้าให้กับอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ ซึ่งประสบปัญหาด้านการบริหารจัดการระบบดังกล่าว ตัวอย่างเช่น

1. เครื่องเดิมเป็นระบบที่ไม่มีเครื่องสำรองและเมื่อเกิดอุบัติเหตุอุปกรณ์อะไหล่ชำรุดต้องปิดทำการซ่อมเป็นระยะเวลานานเกิดความสูญเสียเป็นอย่างมาก และจากการที่ในระบบไม่มีเครื่องสำรองการเข้าบำรุงรักษาทำได้ยากต้องทำการเดินเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรองและขายพาสระบบ ซึ่งเกิดความเสียด้านรายได้ต่อระบบคอมพิวเตอร์ที่ต้องสำรองกำลังไฟฟ้าให้อย่างต่อเนื่อง

2. ระบบไฟฟ้าสำรอง เครื่องเดิมเทคโนโลยียังไม่ทันสมัย ระหว่างใช้งานเกิด ฮาร์โมนิกขึ้นมารบกวนในระบบไฟฟ้าขององค์กรทำให้เกิดสถานะใช้งานเกินพิกัด (Over load) ได้ในบางครั้ง

3. การกำหนดรูปแบบและขนาดพิกัดระบบไฟฟ้าสำรอง ต้องดำเนินการกำหนดออกแบบด้วยข้อมูลในขณะนั้น ขณะเดียวกันระบบคอมพิวเตอร์ มีการพัฒนาเปลี่ยนรูปแบบไปอย่างรวดเร็วมากมีการใช้งานกำลังไฟฟ้าต่อพื้นที่สูงขึ้นมาก ซึ่งหากไม่ได้มีการพิจารณาเลือกระบบที่สามารถขยายพิกัดกำลังไฟฟ้าได้อย่างสะดวกในอนาคต จะเกิดปัญหาการใช้งานเต็มพิกัดของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) อย่างรวดเร็วและหากไม่สามารถขยายพิกัดของระบบออกไปได้ ทำให้ธุรกิจไม่สามารถดำเนินการต่อไปได้อย่างต่อเนื่องและเสียโอกาสทางธุรกิจ เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่าระบบไฟฟ้าสำรอง นั้นยังเป็นอุปกรณ์และระบบไฟฟ้าที่ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่อยู่ตลอดเวลา (เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์ มีการพัฒนารุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว) ความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีและการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าสำรอง ยังอยู่ในขั้นตอนการเผยแพร่และถ่ายทอดประสบการณ์ จากผู้วิจัยและผู้ผลิต ผู้ออกแบบสำหรับอาคาร

ศูนย์คอมพิวเตอร์ โดยมีการถ่ายทอดเทคโนโลยีและประสบการณ์ไปยังหน่วยงานผู้ให้บริการ และจากการที่ระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) เป็นอุปกรณ์งานระบบวิศวกรรมประกอบอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์ที่มีต้นทุนการลงทุนสูงมากดังนั้นในฐานะผู้บริโภคผู้ใช้บริการ (User) ที่ต้องทำงานเกี่ยวเนื่องร่วมกับระบบดังกล่าว ทั้งการพิจารณาเลือกระบบให้เหมาะสม การวางแผนการบำรุงรักษา การวางแผนขยายพิกัดกำลังไฟฟ้า จึงต้องมีการเรียนรู้เทคโนโลยีและรับการถ่ายทอดประสบการณ์ (Best Practice) จากตำราและเอกสารต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการบริหารจัดการระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) อีกทั้งการพิจารณาลงทุนและการเลือกระบบได้อย่างเหมาะสม

ด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า (Power Quality) พบว่าเป็นคุณสมบัติพื้นฐานประจำเครื่องสำรองไฟฟ้า (ยูพีเอส) รุ่นใหม่ๆทุกเครื่อง โดยในอดีตระบบไฟฟ้าจากการไฟฟ้าฯ รูปคลื่นแรงดันไฟฟ้าเสถียรภาพยังไม่ดีเพียงพอ และอุปกรณ์เพาเวอร์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ซึ่งผลิตฮาร์โมนิกและสัญญาณออกมารบกวนแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เครื่องสำรองไฟฟ้า (ยูพีเอส) จึงมีหน้าที่ในการปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าด้วยอีกหน้าที่หนึ่ง นอกจากหน้าที่สำรองกำลังไฟฟ้าซึ่งจะเหมาะสมมากสำหรับอุปกรณ์ ที่ต้องการแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้าที่มีความเสถียรภาพและสะอาด (Clean Power) เช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ระบบควบคุมคอนโทรลและคอมพิวเตอร์ต่างๆ เป็นต้น

ด้านความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบ ผลจากการศึกษาพบว่าต้นทุนที่มีความสำคัญมากขององค์กร นอกจากทุนที่เป็นเม็ดเงินสำหรับใช้ลงทุน แล้วก็คือต้นทุนจากการเกิดความสูญเสีย เมื่อระบบเกิดการหยุดทำงาน (ระบบล่ม หรือ Downtime) ทั้งด้านค่าใช้จ่ายการแก้ไขกู้ระบบและการกู้ข้อมูลแล้ว รวมไปถึงด้านการผิณคสัญญานซึ่งมีค่าปรับเป็นต้นทุน นอกจากนี้ต้นทุนด้านชื่อเสียงและภาพลักษณ์ที่ดี ทุนด้านความไว้วางใจจากลูกค้า ที่องค์กรสร้างสมมานานอาจเกิดความสูญเสียได้หากเกิด Downtime ซึ่งจะสูงมาก - น้อย ขึ้นอยู่กับประเภทและการดำเนินการทางธุรกิจซึ่งแต่ละองค์กรแตกต่างกัน ตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาควบคุม Downtime ก็คือ ค่าความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบนั่นเอง ระบบไฟฟ้าสำรอง ที่ดีๆได้ทำการปรับปรุงรูปแบบการต่อวงจรในด้านต่างๆ เป้าหมายหลักก็คือการเพิ่มความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบให้ดียิ่งขึ้น ด้วยการไปปรับแก้ปัญหาของระบบไฟฟ้าสำรองในด้านต่างๆ เช่น

- แก้ไขการที่มีวงจรติดตั้งและทำงานในระบบเพียงด้านเดียว (Single Point of Failure)

- แก้ไขการที่ไม่มีเครื่องสำรองในระบบแบบ (N+1) ด้วยการต่อขนานเครื่อง (Redundancy) เข้าไปและใช้งานเป็นเครื่องสำรอง (Spare) ในระบบ
- แก้ไขจุดที่เกิดความเสี่ยงต่างๆ ด้วยการสร้างระบบให้มี วงจรทางลัดเสริม (By pass) สำหรับการบำรุงรักษาและระหว่างซ่อมบำรุง
- เพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องสำรองไฟฟ้า (ยูพีเอส) โดยแก้ไขจุดที่เกิดความเสี่ยงต่างๆ สามารถควบคุมและปรับปรุงคุณภาพไฟฟ้าได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

ด้านความสามารถขยายพิกัดของระบบไฟฟ้าสำรอง (System Expansion) จากการศึกษาและประสบการณ์พบว่าการใช้งานกำลังไฟฟ้าสำรองต่อพื้นที่หรือต่อ Rack คอมพิวเตอร์พบว่ามีการใช้กำลังไฟฟ้าสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง (เนื่องจากระบบคอมพิวเตอร์มีการพัฒนารุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว) และจะถึงจุดที่ใช้งานระบบไฟฟ้าสำรอง เต็มพิกัดในระยะเวลาอันใกล้ซึ่งทำให้เกิดความไม่เสถียรและเสี่ยงต่อการเกิดการใช้งานเกินพิกัด (Over load) ได้จึงเป็นปัญหาสำคัญ ในการเลือกลงทุนในระบบว่าจะเลือกหรือสำรองพิกัดกำลังไฟฟ้าสำรองไว้ที่ขนาดเท่าไร จึงจะเหมาะสม และเพื่อเป็นทางออกที่เหมาะสมจึงควรพิจารณาเลือกลงทุนในระบบไฟฟ้าสำรองที่สามารถขยายพิกัดได้ในอนาคตอย่างสะดวก ปลอดภัยและไม่เกิดความเสี่ยง โดยไม่ต้องเปลี่ยนเครื่องหรือลงทุนใหม่ทั้งระบบ ตัวอย่างเช่น ศูนย์คอมพิวเตอร์แห่งหนึ่งมีพื้นที่เหลือสำหรับให้บริการและมีลูกค้าสนใจต้องการเช่าพื้นที่สำหรับติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์ ซึ่งคิดค่าให้บริการต่อตารางเมตรแพงมาก แต่จากการพิจารณาแล้วต้องสำรองกำลังไฟฟ้าไว้ใช้สำหรับองค์กรเองจึงไม่สามารถให้บริการได้ ณ ขณะนั้น และมีการใช้งานกำลังไฟฟ้าสำรองต่อจากนั้น สำรองให้กับห้องเครื่องคอมพิวเตอร์จนถึงจุดที่ใช้งานเต็มพิกัด(ประมาณ 80% ของพิกัดเครื่อง) ในปัจจุบันจึงได้พิจารณาทำการแก้ไขด้วยการปรับเปลี่ยนรูปแบบระบบไฟฟ้าสำรองเป็นรูปแบบใหม่ ด้วยขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าสำรองขนาดใหญ่ขึ้นและสามารถขยายพิกัดกำลังไฟฟ้าเพิ่มเติมได้ในอนาคต (จากตัวอย่างที่ 1 ในบทที่ 4 UPS รูปแบบ D) ปัจจุบันมีลูกค้าเข้าใช้บริการถึง 3 หน่วยงาน การเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ที่มีขนาดพิกัดไม่เหมาะสมและไม่สามารถขยายพิกัดได้ในอนาคต ซึ่งอาจทำให้การดำเนินการทางธุรกิจเป็นไปอย่างสะดุดไม่ต่อเนื่อง (Business continuity plan) และเกิดการเสียโอกาสทางธุรกิจเป็นต้น

ด้านการลงทุน (Investment) การพิจารณาเลือกลงทุนระบบไฟฟ้าสำรอง ต้องอาศัยข้อมูลหลายๆ ด้านประกอบกันพิจารณา ทั้งจากผู้วิจัยและผู้ผลิต จากการถ่ายทอดประสบการณ์ (Best Practice) จากองค์กรที่ทำงานวิจัยด้านที่เกี่ยวข้องด้านนี้ จากหน่วยงานหรือองค์กรที่มีประสบการณ์ และจากข้อมูลในการนำมาใช้พิจารณาในการลงทุน ก็คือต้นทุนด้านต่างๆ ทั้งหมดนั่นเอง

- การลงทุนของศูนย์คอมพิวเตอร์ ประกอบไปด้วย 1.การก่อสร้างอาคาร และห้องคอมพิวเตอร์ต่างๆ 2.การก่อสร้างและติดตั้งระบบสาธารณูปโภคเพื่อรองรับสำหรับห้องคอมพิวเตอร์และกำลังไฟฟ้าสำรองในอนาคต 3. ค่าใช้จ่ายดำเนินการ ค่าใช้จ่ายบำรุงรักษาและซ่อมบำรุง รวมทั้งค่าใช้จ่ายสาธารณูปโภค

- มูลค่าความสูญเสียต่อชั่วโมง (Downtime loss cost) ขึ้นอยู่กับประเภทและการดำเนินการทางธุรกิจที่แตกต่างกัน องค์กรขนาดใหญ่มีชื่อเสียงและภาพลักษณ์ที่ดี หากเกิด Downtime ย่อมมีมูลค่าความสูญเสียสูงกว่าองค์กรขนาดเล็ก

- ตัวอย่างต้นทุนความสูญเสียหากเกิด Downtime

1. หากเซิร์ฟเวอร์คอมพิวเตอร์ล่ม ใช้งานไม่ได้ 1 MB / 1 Baht ประมาณ 30,000 บาทต่อวัน CAT Telecom ธนัท สัตยภิวัฒน์ (2547)

