

FCU



ePaper

# 逢甲大學學生報告 ePaper

低碳電力工業物聯網於數位孿生

監控系統研製

Development of Low-Carbon Electricity Industrial Internet of  
Things in Digital Twin Monitoring System

作者：張湘浚、趙志庭

系級：電機工程學系

學號：M1206780、M1205081

開課老師：黃俊瑋

課程名稱：電力系統暫態分析

開課系所：電機工程學系

開課學年：112 學年度 第 1 學期



## 中文摘要

隨著淨零科技能源管理快速進展，數據的深度挖掘與綠能永續，已成為發展電力工業物聯網之關鍵。然為了系統須能精準且即時地傳輸電力資訊、故障位置與控制低碳電力運轉，須有賴於雲端與近端運算能力實現工業物聯網，感測通訊整合系統數據，遠程監測及時運轉狀態，預測設備老化損壞。本論文建置一個電力設備與感知通訊，結合數位化資訊擷取與監控平台，企圖展現物聯網技術、數位化分析與資料建模的優勢，同時因應未來電網智慧化及狀態維護保養之需求，新設計之電力能源管理系統，應於場域加入智慧型監控模組，以監測溫度、含水量、排碳量與電力資訊，亦可成為預防性維護解決方案，提供數據化監測、自動化控制，以達到最佳化維護週期，預防保養建議及預期設備壽命評估。



**關鍵字：**預防性維護、工業物聯網、狀態維護保養、資訊擷取與監控。

## Abstract

With the rapid advancement of net zero technology and energy management, the deeply data mining and the pursuit of green sustainability have become key factors in the development of the power industry's Internet of Things (IIOT). However, to achieve accurate and real-time transmission of power information, fault locations, and low-carbon power operation, its emphasis lies in cloud and edge computing power to realize the IIOT, which involves sensor communication systems, remote monitoring and control real-time operation, and predictive maintenance for aging equipment. This research establishes a supervisory control and data acquisition (SCADA) integrated power transmission and communication platform. With the increasing usage of IIOT technology, digital analysis, and data mining, the advantages of the issue serve as the basis for digital twin processing-oriented research. Additionally, in response to smart grid and condition-based maintenance (CBM), an energy management system should incorporate an intelligent monitoring module into the field. Meanwhile, it can also serve as a proactive maintenance solution. It provides automated control to achieve optimized maintenance recommendations and the expected equipment lifespan based on its operational status.



Keyword : Predictive Maintenance, IIOT, Condition-Based Maintenance, SCADA.

## 目 次

一、簡介.....	4
二、系統架構與功能.....	5
三、預防性維護解決方案.....	6
四、實驗分析結果.....	9
五、結論.....	17



## 一、簡介

隨著工業 4.0(Industry 4.0)發展[1]，全球工業物聯網(Industrial IoT；IIoT)進入百家爭鳴的階段，這一趨勢主要著重於互聯性、自動化和數位化，以改進資源利用效率並減少停機時間為目標，從而提高生產效率。然而，工業 4.0 的概念往往忽略了對自然環境的影響以及外部成本的考量。

### 能源消耗與環境影響:

以臺灣 ICT 產業為例，根據能源局(2021)的統計，截至 2020 年，台灣 ICT 產業的電力消耗高達 556 億度，佔全台電力總消費量的 20%[2]，這些數字凸顯出能源消耗對環境的影響。另隨著環保意識抬頭及溫室效應所帶來的二氧化碳汙染問題，國際間已相當重視能源使用問題，國際標準化組織 (ISO) 先後推出了針對能源管理和溫室氣體排放的相關標準，如 ISO 50001 能源管理系統標準、ISO 14064 溫室氣體排放查證/確證和 ISO 14067 產品碳足跡，其中在 ISO 14064 標準中提到對生產活動，所產生的溫室氣體進行盤查，其中碳排占比最高為電力生產，最終目的為抑制碳排量。

### 能源轉型的重要性:

根據國際再生能源總署 (IRENA) 定義，能源轉型 (Energy Transition) 是指從傳統的化石燃料能源向持續、低碳或零碳能源的轉變過程[3]。在這個背景下，淨零科技成為了一個關鍵的解決方案。它綜合了互聯性、自動化、數位化和低碳化等方面，引入虛實整合系統和生命週期分析，以提高能源利用效率並降低對環境的影響。