2. ระบบไฟฟ้าสำรองล่ม ในยุโรป ธุรกิจโทรศัพท์มือถือ 2 ล้านบาท/ชั่วโมง ธุรกิจจองตั๋วเครื่องบิน 4.5 ล้านบาท/ชั่วโมง ธุรกิจบัตรเครดิตออนไลน์ 125 ล้านบาท/ชั่วโมง ธุรกิจประกอบรถยนต์ 300 ล้านบาท/ชั่วโมง ตลาดหุ้นออนไลน์ 325 ล้านบาท/ชั่วโมง (1 Euro = 50 บาท) Uninterruptible Power Supplies European Guide CEMEP (2007)

3. ในอเมริกา ธุรกิจโบรกเกอร์ตลาดหุ้น 225 ล้านบาท/ชั่วโมง ธุรกิจธนาคาร (ออนไลน์) 91 ล้านบาท/ชั่วโมง ธุรกิจโทรศัพท์มือถือ 1.5 ล้านบาท/ชั่วโมง Web site Ebay 8 ล้านบาท/ชั่วโมง Web site Amazon 6.3 ล้านบาท/ชั่วโมง ( 1 \$ = 35 บาท ) An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs มนตรี วิญญ์รัตน์ (2550)

จากการศึกษาพบว่าทุกๆบริษัท/องค์กรให้ความสำคัญระดับสูงของต้นทุนความสูญเสียในการนำมาพิจารณาเลือกรูปแบบของต้นทุนจากการเกิด Downtime หรือ (Downtime loss cost) เป็นต้นทุนที่ประมาณการความสูญเสียต่อชั่วโมงเป็นตัวเลขที่แน่นอนได้ยาก เนื่องจากมี

สองส่วนประกอบกันคือ 1. ต้นทุนความสูญเสียที่เป็นรูปธรรม เช่นค่าใช้จ่ายการแก้ไขระบบและกู้ข้อมูล ค่าใช้จ่ายดำเนินการ ค่าใช้จ่ายค่าแรงงานและค่าผิคนัดสัญญา 2. ต้นทุนความสูญเสียที่เป็นนามธรรม เช่น ชื่อเสียงและภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร ความเชื่อถือและไว้วางใจจากลูกค้า ซึ่งประมาณการเป็นมูลค่าได้ยากและแต่ละองค์กรก็ไม่มีประสบการณ์กับเหตุ Downtime ดังกล่าว จึงต้องอาศัยข้อมูลตัวอย่างจากองค์กรประเภทธุรกิจเดียวกัน ข้อมูลจากองค์กรที่ทำวิจัยและพัฒนา ระบบไฟฟ้าสำรอง ข้อมูลจากองค์กรหรือหน่วยงานที่มีประสบการณ์ (Best Practice) ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาใช้อ้างอิงใช้เป็นต้นทุนความสูญเสีย (Downtime loss cost) เพื่อนำไปพิจารณาในส่วนแนวทางการเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) สำหรับแต่ละองค์กรได้อย่างเหมาะสม โดยอาศัยหลักการพิจารณาดังนี้

- พิจารณาประเภทและการดำเนินการทางธุรกิจขององค์กรอย่างเข้าใจ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาต้นทุนได้อย่างถูกต้อง (เช่นองค์กรที่มีการปิดทำการในวันหยุด หรือองค์กรที่ต้องปฏิบัติงานระบบตลอด 24 ชั่วโมง ย่อมมีการพิจารณาด้านทุนต่างกัน)
- พิจารณาค่าต้นทุนจากการเกิด Downtime หรือ (Downtime loss cost) จากประเภทและการดำเนินการทางธุรกิจขององค์กร
- พิจารณาค่าต้นทุนการดำเนินการ และการบำรุงรักษา (Operation and Maintenance cost)
- ทดลองเลือกรูปแบบการต่อวงจรไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) (Component configuration) ตัวอย่างเช่น UPS รูปแบบ A, B, C, D, E และใช้ Reliability Block Diagram(RBD) simulation ด้วยรูปแบบการต่ออนุกรมและขนาน (Redundancy) ของอุปกรณ์ ซึ่งจะช่วยให้ทราบถึงความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือ (System Availability) และต้นทุนการลงทุนของในแต่ละรูปแบบวงจรไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) แต่ละรูปแบบที่เลือก
- พิจารณาและให้เหตุผลในการพิจารณาความพร้อมใช้งานและระดับความน่าเชื่อถือ (Availability) ของระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ที่เป็นเป้าหมาย (Target) ขององค์กร โดยองค์กรที่ขนาดใหญ่มีชื่อเสียง ภาพลักษณ์ดี และดำเนินการธุรกิจให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง ต้องพิจารณาที่ระดับ (Availability) ที่เป็นเป้าหมาย (Target) สูงกว่าองค์กรที่มีขนาดเล็กและไม่ได้เปิดให้บริการตลอด 24 ชั่วโมง เป็นต้น

- พิจารณาคำนวณการดำเนินการประกอบด้วย (Operation and Maintenance running cost)

นำข้อมูลเหล่านี้มาประมวลผลด้วยการพิจารณาความคุ้มค่า  $\Delta \text{Cost} / \Delta \text{Availability}$  และความคุ้มค่า (Return of Investment)

$$ROI = \frac{\text{Benefits}(\text{Downtimes Costs}) - \text{Investment Costs}}{\text{Investment Costs}}$$

โดยพิจารณาคำนวณทั้งหมด ลำดับความสำคัญและขนาดของวิกฤตเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น พร้อมกับพิจารณาความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบ (System Availability and Reliability) ที่เป็นเป้าหมาย (Target) ขององค์กร เทียบกับผลชดเชยที่ได้รับ (Compensate) กับกรณีการเกิด Downtime Cost

ถ้าระบบที่เลือกมีต้นทุนการลงทุนสูงระดับหนึ่ง ได้รับความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบ สูงระดับหนึ่งตามเป้าหมายขององค์กร และสามารถชดเชยหรือเป็นการป้องกันการเกิด Downtime (ซึ่งมี Downtime cost สูงระดับหนึ่ง) ได้เป็นอย่างดีและพอเหมาะ การลงทุนเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) รูปแบบนั้นจึงมีความเหมาะสม

จากผลการศึกษา สามารถสรุปแนวทางการเลือกรูปแบบ UPS ที่เหมาะสมได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5.1 สรุปแนวทางการเลือกรูปแบบ UPS

| ข้อพิจารณา<br>คุณสมบัติ     | รูปแบบ UPS |   |   |   |   |
|-----------------------------|------------|---|---|---|---|
|                             | A          | B | C | D | E |
| ต้องการ Availability สูงสุด |            |   |   |   | ✓ |
| ต้องการ ระบบที่ได้ Tier IV  |            |   |   |   | ✓ |
| ต้องการ ระบบที่ได้ Tier III |            |   | ✓ | ✓ |   |

ตารางที่ 5.1 (ต่อ)

| ข้อพิจารณา<br>คุณสมบัติ                                                                                                                          | รูปแบบ UPS |   |   |   |   |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|---|---|---|---|
|                                                                                                                                                  | A          | B | C | D | E |
| ความมีเสถียรภาพของระบบดี                                                                                                                         |            |   |   | ✓ | ✓ |
| มีความสะดวกและปลอดภัยใน<br>การเข้าซ่อมบำรุงรักษา                                                                                                 |            |   | ✓ | ✓ | ✓ |
| มีความสะดวกในการขยายพิกัด<br>เครื่อง (Expansion) ด้วยการต่อ<br>ขนานเครื่อง (Redundancy)                                                          |            | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| การลงทุนไม่สูงมาก สามารถ<br>ขยายพิกัดเครื่องได้พอสมควร<br>(Redundancy) การเข้าถึงการ<br>ซ่อมบำรุงก่อนข้างยากและม<br>ีความเสี่ยงพอสมควร (Tier II) |            | ✓ |   |   |   |
| ใช้งานง่าย การลงทุนไม่สูง<br>ต้องการ Availability และ Tier<br>ไม่สูงมาก (Tier I)                                                                 | ✓          |   |   |   |   |

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

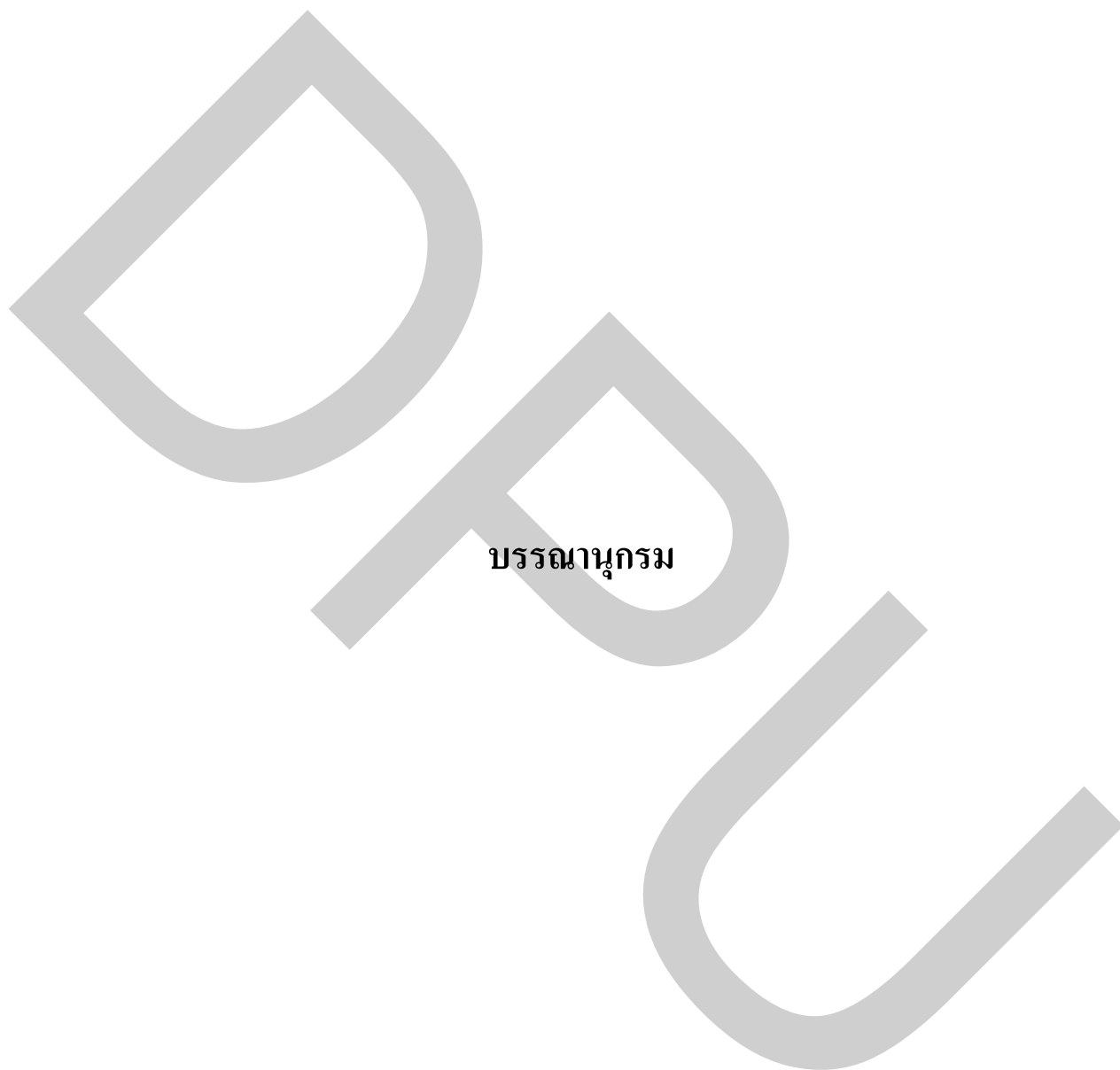
จากการศึกษา เราสามารถใช้ข้อมูลการเปรียบเทียบและการพิจารณาต้นทุนต่างๆมาพิจารณาเพื่อเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ในรูปแบบที่เหมาะสมของแต่ละองค์กรได้ ข้อที่เป็นประโยชน์นอกเหนือจากการเลือกระบบได้อย่างเหมาะสมแล้ว ได้แก่ 1. สามารถนำไปใช้ในการพิจารณาด้านการประกันภัย (Insurance) 2. ใช้ในนโยบายการบริหารความเสี่ยง (Risk tolerance) 3. ใช้ในการพิจารณาค่าปรับเนื่องจากการผิดนัดสัญญา 4. ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขการให้บริการ (Service Level Agreement) เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการศึกษาเพิ่มเติม เนื่องจากระบบไฟฟ้าสำรอง (ยูพีเอส) ยังเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ มีการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบตลอดเวลา ดังนั้นในการที่ต้องพิจารณาเลือกระบบจะต้องพิจารณาจากข้อมูลทุกด้านและต้องสอบถามทุกประเด็นจากผู้ให้บริการหลายบริษัท

เนื่องจากหากได้ข้อมูลผิดพลาดทำให้การเลือกระบบต้องลงทุนสูงเกินความจำเป็น หรือหากเลือกระบบไม่ยืดหยุ่นพอไม่สามารถขยายฟังก์ชันของระบบได้ก็อาจเกิดการเสียโอกาสทางธุรกิจ จึงต้องมีการระดมความคิดเห็นจากหลายๆหน่วยงานขององค์กรและต้องมองเห็นถึงแผนการณ์ขององค์กรในอนาคตอย่างชัดเจนจึงจะสามารถพิจารณาเลือกลงทุนได้อย่างเหมาะสม การศึกษาครั้งนี้เป็นการมุ่งเน้นไปในเทคโนโลยีอาคารที่เป็นอาคารศูนย์คอมพิวเตอร์เพียงประเภทเดียว จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในหัวข้อหรือเทคโนโลยีอื่นๆ ดังนี้

1. ทำการศึกษาในส่วนเทคโนโลยีอาคารในประเภทอื่นๆ เช่น หน่วยงานขนาดเล็ก หรือระดับการใช้งานในบ้านพักอาศัย อาคารที่เป็นโรงงานขนาดเล็ก-ขนาดใหญ่ อาคารที่เป็นห้างสรรพสินค้า หรือ อาคารที่เป็นศูนย์วิจัยทางวิทยาศาสตร์ที่ห้ามมีข้อบกพร่องต่างๆ เกิดขึ้นระหว่างทำการวิจัย อาคารเหล่านี้มีข้อพิจารณาเลือกระบบไฟฟ้าสำรอง อย่างไรที่เหมาะสมสำหรับองค์กร

2. ข้อมูลจากการศึกษาพบว่าการออกแบบและพัฒนารูปแบบของระบบไฟฟ้าสำรองเพื่อปรับปรุงความพร้อมใช้งานและความน่าเชื่อถือของระบบ (Availability) ให้สูงมากยิ่งขึ้นสามารถทำได้ถึง 99.9999% หรือเกือบจะไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ เกิดขึ้นในระบบเลย และจากการศึกษาได้ข้อมูลว่าการพัฒนารูปแบบของระบบสำหรับมาตรฐานศูนย์คอมพิวเตอร์มีการพัฒนาจาก มาตรฐาน Tier IV สูงไปถึงมาตรฐาน Tier V แล้ว จึงเป็นที่น่าทำการศึกษาต่อว่าทำไมอาคารเหล่านี้จึงต้องทำการเลือกระบบที่มีค่ามาตรฐานสูงขนาดนั้น การลงทุนเป็นเช่นไรและมีเทคโนโลยีอาคารเป็นอย่างไร เป็นต้น



บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

#### หนังสือ

สมภพ ตลับแก้ว. (ม.ป.พ). เอกสารประกอบการสอนวิชา **Introduction to Maintenance & Reliability**. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

#### สารสนเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

ลักษณะ กิจการักษ์. เรื่องน่ารู้ต่างๆ เกี่ยวกับคุณภาพไฟฟ้า. สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2552, จาก

[http://www.ee.mut.ac.th/home/peerapol/semi\\_6.htm](http://www.ee.mut.ac.th/home/peerapol/semi_6.htm)

Reliability and Availability 2 ปัจจัยหลักเพื่อเดินระบบ Automation อย่างมีประสิทธิภาพ.

สืบค้นเมื่อ 1 กุมภาพันธ์ 2552 จาก [http://www.9engineer.com/au\\_main/Reliability%20and%20Availability\\_2004\\_2.pdf](http://www.9engineer.com/au_main/Reliability%20and%20Availability_2004_2.pdf)

ชนันต์ สัตยกิจวัฒน์. สัมมนา Security Awareness Training บริษัท CAT Telecom. สืบค้นเมื่อ 1

กุมภาพันธ์ 2552, จาก <http://catadmin.cattelcom.com/training/SiminarDoc/>

### ภาษาต่างประเทศ

## ARTICLES

Montri Wiboonrat. (2008A). "An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs".

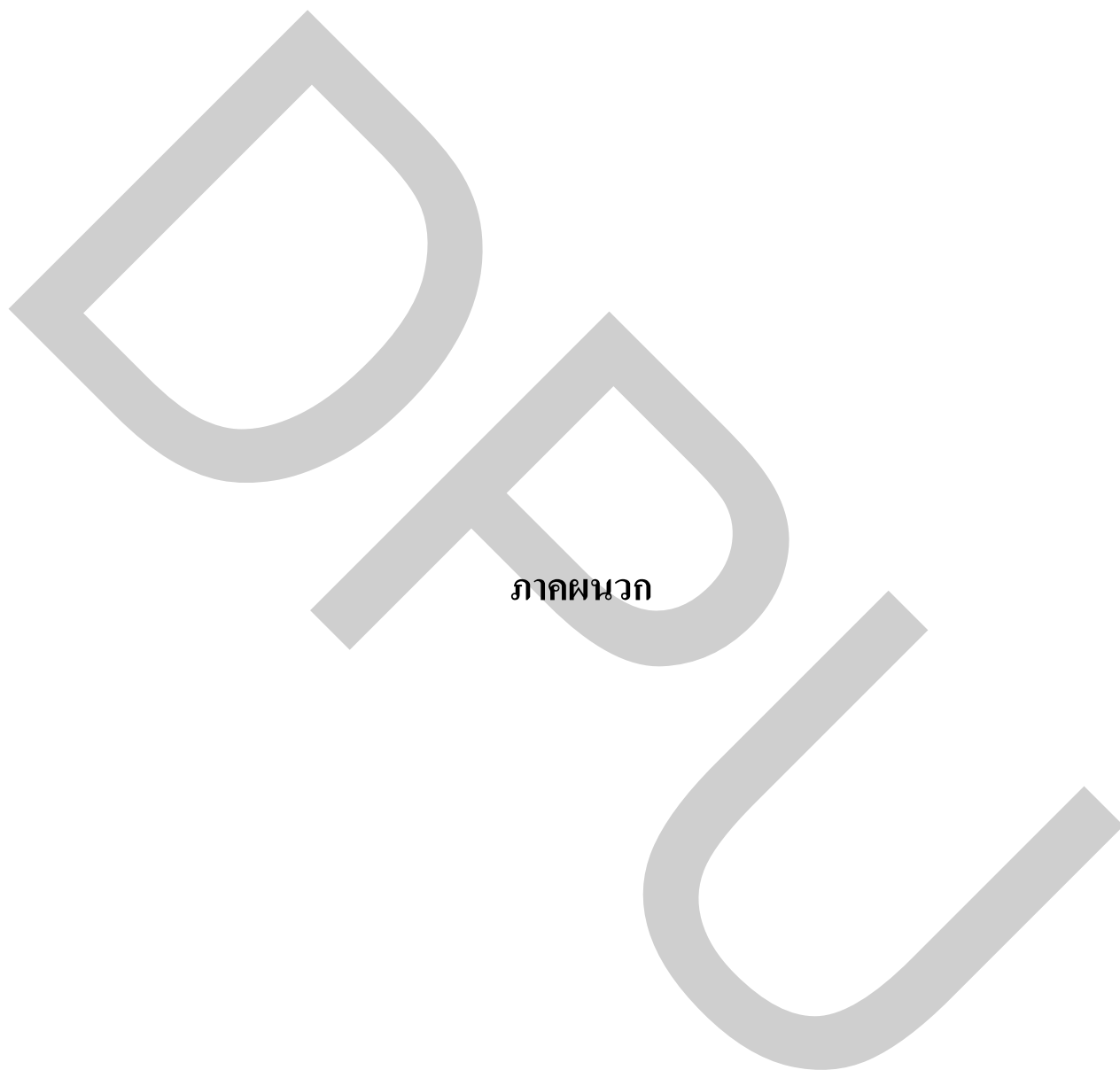
SNPD. p712-719.

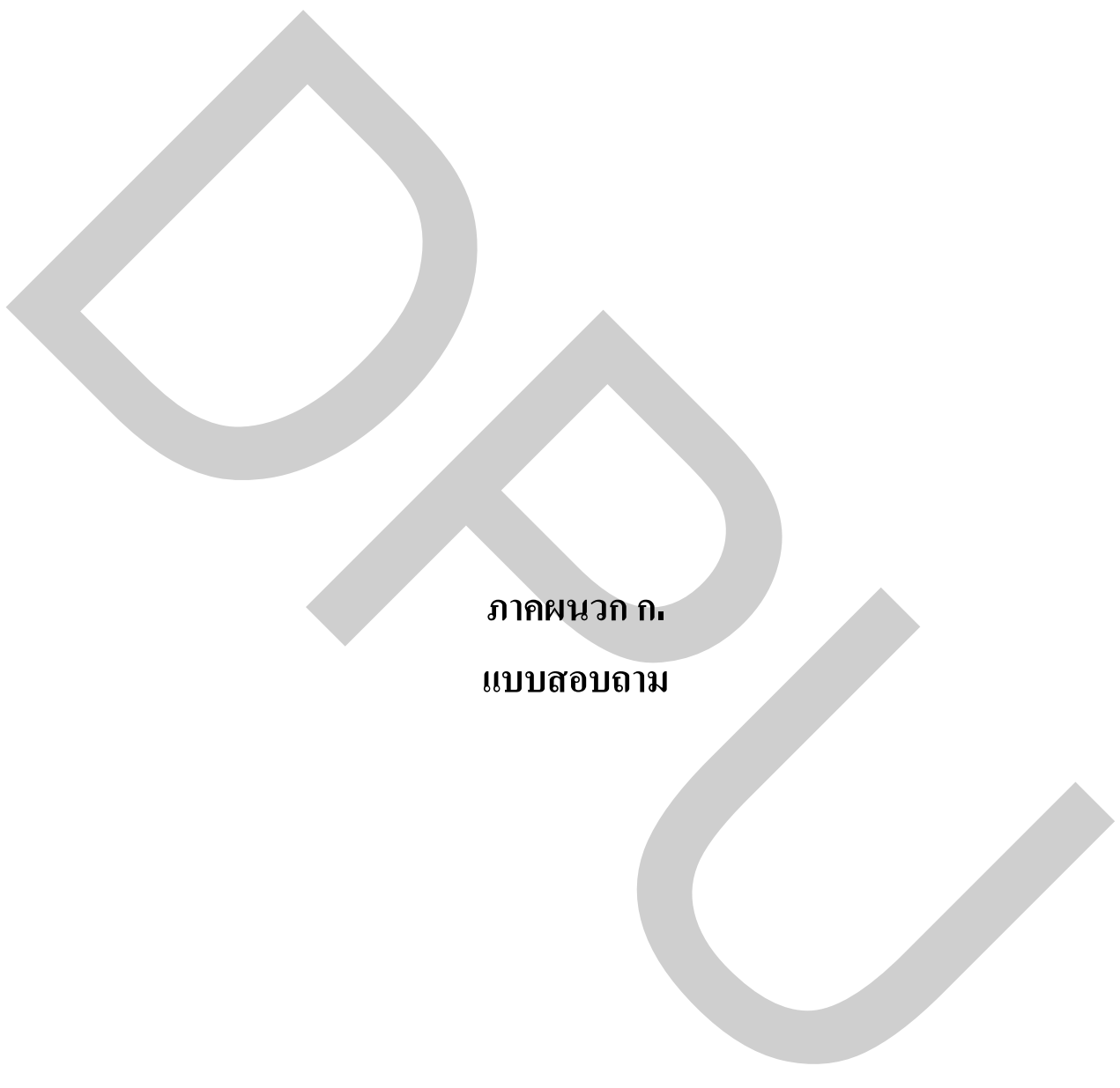
\_\_\_\_\_. (2008B). "An Empirical Study on Data Center System Failure Diagnosis". **icimp**, p.103-108.