### 智慧電網與供電可靠性的關鍵措施:

為了在 2050 年前實現淨零碳排，需要確保在 2030 年時，全球必須有超過 60% 的電力來自再生能源[4]。因此未來會有大量再生能源併入電網，再生能源的間歇性特性除了影響備用容量準確度，更是衝擊電網供電可靠度的主要原因。面對未來大量再生能源加入，智慧型電網之供電可靠，攸關電力的穩定供應。因此「電力調度原則綱要」，也明定輸配電業應擬具符合國際標準之電力系統可靠度指標，至少應包括系統平均停電時間 SAIDI(System Average Interruption Duration Index)及系統平均停電次數 SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)，這些指標是評估供電品質的重要標準之一，亦符合國際標準之電力系統可靠度指標。

### 供電品質對半導體業業的重要性:

根據 ARC Advisory Group 的報告，全球流程工業每年因未計劃停電而遭受的停機損失約為 200 億美元，相當於年度產值的 5%。然而，其中 80% 的損失是可預防的[6]。對半導體供應產業鏈來說，供電品質是一個極為敏感的問題。即使是輕微的電壓變動和持續時間超過一定標準，也可能導致設備自動停機，給半導體業帶來巨大損失。為了改善間歇性問題，儲能系統可成為解決方案，然而根據國際能源署(IEA)於報告[7]顯示，在各國持續實施補貼與獎勵政策的推動下，2022 年第一季全球電動車的總量較去年同期增長了 75%。預計到 2040 年，全球電動車銷售量將達到 5 億台，同時充電樁將達到 2.9 億座。如果數億座分佈式充電樁納入電網，傳統電網可能面臨崩潰，或需要大量資金來改善其韌性，進而增加額外成本。

### 儲能系統與智慧監控:

本研究利用智慧電錶監控場域，預先模擬儲能場域內的用電情況，並記錄即時用電數據，定期記錄碳排放量。在研究中引入虛擬電廠的概念，將電力做有效的資源轉換。當供電不穩或大電力負載加入時，我們善用實時數據監控啟動儲能系統，整合虛擬和實際數據以防止電網的多點崩潰，提高供電可靠性，改善碳排放流程，促進溝通協作以改善流程，從而實現低碳永續能源的目標。

## 二、系統架構與功能

本研究利用 AVEVA Edge 構建了工業物聯網(IIoT)系統，採用 Modbus TCP/IP 通訊協定實現控制模組和設備之間的通訊和邊緣運算。系統包含支援訊息佇列遙測傳輸(MQTT)通訊模組、二氧化碳感測模組、電力儲能救援設備以及資料採集與監視系統(SCADA)整合開發的邊緣(Edge)平台，該平台用於記錄電氣設備的實功、虛功、電壓和電流等數值變化。能夠根據不同的電力設備或載具接入物聯網，實現碳盤查目標，此外，系統還可以部署充電樁儲能系統，並通過電力交易促進運輸載具的生態經濟活動，詳如圖 1。

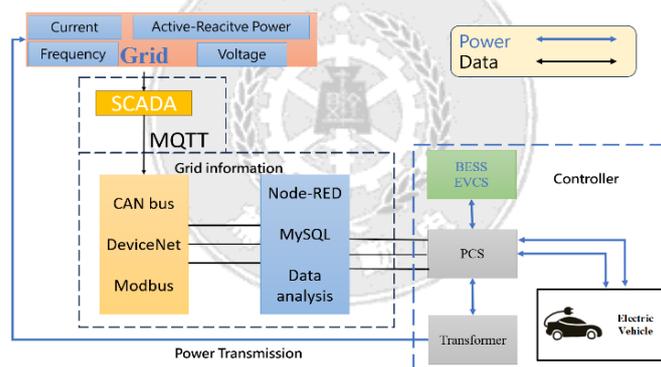


圖 1. 低碳電力數位孿生系統架構圖

本論文藉由智慧電錶打造出能源管理系統，詳如圖 2，智慧電錶可安裝於工廠、學校以及居家等各種場所，並透過乙太網路供電器 (PoE) 進行連接。監控主機透過 Modbus TCP/IP 通訊協定獲取電力資訊，生成可視化界面和即時/歷史趨勢圖表，分析監控數據，協助管理者進行遠端診斷與控制;另外搭配二氧化碳偵測模組，當設備發生異常或安全環境數據超標時，發出故障警報，即時啟動相關對應的安全機制並通知管理者。同時，本地端設備配備資料紀錄功能 (Data Logger)，透過 MQTT 通訊定時紀錄監控數據及 I/O 狀態，並上傳至雲端資料庫。當資料庫中的數據經整理後，能夠進行大數據分析，以判斷供電不穩的情況，確定是否需要儲能系統釋放電量以穩定電網，以減少對設備的影響。