W. Pitt Turner, John H. Seader, and Kenneth G.Brill. "Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance". **White Paper The Uptime Institute's**. p1-17.

Kevin McCarthy. (2005) "Comparing UPS System Design Configurations". **White Paper #75**. American Power Conversion Corp.

European Committee of Manufacturers of Electrical Machines and Power Electronics. (2006). "Uninterruptible Power Supplies European Guide 2007" **CEMEP**.





**ภาคผนวก ก.**

**แบบสอบถาม**

### แบบสอบถาม

#### ฉบับ ผู้ใช้บริการ (User) ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส)

##### คำชี้แจง

แบบสอบถามฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยธุรกิจ บัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร ผู้วิจัยใคร่ขอความร่วมมือในการตอบ แบบสอบถามตามความเป็นจริง ตามหลักวิชาการ ตามมาตรฐานและความเข้าใจขององค์กรของท่าน ในการเลือกใช้งาน ระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) โดยเลือกรูปแบบ แบบที่มีความ น่าเชื่อถือของระบบสูง คือ การต่อวงจรแบบขนานและมีเครื่องสำรองในระบบ (Parallel System, UPS N+1) โดยมุ่งศึกษาถึงข้อพิจารณาในคุณสมบัติและความเหมาะสมด้านต่าง ๆ ข้อคำนึงถึง ข้อ ระวังและให้ความสำคัญเป็นพิเศษ ต่อการเลือกใช้งานระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (ยูพีเอส) สำหรับองค์กรของท่าน โดยมีรายละเอียดของคำถามดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ข้อพิจารณาในคุณสมบัติและความเหมาะสมด้านต่าง ๆ ข้อคำนึงถึง ข้อ ระวังและให้ความสำคัญเป็นพิเศษ ข้อพิจารณาอันมีผลกระทบต่อ หน่วยงาน/บริษัท/และ องค์กร ของท่าน

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพทั่วไป

ส่วนที่ 1 ข้อมูลสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

ส่วนที่ 2 ข้อมูลสถานภาพของหน่วยงาน/บริษัท/องค์กร

กรุณาตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริง ข้อมูลที่ได้จะถือเป็นความลับและนำไปใช้ เพื่อการศึกษาวิจัยเท่านั้น

ตอนที่ 1 ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับ ข้อพิจารณาในคุณสมบัติและความเหมาะสมด้านต่างๆ ข้อคำนึงถึง ข้อระมัดระวังและให้ความสำคัญเป็นพิเศษ ข้อพิจารณาอันมีผลกระทบต่อ หน่วยงาน/บริษัท/องค์กร ของท่าน

คำชี้แจง โปรดพิจารณา ระดับการให้ความสำคัญ คุณลักษณะต่างๆ อันมีผลกระทบต่อ หน่วยงาน/บริษัท/องค์กร ของท่าน แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่องว่างที่ตรงกับระดับการให้ความสำคัญขององค์กรของท่านมากที่สุด

| คุณลักษณะ                                                                                                                                  | ระดับการให้ความสำคัญ |     |         |      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|---------|------|------------|
|                                                                                                                                            | มากที่สุด            | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| <b>ด้านการจัดการ ควบคุมดูแลและซ่อมบำรุงระบบ UPS</b>                                                                                        |                      |     |         |      |            |
| 1. การตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบประจำวัน                                                                                                      |                      |     |         |      |            |
| 2. การตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบประจำสัปดาห์ มีการเดินเครื่องระบบเพื่อทดสอบและตรวจสอบ                                                         |                      |     |         |      |            |
| 3. การตรวจสอบและซ่อมบำรุงระบบประจำเดือน                                                                                                    |                      |     |         |      |            |
| 4. การให้มีการตรวจสอบซ่อมบำรุงแบบป้องกันล่วงหน้า (Preventive Maintenance)                                                                  |                      |     |         |      |            |
| 5. การทำสัญญาซ่อมบำรุงโดยมีการให้บริการซ่อมฉุกเฉิน (Corrective Maintenance แบบ 5 วัน x 8 ชั่วโมง)                                          |                      |     |         |      |            |
| 6. การทำสัญญาซ่อมบำรุงโดยมีการให้บริการซ่อมฉุกเฉิน (Corrective Maintenance แบบ 7 วัน x 24 ชั่วโมง)                                         |                      |     |         |      |            |
| 7. การทำสัญญาซ่อมบำรุงแบบรวมอะไหล่ ทั้งหมด                                                                                                 |                      |     |         |      |            |
| 8. การเลือกระบบ UPS แบบที่มีการต่อขนานเครื่องและมีเครื่องสำรองในระบบ(N+1) และระบบมีเสถียรภาพความน่าเชื่อถือสูง(Reliability)                |                      |     |         |      |            |
| 9. การเลือกระบบ UPS แบบที่สามารถ เข้าถึงการซ่อมบำรุงได้สะดวกและมีความเสี่ยงต่ออุบัติเหตุต่ำ (โดยยังสามารถ จ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง) |                      |     |         |      |            |
| 10. การเลือกระบบ UPS แบบที่สามารถติดตั้งเครื่องUPS เพิ่มและขยายขนาดพิกัดกำลังไฟฟ้าUPS ได้ โดยไม่ต้องเลือกลงทุนติดตั้งระบบ UPS ใหม่ทั้งระบบ |                      |     |         |      |            |
| 11. มีระบบแจ้งเตือน Warning Alarm ทางจอมอนิเตอร์                                                                                           |                      |     |         |      |            |

| คุณลักษณะ                                                                       | ระดับการให้ความสำคัญ |     |         |      |            |
|---------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|---------|------|------------|
|                                                                                 | มากที่สุด            | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| 12. มีระบบแจ้งเตือน Warning Alarm ทางเสียง Buzzer Alarm                         |                      |     |         |      |            |
| 13. มีระบบแจ้งเตือน Warning Alarm ทางรีโมทระยะไกล เช่น SMS Alarm , E-mail Alarm |                      |     |         |      |            |
| 14. มีการบริหารจัดการระบบ UPS แบบระยะไกลทางเว็บ คอมพิวเตอร์                     |                      |     |         |      |            |

| คุณลักษณะ                                                                                                                                                                                                                                              | ระดับการให้ความสำคัญ |     |         |      |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|---------|------|------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                        | มากที่สุด            | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| <b>การลงทุน</b>                                                                                                                                                                                                                                        |                      |     |         |      |            |
| 1. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ สูงหรือต่ำ (พิจารณาจากงบประมาณ)                                                                                                                                            |                      |     |         |      |            |
| 2. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาความมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือของระบบ สูงหรือต่ำ เทียบกับต้นทุนการสูญเสียหากระบบเกิดการหยุดทำงาน (Downtime loss cost)                                                                                            |                      |     |         |      |            |
| 3. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยพิจารณาความสามารถในการขยายพิกัดกำลังไฟฟ้าได้ในอนาคต                                                                                                                                                                        |                      |     |         |      |            |
| 4. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยมีโอกาสใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง (Availability) สูงเพียงพอสำหรับองค์กร และการซ่อมบำรุงมีความสะดวกปลอดภัย งบประมาณ สมเหตุสมผล และยอมรับในมาตรฐาน ประมาณ Tier 3                                                                |                      |     |         |      |            |
| 5. การเลือกลงทุนระบบ UPS โดยมีโอกาสใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง (Availability) สูงสุด(ไม่มีข้อผิดพลาด) สำหรับองค์กร และการซ่อมบำรุงมีความสะดวกปลอดภัยสูงสุด (ไม่มีจุดเสี่ยง และไม่มีข้อผิดพลาด) โดยยอมรับในการลงทุนที่สูง และต้องการได้มาตรฐานสูงสุด Tier 4 |                      |     |         |      |            |

| คุณลักษณะ                                                                                                                 | ระดับการให้ความสำคัญ |     |         |      |            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-----|---------|------|------------|
|                                                                                                                           | มากที่สุด            | มาก | ปานกลาง | น้อย | น้อยที่สุด |
| <b>การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นรูปธรรม (Tangible loss)</b><br><b>จากการเกิดการหยุดทำงานของระบบ (Downtime)</b>               |                      |     |         |      |            |
| 1. การสูญเสียด้านการเงิน (Direct financial loss) เช่น การซ่อมแซม เปลี่ยนอะไหล่ ค่าดำเนินการกู้ระบบและข้อมูล               |                      |     |         |      |            |
| 2. การสูญเสียด้านผลิต (Productivity loss) เช่น การผลิตชิ้นงานต่าง ๆ การทำธุรกรรมทางการเงิน(Transaction) การให้บริการต่างๆ |                      |     |         |      |            |
| 3. การสูญเสียด้านการวิเคราะห์ตรวจสอบสาเหตุ และการแก้ไขกู้ระบบกลับคืนมา (Investigation and recovery costs)                 |                      |     |         |      |            |
| 4. การสูญเสียด้านกฎหมาย สัญญาและการปรับที่กระทบองค์กร (Legal responsibility towards companies)                            |                      |     |         |      |            |
| <b>การจัดการทุนสูญเสียที่เป็นนามธรรม (Intangible loss)</b><br><b>จากการเกิดการหยุดทำงานของระบบ (Downtime)</b>             |                      |     |         |      |            |
| 1. การสูญเสีย ชื่อเสียงและภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร (Reputation) (Good View Corporate Image)                                |                      |     |         |      |            |
| 2. การสูญเสีย ความน่าเชื่อถือและไว้วางใจ (Reliability)                                                                    |                      |     |         |      |            |

ตอนที่ 2 ข้อมูลเกี่ยวกับสถานภาพทั่วไป

คำชี้แจง โปรดทำเครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ หรือ เติมคำลงในช่องว่าง

ส่วนที่ 1 ข้อมูลสถานภาพของผู้ตอบแบบสอบถาม

1. คุณวุฒิการศึกษา

☐ 1. ต่ำกว่าปริญญาตรี

☐ 2. ปริญญาตรี

☐ 3. ปริญญาโท

☐ 4. ปริญญาเอก

☐ 5. อื่นๆ (ระบุ).....

## 2. ตำแหน่งของผู้ตอบแบบสอบถาม

- |                                                        |                                                        |
|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. กรรมการผู้จัดการ           | <input type="checkbox"/> 2. รองกรรมการผู้จัดการ ฯ      |
| <input type="checkbox"/> 3. ผู้อำนวยการ ฯ              | <input type="checkbox"/> 4. ผู้จัดการ ฯ                |
| <input type="checkbox"/> 5. หัวหน้างาน/แผนก/Supervisor | <input type="checkbox"/> 6. วิศวกร/ช่างเทคนิค/Operator |
| <input type="checkbox"/> 7. อื่นๆ (ระบุ).....          |                                                        |

## 3. แผนก / ฝ่าย / Department

- |                                               |                                                      |
|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. การเงินและบัญชี   | <input type="checkbox"/> 2. จัดซื้อ                  |
| <input type="checkbox"/> 3. ชุมการ            | <input type="checkbox"/> 4. การตลาด                  |
| <input type="checkbox"/> 5. Operator Dept     | <input type="checkbox"/> 6. Building & Facility Dept |
| <input type="checkbox"/> 7. อื่นๆ (ระบุ)..... |                                                      |

## 4. ประสบการณ์การทำงาน

- |                                                  |                                        |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. น้อยกว่า 5 ปี        | <input type="checkbox"/> 2. 5 – 10 ปี  |
| <input type="checkbox"/> 3. 11 – 15 ปี           | <input type="checkbox"/> 4. 16 – 20 ปี |
| <input type="checkbox"/> 5. มากกว่า 20 ปี ขึ้นไป |                                        |

## 5. ประสบการณ์การทำงานเกี่ยวกับการพิจารณาบบไฟฟ้า และไฟฟ้า UPS ขององค์กร และ/หรือ การทำงานที่ต้องวางแผนพิจารณา ควบคุมเครื่องจักร หรือ คอมพิวเตอร์ มิให้เครื่องเกิดการหยุดทำงาน (Downtime)

- |                                                  |                                        |
|--------------------------------------------------|----------------------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. น้อยกว่า 3 ปี        | <input type="checkbox"/> 2. 3 – 7 ปี   |
| <input type="checkbox"/> 3. 8 – 12 ปี            | <input type="checkbox"/> 4. 13 – 15 ปี |
| <input type="checkbox"/> 5. มากกว่า 15 ปี ขึ้นไป |                                        |

## ส่วนที่ 2 ข้อมูลสถานภาพของหน่วยงาน / บริษัท / องค์กร

### 1. ประเภทกิจการของหน่วยงาน

- ☐ 1. หน่วยงานราชการ/รัฐวิสาหกิจ (ระบุ).....
- ☐ 2. การผลิต ด้าน (ระบุ).....
- ☐ 3. การให้บริการ ด้าน (ระบุ).....
- ☐ 4. การเงิน/การธนาคาร.....
- ☐ 5. อื่นๆ (ระบุ).....

### 2. หน่วยงานของท่านติดตั้งระบบไฟฟ้า หม้อแปลงไฟฟ้า (Transformer) ขนาดพิกัดเท่าใด

- ☐ 1. น้อยกว่า 100 KVA ☐ 2. 100-400 KVA
- ☐ 3. 401 – 1,000 KVA ☐ 4. 1,000 KVA
- ☐ 5. อื่นๆ (ระบุ).....

### 3. หน่วยงานของท่านติดตั้งระบบไฟฟ้า เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสำรอง (Generator) ขนาดพิกัดเท่าใด

- ☐ 1. น้อยกว่า 100 KVA ☐ 2. 100-400 KVA
- ☐ 3. 401 – 1,000 KVA ☐ 4. 1,000 KVA
- ☐ 5. อื่นๆ (ระบุ).....

### 4. หน่วยงานของท่านติดตั้งระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (UPS) ขนาดพิกัดเท่าใด

- ☐ 1. น้อยกว่า 100 KVA ☐ 2. 100-400 KVA
- ☐ 3. 401 – 1,000 KVA ☐ 4. 1,000 KVA
- ☐ 5. อื่นๆ (ระบุ).....

### 5. หน่วยงานของท่านติดตั้งระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง (UPS) รูปแบบการต่อวงจรแบบใด

- ☐ 1. เครื่องเดียวๆ ไม่มีเครื่องสำรองในระบบ (Single UPS)
- ☐ 2. ต่อวงจรแบบขนาน ไม่มีเครื่องสำรองในระบบ (Parallel Redundant UPS as N)
- ☐ 3. ต่อวงจรแบบขนานและมีเครื่องสำรองในระบบ (Parallel Redundant UPS as N+1)
- ☐ 4. อื่นๆ (ระบุ).....

.ขอขอบพระคุณอย่างสูงที่สละเวลาตอบแบบสอบถาม

### แบบสอบถาม

#### ฉบับผู้ให้บริการระบบไฟฟ้าสำรองต่อเนื่อง(ยูพีเอส)

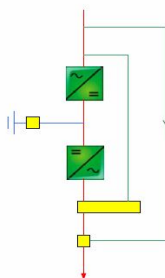
##### คำชี้แจง

แบบสอบถามฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีในอาคาร ผู้วิจัยใคร่ขอความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามตามความเป็นจริง ตามหลักวิศวกรรม ตามมาตรฐานและความเข้าใจ ของผลิตภัณฑ์ในรูปแบบการต่อวงจร ยูพีเอส แบบต่างๆ พร้อม การนำเสนอข้อมูลเพื่อผู้บริโภค (User) พิจารณาข้อดี-ข้อด้อย และความเหมาะสมของแต่ละระบบ (System) สำหรับเป็นข้อมูลไปใช้ประโยชน์เพื่อทางการศึกษาเท่านั้น

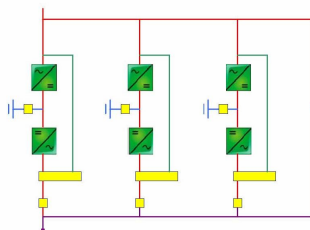
##### ข้อกำหนด

การพิจารณาในรูปแบบการต่อวงจร ยูพีเอส แบบต่างๆ เพื่อเป็นการพิจารณาบนพื้นฐานเดียวกัน จึงกำหนดให้ ทำการศึกษาระบบ ยูพีเอส ที่ พิกัดกำลังไฟฟ้าเท่ากันคือ Uninterrupted Power Supply (UPS) Out put เท่ากับ 600 KVA โดยการต่อวงจรสำรองแบบขนาน (parallel system) ให้เป็นไปในแบบป้องกันโหลดแบบเต็มรูปแบบ N plus one ( $N+1$ ; standby 1 unit) โดย  $N$ = จำนวนของเครื่องยูพีเอสในการต่อวงจร ซึ่งระบบยูพีเอส ที่จะทำการศึกษาวิจัย ได้แก่

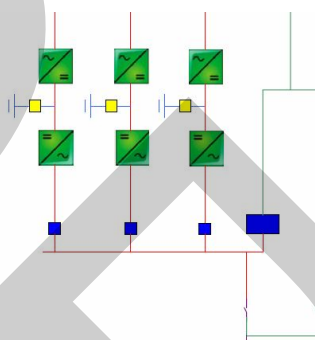
A. Single UPS (Modular) (เลือก UPS 600 KVA 1 unit as  $N$ ) (Output = 600 KVA)



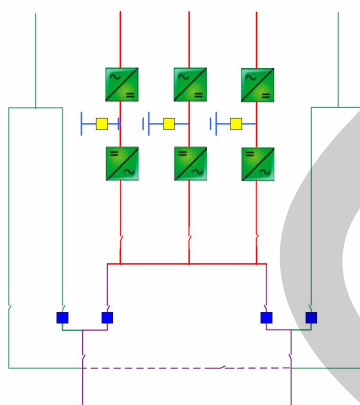
B. Active redundancy with modular UPS units(internal static bypass) (เลือกUPS 300 KVA x 3 units duty 2+standby 1 as  $N+1$ ) (Output = 600 KVA)



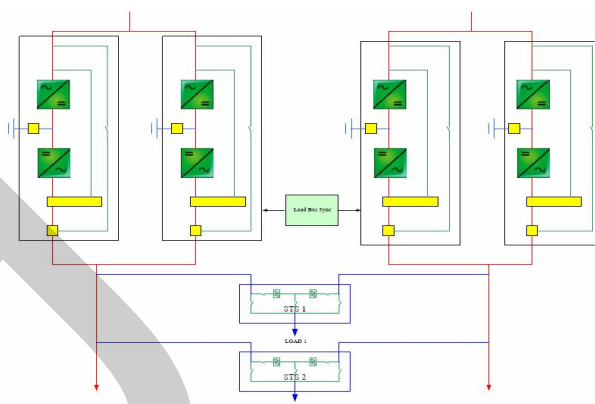
C. Active redundancy with centralized static-switch cubicle (single external static bypass) (เลือกUPS 300 KVA x 3 units duty 2+standby 1 as N+1) (Output = 600 KVA)



D. Active redundancy with double static-switch cubicle (multiple external static bypass) (เลือกUPS 300 KVA x 3 units duty 2+standby 1 as N+1) (Output = 600 KVA)



E. Redundant distribution with static transfer switch (2N) (เลือกUPS 300 KVA x 4 units Source A 2 units+ Source B 2 units as 2N) (Output = 600 KVA)



**ตอนที่ 1** คำถามเกี่ยวกับข้อมูลคุณสมบัติพื้นฐานด้านกายภาพ (Physical Characteristic) ของรูปแบบการต่อระบบ UPS แบบต่างๆ ทั้ง 5 แบบ

คำชี้แจง ให้ตอบข้อมูลในแบบสอบถาม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์

| System Connectivity Configuration<br><br>Physical & Characteristic                     | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. จำนวนเครื่อง UPS ในการต่อวงจร ที่ Output UPS =600 KVA                               |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 2. จุดเสี่ยง Single Point of Failure ด้าน Utility Input (มี หรือ ไม่มี)                |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 3. จุดเสี่ยง Single Point of Failure ด้านการ ต่อUPS แบบ Redundancy N+1 (มี หรือ ไม่มี) |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |

| System Connectivity Configuration                                                 | Physical & Characteristic |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                   | A. Single UPS (N)         | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
| 4. จุดเสี่ยง Single Point of Failure ด้าน UPS Source Power Output (มี หรือ ไม่มี) |                           |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 5. Mean Time Between Failure (MTBF)                                               |                           |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 6. Mean Time to Repair (MTTR)                                                     |                           |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 7. โอกาสในการทำงานได้ต่อเนื่องของระบบ Availability/1 year                         |                           |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 8. มาตรฐานด้านศูนย์คอมพิวเตอร์ Tier 1 – 4 Classifications                         |                           |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 9. ความเหมาะสมเป็นแหล่งจ่าย Power Dual Source เพื่อรองรับโหลดชนิด Dual Cords Load |                           |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |

**ตอนที่ 2** คำถามเกี่ยวกับข้อมูล ข้อดี - ข้อด้อย และการลงทุน (Advantage – Disadvantage & Investment) ของรูปแบบการต่อวงจรแบบต่างๆ ทั้ง 5 แบบ

คำชี้แจง ให้ตอบข้อมูลในแบบสอบถาม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์

| System Connectivity Configuration                                                    |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Advantage-Disadvantage & Investment                                                  | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
| 1. ให้ชี้แจงจำนวนเครื่อง UPS และอุปกรณ์ ประกอบ ในการต่อวงจร ที่ Output UPS = 600 KVA |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| - UPS (ขนาดและจำนวน)                                                                 |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| - Static Bypass Switch Cubicle (จำนวนตู้)                                            |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| - ตู้ Main UPS Output (จำนวนตู้)                                                     |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| ชี้แจงอุปกรณ์ พิเศษอื่นๆ ที่ต้อง ติดตั้งในระบบ (Accessories)                         |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| 2. การลงทุนในแต่ละ รูปแบบ ประมาณการทั้ง ระบบ (.....บาท.....)                         |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |

| <div>System Connectivity Configuration</div> <div>Advantage-Disadvantage &amp; Investment</div>                              | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 3. การลงทุนของระบบ<br>สมมติการลงทุนของแบบ<br>A. Single UPS เป็น 1 เท่า<br>(การลงทุนในแบบ<br>B,C,D,E เป็นกี่เท่าของ<br>แบบ A) | 1                 |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 4. ซึ่งความสามารถในการ<br>ขยายพิกัดระบบในอนาคต<br>(ยาก หรือ ง่าย) และมี<br>ข้อจำกัดใดๆหรือไม่                                |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |

**ตอนที่ 3** คำถามเกี่ยวกับปัจจัยหลักในด้าน คุณภาพระบบไฟฟ้า (Power Quality) ด้านการซ่อมบำรุง ความน่าเชื่อถือและความมั่นคงของระบบ (Maintenance , Reliability & Availability) ด้านการขยาย พิกัดระบบและการลงทุน (Extension & Investment) ในรูปแบบการต่อวงจรแบบต่างๆ

คำชี้แจง ให้ตอบข้อมูลในแบบสอบถาม โดยให้เป็นระดับคะแนน 1 – 5 (ตามข้อแนะนำ)