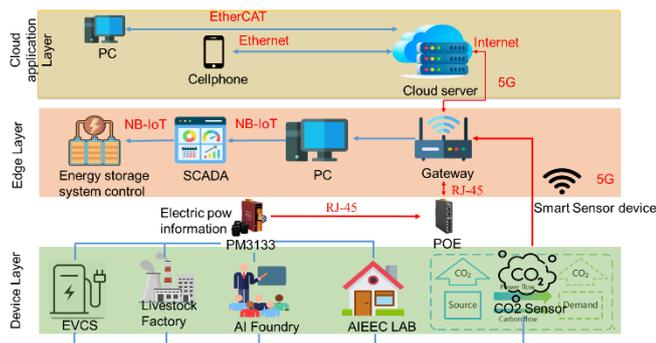


圖 2. AIOT 監控場域示意圖

### 三、預防性維護解決方案

電力產品生命週期評估 (Life Cycle Assessment, LCA) 是一種分析方法，用於評估從產品的設計、製造、使用、維護，到最終退役和處理的整個生命週期中對環境和可持續性的影響。生命週期評估會列出所有相關產業中使用的能源和材料，並計算出對環境的碳排放量，評估可能對環境造成的影響，從而改善產品對環境造成的負面影響。生命週期評估流程可分為以下四個階段(詳如圖 3)，現以電力生產碳排放流程說明。



圖 3. 生命週期評估流程圖

#### 3.1. 範疇界定(Goal and Scope Definition)

隨著全球進入氣候緊急時代，歐洲為加速實現 2030 年溫室氣體減少 55% 的階段性目標，已於去年正式通過碳邊境調整機制 (CBAM)，訂定進口產品碳含量規範，並規劃了從 2023 年到 2025 年的過渡期[8]。然而，尚未設定明確的排放標準。因此，本論文先以 AIOT 監控場域制定碳邊界，限縮排碳範圍。

#### 3.2. 盤查分析(Life Cycle Inventory Analysis, LCI)

目前台灣是以 CNS-14067(中華民國國家標準)作為碳盤查的作業原則[9]，該標準收集了電力生產各階段的碳排放數據。本論文利用智慧電錶對場域進行監控，記錄用電數據，並通過控制儲能系統進行電力調配，以實現電網穩定。後續利用碳盤查系統軟體工具，對用電數據及儲能系統的碳排放進行估

算，制定產品的碳足跡。本論文還結合了所設計的碳排指標，並將結果紀錄於在事業溫室氣體排放量資訊揭露平台，以完成整體的碳排查分析。電池的充電狀態 (State of Charge, SOC) 是評估電池可用電量的指標，同時也反映了在穩定負載下系統的持續運行時間。然而，由於直接測量充電狀態並不容易，因此我們需要透過其他參數進行估算。庫倫計數方法通過對電池充電過程中所有電流的積分來計算剩餘電量  $Q_c$ 。

$$Q_c(t+\tau) = Q_c(t) + \Delta Q \quad (1)$$

於相同電池的工作週期內，將充電變化量做以下定義：

$$\Delta SOC(t+\tau) = \frac{Q_c(t+\tau)}{Q_{normal}} \times 100\% \quad (2)$$

基於電池累積狀態，推斷出充電狀態的即時數值：

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \Delta SOC(t+\tau) \quad (3)$$