3.1 คุณภาพระบบไฟฟ้า (Power Quality) 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี, 5: ดีมาก

| <div>System Connectivity Configuration</div> <div>Power Quality</div>                                         |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                               | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|                                                                                                               |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| 1. คุณสมบัติด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า ด้าน Input การแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้านกระแสไฟฟ้า (Current THDI)   |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| 2. คุณสมบัติด้านคุณภาพระบบไฟฟ้า ด้าน Output การแก้ไข Total Harmonic Distortion ด้านแรงดันไฟฟ้า (Voltage THDU) |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |

| System Connectivity<br>Configuration                                                                                      |                   |                                                           |                                                                               |                                                                          |                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                           | Power Quality     |                                                           |                                                                               |                                                                          |                                                             |
|                                                                                                                           | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS<br>Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC<br>Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC<br>Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS<br>Dual UPS Source (2 N) |
| 3. คุณสมบัติด้านคุณภาพ<br>ระบบไฟฟ้า ด้าน Input<br>ทนทานต่อการเกิด Surge,<br>ไฟตก, ไฟเกิน, ไฟกระชาก<br>ไฟกระพริบ, ไฟฟ้าดับ |                   |                                                           |                                                                               |                                                                          |                                                             |
| 4. คุณสมบัติด้านคุณภาพ<br>ระบบไฟฟ้า ด้าน Output<br>มีความเสถียรภาพด้านการ<br>จ่ายกระแสไฟฟ้าได้อย่าง<br>ต่อเนื่อง          |                   |                                                           |                                                                               |                                                                          |                                                             |
| 5. เหมาะสำหรับเครื่อง<br>Server สมัยใหม่ที่ต้องการ<br>แหล่งจ่ายไฟฟ้าชนิด Dual<br>Source แท้ๆ                              |                   |                                                           |                                                                               |                                                                          |                                                             |

3.2 ด้านการซ่อมบำรุง ,ความมีเสถียรภาพและน่าเชื่อถือ และ โอกาสการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง  
 ของระบบ (Maintenance , Reliability & Availability)โดยให้เป็นระดับคะแนน 1 – 5  
 (ตามข้อแนะนำ) 1: แย่มาก, 2: แย่, 3: ปานกลาง, 4: ดี, 5: ดีมาก

| System Connectivity<br>Configuration<br><br>Maintenance<br>Reliability & Availability                                                                                               | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS<br>Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC<br>Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC<br>Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS<br>Dual UPS Source (2 N) |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 1. ท่านคิดว่าสามารถ<br>ออกแบบให้ระบบUPS<br>สามารถทนต่อการเกิด<br>Over Load ได้สูงและมี<br>เสถียรภาพที่สุด                                                                           |                   |                                                           |                                                                                |                                                                          |                                                             |
| 2. ระหว่างซ่อมบำรุง หรือ<br>ซ่อมแซม UPS แบบใดให้<br>ความเหมาะสมในการ<br>ซ่อมบำรุงโดยยังปกป้อง<br>Critical Load และมีความ<br>เสี่ยงน้อยต่อการเกิด<br>อุบัติเหตุ (Risk<br>Assessment) |                   |                                                           |                                                                                |                                                                          |                                                             |

| System Connectivity Configuration                                                                                                                                       |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                         |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| Maintenance Reliability & Availability                                                                                                                                  | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static Bypass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
| 3. ท่านคิดว่า UPS ระบบใดมีเสถียรภาพ , ความน่าเชื่อถือ และ โอกาสในการใช้งานได้อย่างต่อเนื่อง Reliability & Availability                                                  |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |
| 4. Tier 1-4 Classification คือ ระดับการให้คะแนนของมาตรฐานศูนย์คอมพิวเตอร์ รูปแบบการต่อวงจรแต่ละแบบ ได้มาตรฐานใด (1 : Tier I) (2 : Tier II) (3 : Tier III) (4 : Tier IV) |                   |                                                        |                                                                            |                                                                       |                                                          |

| รูปแบบการต่อวงจร<br>Configuration                                                                                                                                                                                                                                                                          |                   |                                                           |                                                                                |                                                                          |                                                             |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|--|
| Maintenance<br>Reliability & Availability                                                                                                                                                                                                                                                                  | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS<br>Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC<br>Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC<br>Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS<br>Dual UPS Source (2 N) |  |
| 5. ท่านคิดว่า UPS ระบบใด<br>เมื่อเกิดอุบัติเหตุเครื่อง<br>UPS ชำรุดเพียง 1 เครื่อง<br>ในระบบอาจทำให้ระบบ<br>จ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับ<br>Critical Load ล่มได้<br>(Downtime) 1: โอกาส<br>ระบบล่มสูงมาก 2: โอกาส<br>ระบบล่มสูง 3: โอกาส<br>ระบบล่มพอประมาณ<br>4: โอกาสระบบลมน้อย<br>5: ไม่มีโอกาสที่ระบบจะ<br>ล่ม |                   |                                                           |                                                                                |                                                                          |                                                             |  |
| 6. ท่านคิดว่า UPS ระบบใด<br>มี Single Point of Failure<br>1: มีมากที่สุด 2: มีมาก<br>3: มีพอประมาณ 4: มีน้อย<br>5: ไม่มี                                                                                                                                                                                   |                   |                                                           |                                                                                |                                                                          |                                                             |  |

3.3 ด้านการขยายงานและความสามารถขยายพิกัดของระบบ , ต้นทุน และ การลงทุน  
(System Expansion , Cost & Investment ) โดยให้เป็นระดับคะแนน 1 – 5 (ตามข้อแนะนำ)

| System Connectivity Configuration<br>System Expansion Cost & Investment                                                                                                                                              | A. Single UPS (N) | B. Modular Redundancy UPS Internal Static Bypass (N+1) | C. Redundancy UPS with Centralized SSC Single External Static By pass (N+1) | D. Redundancy UPS with Double SSC Double External Static Bypass (N+1) | E. Redundant Distribution with STS Dual UPS Source (2 N) |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|--------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| 1. ถ้าได้ออกแบบเพื่อไว้ UPS ระบบใดสามารถขยายพิกัดกำลังไฟฟ้าในอนาคตได้<br>1: ทำไม่ได้ 2: ทำได้ แต่ไม่เหมาะสม 3: พอทำได้ 4: เหมาะสม 5: เหมาะสมที่สุด                                                                   |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |
| 2. ท่านคิดว่าระบบ UPS ระบบใดใช้งานได้ดีเต็มประสิทธิภาพเครื่อง UPS ที่สุด 1: ใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพอย่างมาก 2: ใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพ 3: พอประมาณ 4: เต็มประสิทธิภาพพอประมาณ 5: ใช้งานได้ดีเต็มประสิทธิภาพเครื่อง |                   |                                                        |                                                                             |                                                                       |                                                          |

ขอขอบพระคุณอย่างสูงที่สละเวลาตอบแบบสอบถาม

ภาคผนวก ข.

เอกสารงานศึกษาวิจัยระดับปริญญาเอก เกี่ยวกับศูนย์คอมพิวเตอร์

## **An Optimal Data Center Availability and Investment Trade - Offs**

ของ ดร.มนตรี วิบูลย์รัตน์

## An Optimal Data Center Availability and Investment Trade-Offs

Montri Wiboonrat  
Graduate School of Information Technology  
Assumption University, Bangkok, Thailand.

[montri.w@tss-design.com](mailto:montri.w@tss-design.com), [mwiboonrat@gmail.com](mailto:mwiboonrat@gmail.com)

**Abstract-** Business operation downtimes adversely affect not only recovery times and lost opportunity costs, but also company's reputation and customers' confidence. Reliability of the power distribution system for a data center depends upon numerous electronic and mechanical components. Redundancy represents a possible approach to enhancing system reliability. In a series-parallel design methodology, serial systems reduce reliability, while more systems in parallel help increase it. The redundancy scheme helps enhance the overall system reliability but it comes with double investments. The data center reliability and cost trade-offs becomes a controversial issue among all concerned, including investors, IT managers, and consultants. Different business activities are subject to system failures or power outages to varying degrees of risks. A question arises on what represents the most appropriate level of data center reliability at the most acceptable costs. This research employs the reliability block diagrams (RBD) with reliability information obtained from IEEE 493, or the so-called Gold Book, and component vendors' field test data. The investigation attempts to simulate and compare reliabilities and costs of two data center (DC) TIA 942's Tier III and Tier IV power distribution system standards applied to real cases. Research findings propose an optimal balance between data center system reliability and investment costs for each case.

### I. INTRODUCTION

Downtime costs may cause DC project failures, as evidenced from a number of past researches. A one-hour downtime can cost an investment brokerage firm up to US\$ 6.45 million and US\$2.6 million for credit card sales (Kembel, 2000), (Patterson, 2002), and (HRG, 2007). The immeasurable cost of data loss is even more disastrous. The consequence of downtime can be ravaging, not only on tangible financial losses but also intangible damages, e.g. customer dissatisfaction, decreased brand loyalty, and less prospect for future business.

An increasingly reliable system is required, as technological developments become more complex. 6-nine (99.99999%), or an almost error-free, reliability is targeted. Improved reliability may be achieved by designing redundancy into the critical components. A component N+1 or concurrent maintenance (DC-Tier III) and 2(N+1) or fault-tolerant (DC-Tier IV) assessment of a system can disclose points of failure within the system (Turner, Seader, and Brill, 2006). Data center system design was based on the IEEE 493 Gold Book Standard Network (IEEE 493, 1997), (Koval, et al. 2003). The design weighs cost impact of business losses against redundant components costs. A simulation modeling software package, BlockSim 7, and a

reliability block diagram (RBD) were employed to determine reliability of the power system and redundant components or system costs (Wang, et al., 2004), (Koval, et al., 2002), and (Koval, et al. 2001). The research attempts to analyze power reliability and cost trade-offs between Tier III and Tier IV data centers. The findings may serve as guidelines for the design and building of reliable data centers to serve all users' needs, while minimizing costs.

### II. NOTATION

*Availability:* A ratio that describes the percentage of time a component or system can perform its required function.

*Lambda ( $\lambda$ ):* The inverse of the mean exposure time between consecutive failures.

$\lambda$  is typically expressed in either failures per year or failures per million hours.

*MTBF:* The mean exposure time between consecutive failures of a component or system. The mean time between failures is usually expressed in either years per failure or million hours per failure. For some applications, measurement of mean time between repairs (MTBR) rather than mean time between failures may provide more statistically correct information.

*MTTR:* The mean time to repair a failed component. For a system, it is the total amount of time it is unavailable due to a failure and is expressed in hours.

*Reliability:* An indication of the ability of a component or system to perform its intended function during a specified time.

*Systems:* A group of components connected or associated in a fixed configuration to perform a specified function of distributing power.

### III. RELIABILITY DETERMINATION

Reliability is the measurement that expresses the ability of a system to achieve its proposed functions during a particular time. Reliability levels are mutually dependent with economics. Since, increased reliability is attained through increased investment but it also permits the consumers to reduce their downtime costs (Pievatolo, Tironi, and Valade, 2004). The reliability assessment is normally regarded with average indicators e.g. the mean time between failure (MTBF) and the mean time to repair (MTTR). Also, the probability of the frequency occurrences and duration of each outage are considered as a component of a reliability assessment. Calculation of all components and system reliability indicators stems from two basic parameters, including Mean Time Between Failure (MTBF) and Mean Time To Repair (MTTR). Following show

equations derived from both (Bono et. al. 2004), (Vahlstrom, 2004):

MTBF = Mean Time Between Failures (Hours)

MTTR = Mean Time To Repair (Hours)

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} ; \text{Component failure rate (fault/hour)}$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} = \frac{1}{r} ; \text{Component repair rate (repairs/hour)}$$

The system availability ( $A$ ) is defined as the total operating time over the total time:

$$A = \frac{MTBF}{(MTBF + MTTR)} \quad \text{or} \quad A = \frac{\mu}{(\lambda + \mu)}$$

$$q = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} ; \text{(Steady-state unavailability)}$$

$$\omega = \lambda(1 - q) \text{ or } \omega \approx \lambda, \text{ where as } q \ll 1 ;$$

$$(q \approx \lambda.r)$$

#### IV. METHODOLOGY

The IEEE 493 Gold Book Standard, as illustrated in Table 1, provides component reliability data. A representative network is required to enable comparisons between different methodologies. Fig. 4 and Fig. 5 had shown the single line diagrams of the Tier IV and Tier III data centers, respectively. The components shown in the networks are labeled with numbers, which correspond with the reference numbers in Table 1. Network reliability analysis is performed with reliability data for referenced components taken from this table.

This paper investigated the system reliability / availability of data center Tier III and Tier IV in terms of the frequency and duration of occurrences power outages. System availability depends on:

1. Reliability and maintainability of its components: including failure rate (MTBF) and repair time (MTTR) of component's inherent characteristics (CIC) distribution, failure modes effects and criticality analysis (FMECA), and environmental operation effects.
2. System design or system connectivity topology (SCT) (configuration or topology, dependency, and failure detection).
3. System operation behavior (operational characteristics, switching procedures, and maintenance services).

The following assumptions apply to the proposed data center DC Tier III and DC Tier IV system networks:

- Failure rate and repair times are exponentially distributed.
- Actual power cable lengths may be indicated on the drawing. The cable failure rate is thus determined per the indicated actual cable length.
- The generators are redundant 2N.

- The power grids, generators and UPSs are redundant 2(N+1), only in Tier IV.
- The transformers, switchgears, ATs and bus-buses are redundant.
- There are two paths of power distribution systems.
- Terminations and splices, while normal for all systems, are not included on the drawing, and are not included in the calculations.
- The assumed breaker failure modes are 50% open and 50% short.
- Selected component's inherent characteristics (CIC) of both Tier III and Tier IV systems are similarly.

Table 1. Equipment reliability data from IEEE 493 Gold Book Standard Network (Rozen et. al., 2004)

| Ref. | Item Description                                                                    | IEEE Item # | Failure Rate (per year) | MTBF (hours) | Failure Rate (per year) | Calculated Availability | WTR       |
|------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------|--------------|-------------------------|-------------------------|-----------|
| 1    | Single Phase Utility Supply 175 kV (maximum) (per year) (IEEE 493 Gold Book p. 107) | 5.1         | 0.000001                | 100,000      | 0.000001                | 0.999999                | 4,401.61  |
| 2    | Cable, 3-Phase, 175 kV, 100 ft (per year)                                           | 12          | 0.0000022               | 45,455       | 0.0000022               | 0.9999978               | 30,333.46 |
| 3    | Cable, 3-Phase, 175 kV, 200 ft (per year)                                           | 12          | 0.0000044               | 22,727       | 0.0000044               | 0.9999956               | 15,166.73 |
| 4    | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 100 ft (per year)                            | 16          | 0.0000011               | 90,909       | 0.0000011               | 0.9999989               | 7,272.73  |
| 5    | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 200 ft (per year)                            | 16          | 0.0000022               | 45,455       | 0.0000022               | 0.9999978               | 30,333.46 |
| 6    | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 300 ft (per year)                            | 16          | 0.0000033               | 30,303       | 0.0000033               | 0.9999967               | 20,222.31 |
| 7    | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 400 ft (per year)                            | 16          | 0.0000044               | 22,727       | 0.0000044               | 0.9999956               | 15,166.73 |
| 8    | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 500 ft (per year)                            | 16          | 0.0000056               | 18,182       | 0.0000056               | 0.9999944               | 12,121.21 |
| 9    | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 600 ft (per year)                            | 16          | 0.0000067               | 15,152       | 0.0000067               | 0.9999933               | 10,101.01 |
| 10   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 700 ft (per year)                            | 16          | 0.0000078               | 12,727       | 0.0000078               | 0.9999922               | 8,408.84  |
| 11   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 800 ft (per year)                            | 16          | 0.0000089               | 11,222       | 0.0000089               | 0.9999911               | 7,407.41  |
| 12   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 900 ft (per year)                            | 16          | 0.0000100               | 10,000       | 0.0000100               | 0.9999900               | 6,666.67  |
| 13   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1000 ft (per year)                           | 16          | 0.0000111               | 9,000        | 0.0000111               | 0.9999889               | 6,000.00  |
| 14   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1100 ft (per year)                           | 16          | 0.0000122               | 8,182        | 0.0000122               | 0.9999878               | 5,454.55  |
| 15   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1200 ft (per year)                           | 16          | 0.0000133               | 7,500        | 0.0000133               | 0.9999867               | 5,000.00  |
| 16   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1300 ft (per year)                           | 16          | 0.0000144               | 6,944        | 0.0000144               | 0.9999856               | 4,629.63  |
| 17   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1400 ft (per year)                           | 16          | 0.0000156               | 6,464        | 0.0000156               | 0.9999845               | 4,308.18  |
| 18   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1500 ft (per year)                           | 16          | 0.0000167               | 6,000        | 0.0000167               | 0.9999834               | 4,000.00  |
| 19   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1600 ft (per year)                           | 16          | 0.0000178               | 5,625        | 0.0000178               | 0.9999823               | 3,750.00  |
| 20   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1700 ft (per year)                           | 16          | 0.0000189               | 5,294        | 0.0000189               | 0.9999812               | 3,529.41  |
| 21   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1800 ft (per year)                           | 16          | 0.0000200               | 5,000        | 0.0000200               | 0.9999801               | 3,333.33  |
| 22   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 1900 ft (per year)                           | 16          | 0.0000211               | 4,737        | 0.0000211               | 0.9999790               | 3,149.61  |
| 23   | Three-Phase Transformer, 175 kV/10 kV, 2000 ft (per year)                           | 16          | 0.0000222               | 4,500        | 0.0000222               | 0.9999779               | 2,999.99  |

A RBD demonstrates end-to-end logical connectivity of components and subsystem levels. It depicts the power distribution in a data center from utility sources to loading points. It also shows the topology for connectivity (SCT), such as series – parallel, active standby, bridge, and k out of n design.

The research proposed the simulation approach as applied through a reliability block diagram (RBD) by software simulation called "BlockSim 7".

## V. A DATA CENTER COST MODEL

A: A data center institution cost model

Data center requires more functions to support one unified system. Each facility function is unique but not independent in operation.

Investment facilities include office space, lobby, restroom, conference room, staging room, testing room, storage area, NoC, loading docks, utility rooms, server rooms, communication rooms, networking rooms, strong rooms, and data center.

System costs include utilities, transformers, switchgears (ATS), power distribution systems, backbone bus-ducts, diesel engines, UPSs, batteries, PDUs, water leak, fire detection, grounding, CRAC, chillers, pumping, piping, rack, security and surveillance.

Operating costs include IT manpower, utilities, communications, training, maintenance, etc.

Assumption on a similar condition at 25,000 ft<sup>2</sup> was simulated area for both data center Tier III and Tier IV. A different construction cost per foot of Tier IV and Tier III was US\$200+. As a result of total construction cost under assumption, Tier IV was expensive than Tier III around US\$5 Million. While as a different site availability of Tier III and Tier IV was only 0.013% or around 1.2 hours, as seen in Table. 2.

Table 2: Tier III and IV comparison (Turner and Brill, 2007)

| Details                             | Tier III   | Tier IV       | Difference |
|-------------------------------------|------------|---------------|------------|
| Number of delivery paths            | N+1        | 2(N+1) or 8+8 | 100%       |
| Support space to raised floor ratio | 80-90%     | 100%          | 10-20%     |
| Initial watts/sq ft*                | 40-60      | 50-80         | 10-20%     |
| Ultimate watts/sq ft*               | 100-150    | 150+          | >50%       |
| Construction US\$/sq ft*            | \$900      | \$1,100+      | >\$200     |
| Total cost construction US\$*       | 22,500,000 | 27,500,000    | 5,000,000  |
| Annual DC downtime                  | 1.6 hrs    | 0.4 hrs       | 1.2 hrs    |
| Site availability                   | 99.9820%   | 99.9950%      | 0.0130%    |
| *Simulated DC differs @25,000 sq.ft |            | 5,000,000     |            |
| Downtime gap Tier III&IV            |            | 1.2 hrs       |            |

B: A Data center downtime cost model

Determine the company costs of outage are not the only ones that lose revenue but also the loss to a company of wasting the time of employees who cannot get their work done during an outage (Patterson, 2002). The loss of availability of data center directly affects to the facility infrastructure's bottom line, with full recovery after short-lived unplanned downtime taking a day to a week. The two major factors effect to downtime cost depends on power outage frequency and duration occurrences.

Businesses losses will justify the investment cost of data center Tier availability. Estimation of business losses per hour should be compensated by forward of investment cost that can gain by return of investment (ROI) model as below (Boehm et al. 2004).

$$ROI = \frac{\text{Benefits (Downtimes Costs)} - \text{Investment Costs}}{\text{Investment Costs}}$$

Reputation ( $R$ ) and Goodwill ( $G$ ) will be the hardest factors that is difficult to calculate (subjective) to be money values. It is depended on business segment and customer group impacted, as seen in Equation (1).

$\omega$  : Frequency of interruption (occurrence per year)

$t$  : Duration of interruption (at least an hour per occurrence; integer number)

$L$  : Cost of business lost per hour of occurrence (Estimated average costs of an hour of down time)

$R$  : Business losses in term of reputation and business accountability (Subjective)

$G$  : Lost reliable relation with partners and suppliers (Goodwill-Subjective)

$\Delta C$  : Cost trade off between Tier III and Tier IV ( $\Delta C$  from Table 2. is US\$5 Million)

$\Delta C$  could be a vastly variation subject to component brands, component's inherent characteristics (CIC), and system connectivity topology (SCT). Data center site reliability/ availability is depended on the details of component selection (CIC), system connectivity topology (SCT) e.g. series-parallel, k-out of-n, bridge, and active-standby mode.

$\Delta A_{vi}$  : Increasing site availability from Tier III to Tier IV

$L = (\text{Employees cost hour} * \text{Employees' affected by outage}) + (\text{Avg. Rev./hour} * \text{Rev. affected by outage}) +$

$$\sum_{i=1}^n (\text{Avg.Lawsuits/hour} * \text{No. of Contract}(i)) + (\text{Business-}$$

Reputation lost to customers: Subjective) + ( Loss of Goodwill to partners and suppliers: Subjective)

(Patterson, 2002)

Lost revenue per hour will differ from business to business, e.g. Brokerage operation \$6.45M, Credit card authorization \$2.6M, Ebay \$225K, Amazon.com \$180K, Cellular service activation \$41K, and ATM service fees \$14K (Patterson, 2002).

The factors that concerns are depended on rationale trade-off awareness, as seen in equation (1), of each business type requirements. The optimal point consideration of data center site availability and investment costs derived from the slope as Fig.1 together with the result from ROI.

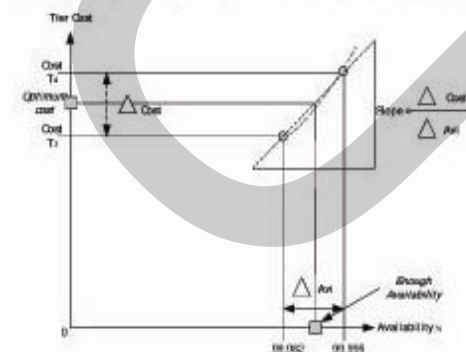


Fig. 1 Optimum availability and investment trade offs

$$R + G + (\omega, t, L) \geq \Delta C \quad \text{Equation (1)}$$

Business lost is not only depended on type of business but also depends on time as seen in Fig. 2. The relation for business lost and on going time will be exponential correlation as seen in Equation (2). Example of international bank operates by time zone (Starting Point from Japan to Australia, Hong Kong, Singapore, and Thailand). The transactions between each country will transfer overlap by time zone. Thus, the size effected, transactions from Japan to Australia will start first follow by Japan to Thailand, Japan to England and so on, of data center downtime will accumulate and increasing damage as a chain reaction as shown in Fig. 2 (Accumulation function  $f(L_{(i,t)})$ ).

Assumption each down time starting by  $\omega \geq 1$  and  $t$  equal or grater than 1 hour(s)

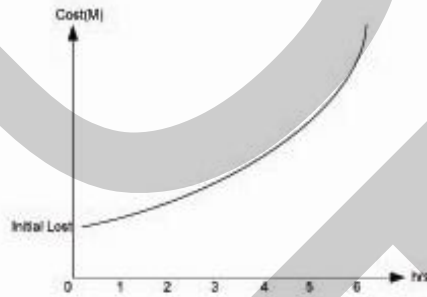


Fig. 2 Time dependency accumulation losses

$$f(L_{(i,t)}) = \sum_{i=1}^{\omega} L_i \cdot e^{(t-1)}, t \geq 1 \quad \text{Equation (2)}$$

$L_{(i,t)}$ : Time dependency accumulation losses:

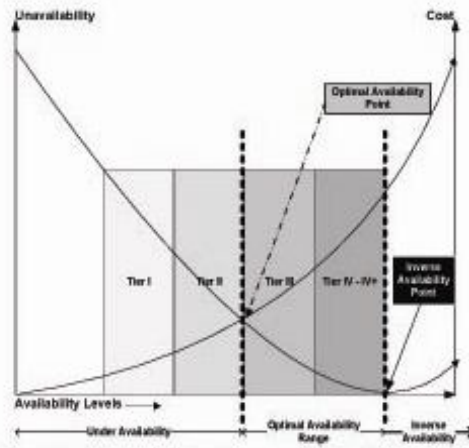


Fig. 3 Data Center Design Concerns-Availability v.s Cost

The correlation of data center investment and availability illustrates in Fig. 3. From case study, if data center downtime cost is around US\$1M per hour, an investment on Tire IV will payback within 5 DC downtimes. The optimal point of availability and cost trade-offs will consider from Equation (1) and Equation (2) compare to DC investment. Optimal DC availability range differs from business to business subject to levels of Equation (1) and  $f(L_{(i,t)})$  acceptant losses. However, the simulation result shown high investment will not gain high availability beyond the inverse availability point, as depicted in Fig. 3. (Pra, Baert and Kuyken, 1998).

## VI. RELIABILITY BLOCK DIAGRAM (RBD) SIMULATION

The Uptime Institute's Tier performance standard provides a high level guideline but does not provide specific design details for Tier III and Tier IV. Thus, the availability and method that used for calculation may be differed by each model simulation. It is depended on the component design/selection (CIC) and connectivity model (SCT) that applied to data center design. Availability level depends on the facility designer to classify the importance and level of quality for an array of electronic components. This comprises of components e.g. standby utility, standby diesel engine, UPS configuration, power distribution redundancy, and EPO systems. The up time of AC power in the USA is approximately 99.982% (as PQ of Japan and Western Europe) or corresponding to 100 minutes of downtime per year (APC, 2004). This is an extremely real obstruction to accomplish 99.995% up time as Tier IV criteria. This section executed the CIC analysis on the IEEE 493 Std. Gold Book Network System, using the simulation software, BlockSim 7, and also depicts the analysis result comparison such diagram, as seen DC Tier IV in Fig.4 and DC Tier III in Fig.5, system availability, failure rate of system, and probability density function of data center Tier III and Tier IV (Wang, et. al., 2003).

A software simulation, BlockSim 7, applied conceptual of RBD representing the standard network data of MTBF, MTTR, SCT, and maintain procedure as input data of each block from Table 1. Based on equipment reliability data, CIC, the availability of data center calculated from the consistency of power distribution system, as seen RBD of Tier IV in Fig.4 and Tier III in Fig.5.

The power consistency distribution systems have been assessed by simulated operating duration during 5 years (1,826 days or 43,824 hours). The interruption of each load point measured in term of frequency and duration of interrupted occurrence of each component or subsystem.

The result for simulation of Fig.4 system component by software BlockSim 7, data center Tier IV network diagram has shown the system mean time 62,261.5057 hours as Fig.6, and system failure rate 19.2688E-6. The result for simulation Tier III as Fig.5, network diagram has shown the system mean time 42,278.1754 hours as Fig.7, and system failure rate 24.6105E-6. The difference of failure rate of Tier IV and III

is  $5.3417\text{E-}6$  and system mean time is increased 19,983.33 hours or around 832.64 day from Tier III to Tier IV.

of each solution from internal and external consultant or expertise.

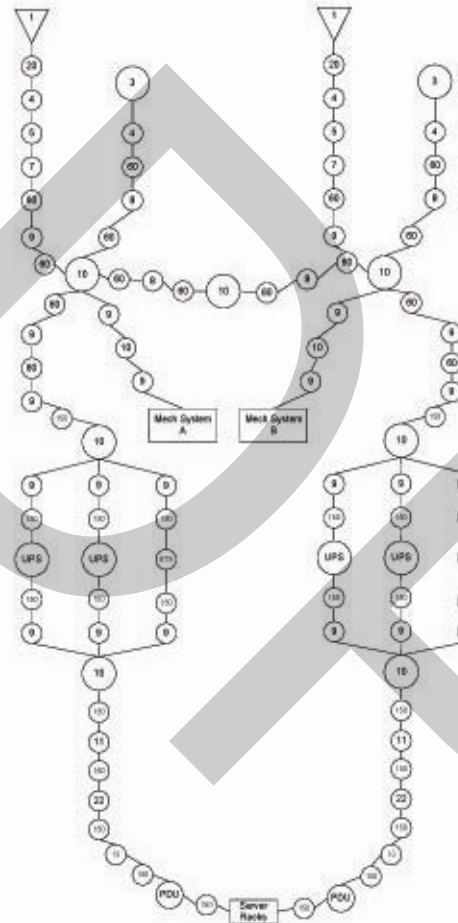


Fig. 4 RBD of DC Tier IV system

#### VII. DISCUSSION

When discuss about the investment for data center the major factors that should be concentrated on at the outset stage such as type of business (calculated cost of down time), component selection (CIC), methodology integration (SCT), reasonable system availability target, and operation and maintenance running cost of a life time data center. These factors are mapping to critical level and system availability requirement to compensate downtime cost. As seen in equation (1). The selected solution should be made up by owner but supporting information must be concluded in term of data sheet comparison with pros/cons

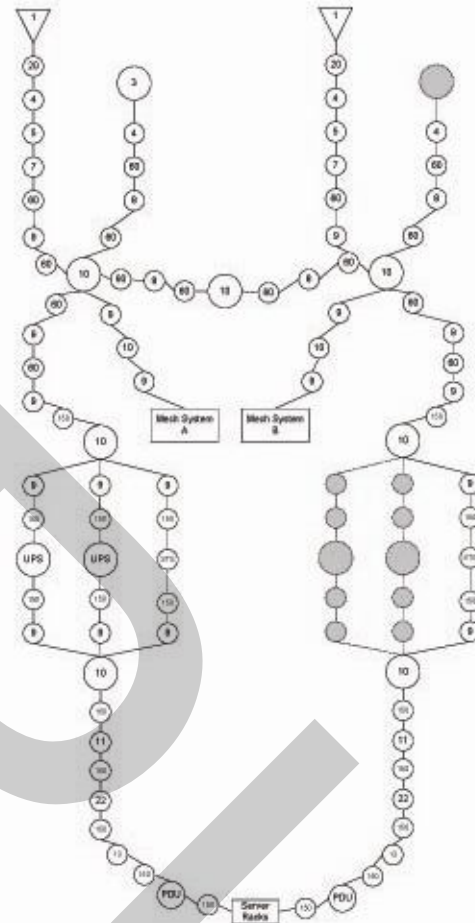


Fig. 5 RBD of DC Tier III system

The advantage of RBD simulation is given a designer chance to adapt and modify the optimal result of component costs and connectivity methods against availability levels. Moreover, RBD simulation is proved a shortage time of data center reliability design process and foreseen an availability level deeply in detail design of component and subsystem topology.

#### VIII. CONCLUSIONS

The company that no experience for a crisis lost will difficult to estimate the business lost per hour. However, lesson learns from what companies in their business doing will be the benchmarking guidelines. RBD

results were comparable to those of the previous tested Tier III and Tier IV availability. Moreover, RBD simulation can help designers build to a specific availability level on their own budget and allows data center owners to evaluate their own design. This will be corresponded with the financial investment that needs to compensate with the downtime lost. Actually this cost can define as insurance cost of business. Understanding the business's availability requirements, risk tolerance, penalty downtime lost, and budget capability, an appropriate design can be optimized data center system reliability/availability and investment costs.



Fig. 6 Tier IV System Mean Time



Fig. 7 Tier III System Mean Time

#### REFERENCES

- APC, "Effect of UPS on System Availability, White Paper #24", Revision 2, American Power Conversion, 2004.
- Boehm, B., L. Huang, A. Jain, and R. Madachy, "The ROI of Software Dependability The iDAVE Model," IEEE Software, May/June 2004, pp. 54-61.
- Bono, R., A. Alexander, A. Dorman, Y.J. Kim, and J. Reisdorf, "Analyzing Reliability - A Simple Yet Rigorous Approach," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.40, no.4, July/Aug. 2004, pp.950-957.
- HRG, Harvard Research Group, Inc. Harvard, P.O. Box 297 MA 01451-0297 USA  
<http://www.hrgresearch.com/pdf/paper4.pdf>, 2007.
- IEEE Std. 493-1997, Design of Reliable Industrial and Commercial Power Systems, Gold Book, 1997.
- Kembel, R., Fiber Channel: A Comprehensive Introduction, 2000.
- Koval, D. O., L. Jiao, R. G. Arno, and P. S. Hale, Jr., "Zone-Branch Reliability Methodology Applied to Gold Book Stand Network," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.38, no.4, July/Aug. 2002, pp.990-995.
- Koval, D. O., X. Zhang, J. Propst, T. Coyle, R. Arno, and R. S. Hale, JR., "Reliability Methodologies Applied to THE IEEE GOLD BOOK STANDARD NETWORK," IEEE Ind. Applicat. Magazine, Jan./Feb. 2003, pp.32-41.
- Patterson, D. A., "A Simple Way to Estimate the Cost of Downtime," The Proceedings of LISA '02: Sixteenth Systems Administration Conference, Berkeley, CA: USENIX Association, 2002.
- Pievatolo, A., E. Tironi, and I. Valade, "Sime-Markov Processes for Power System Reliability Assessment With Application to Uninterruptible Power Supply," IEEE Trans. Power Sys., vol. 19, no. 3, August 2004, pp. 1326-1333.
- Pra, U. D., D. Baert, H. Kuyken, "Analysis of The Degree of Reliability of A Redundant Modular Inverter Structure," [ieeexplore.ieee.org/iel5/6/413/17135/00793592.pdf](http://ieeexplore.ieee.org/iel5/6/413/17135/00793592.pdf), 1998.
- Roczen, B., R. G. Arno, and P. S. Hale, "Reliability Block Diagram Methodology Applied to Gold Book Standard Network," IEEE Industrial and Commercial Power Systems Technical Conference, 2-6 May 2004, pp. 116-126.
- Turner, W. P., J. H. Seader, K. G. Brill, "Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance," The Uptime Institute, Inc. 2006. [www.uptimeinstitute.org](http://www.uptimeinstitute.org)
- Turner W. P., K. G. Brill, "Industry Standard Tier Classifications Define Site Infrastructure Performance," Uptime Institute Inc. 2007.
- Vahlstrom, W., "A PRACTICAL GUIDE for ELECTRICAL RELIABILITY," EC&M, October 2004, pp. 48-53.
- Wang, W., J. M. Loman, R. G. Arno, E. R. Furlong, and D. Ogden, "Reliability Block Diagram Simulation Techniques Applied to the IEEE Std. 493 Standard Network," IEEE Trans. Ind. Applicat., vol.40, no.3, May/June 2004, pp.887-895.
- Wang, W., E. R. Furlong, R. G. Arno, P. Vassiliou, and D. Ogden, "Apply Simulation Technique via Reliability Block Diagram to Gold Book Standard Networks," IEEE, 0-7803-7771-0/03, 2003.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ - นามสกุล

ประวัติการศึกษา

นิสิต ชำรงธรรม

การศึกษามัธยมศึกษา

มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒน์ พิชณุโลก พ.ศ. 2529

นิติศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช  
พ.ศ. 2533

ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน

ผู้จัดการ ส่วนบริหารจัดการพัสดุ ฝ่ายจัดการอุปกรณ์และ  
บำรุงรักษา บริษัท กรุงไทย คอมพิวเตอร์ เซอร์วิส จำกัด  
99/999 หมู่ 5 ถนนบางกรวย-ไทรน้อย อำเภอบางบัวทอง  
จังหวัดนนทบุรี 11110