C-Rate(Charge/Discharge Rate): 充放電率即充放電電流相對於電池容量之比例。

$$\frac{i_p}{C_N} \times 100\% \quad (4)$$

併網前後電壓變動率: 電力公司規定再生能源併網前、後之電壓變動率不得超過 2.5 %.[10]

$$\frac{V_{New} - V_{Old}}{V_{Old}} \times 100\% = \Delta V \% \quad (5)$$

其中， $V_{New}$  為併網後之電壓值， $V_{Old}$  為併網前之電壓值。

運用上述碳排指標，鑑別出碳盤查範圍內，電力生產的各項設備電力電網內部排碳程度(Emission Degree)。

### 3.3 衝擊分析(Life Cycle Impact Assessment, LCIA):

大氣中含有許多不同的溫室氣體，這些氣體具有不同的特性和排放量。為了比較這些不同溫室氣體對環境的影響，因目前主要的溫室氣體為二氧化碳，故將它們的排放轉換為等效的二氧化碳(CO<sub>2</sub>)排放量進行計算，使用碳當量(CO<sub>2</sub>e)作為單位來表示，能夠更容易地評估不同溫室氣體的總體影響，有助於控制溫室氣體的排放以減緩氣候變化的影響。參考政府間氣候變遷小組(IPCC)制定碳排標準 [11]，如表 1 所示。

表 1 IPCC 碳排放標準

能源類別	生命週期碳當量	碳排放分類
風力	0.011 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	低碳電力
核能	0.012 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	低碳電力
水力	0.024 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	低碳電力
鋰鐵電池	0.033 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	低碳電力
氫儲能	0.038 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	低碳電力
太陽能	0.043 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	低碳電力
生質燃料	0.052 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	低碳電力
天然氣	0.486 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	高碳/ 化石燃料
我國(2022) 生產每度電	0.495 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	高碳
石油	0.84 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	高碳/化石燃料
燃煤	1.001 kgCO <sub>2</sub> eq/kWh	高碳/化石燃料

### 3.4 改善分析/闡釋(Life Cycle Interpretation):

#### 碳匯與碳權交易

碳匯是儲存二氧化碳的天然或人工「倉庫」，天然的二氧化碳倉庫指的是大自然靠著生態系統中原有的運作方式，就可以處理二氧化碳。透過自然方式減量的方法包括綠碳(森林碳匯)、藍碳(海洋碳匯)和黃碳(土壤碳匯)三種[12]。其中，綠碳指的是生態系統中植物、樹木所儲存的碳元素。在台灣，我們通常會觀察到造林樹種的平均絕對乾燥密度、碳含量百分比和轉換係數值。根據 IPCC 所提出之估算原則，在估算時，可利用樹幹部分的木材材積乘以林木的平均比重，然後再將結果乘以林木的碳含量百分比(整株樹木的材積約為樹幹部分材積的 1.3 到 2.0 倍，平均值約為 1.65 倍)進行轉換，即可得到林木所固定的碳素量。以台灣扁柏為例計算，其絕乾比重為 0.42，表示每 m<sup>3</sup> 的木材生物量為 420 kg，碳含量比為 48.22%，因此每 m<sup>3</sup> 的木材固定碳素能力為 203 kg。根據測量結果，台灣扁柏的木材材積為 1.2m<sup>3</sup>，那麼它的整株固定碳量為

$$C = 203 \times 1.2 \times 1.65 = 401.94 \text{ kg} \quad (6)$$

表 2 碳權轉換相關係數值[13]

碳匯種	絕乾比重 (kg/m <sup>3</sup> )	碳含量百 分比(%)	轉換 係數
台灣肖楠	0.54	48.57	0.262
台灣扁柏	0.42	48.22	0.203
二葉松	0.55	47.04	0.259
台灣杉	0.32	48.32	0.155
台灣鐵杉	0.42	48.82	0.205
相思樹	0.77	47.17	0.363
台灣赤楊	0.47	46.20	0.217

## 四、實驗分析結果

本論文建置了一套智慧電力監控系統，主要用於監控實驗場域的用電情況，並利用智慧電錶來收集相關數據。圖 3 顯示了監控系統的首頁，其中包含兩大元素:頁籤(切換畫面功能)和 QR Code(用於連結至監控網站連結)。頁籤分為系統架構\_電力、系統架構\_網路、用電地圖和空氣品質四個部分；在首頁中建置了 QR Code 連結，讓使用者可以透過手機連線至智慧電力監控系統網站，即時監看電力資訊。



圖 4.監控系統首頁

監控系統中包含電力系統架構圖(詳如圖 5)、網路架構圖(詳如圖 6)，這些圖表的目的是讓使用者再使用該監控系統時，能對監控系統有更多認識，藉此了解本論文製作監控系統的開發動機及建置流程。



圖 5.系統架構\_電力



圖 6.系統架構\_網路

用電地圖畫面(詳如圖 7)放置逢甲大學校園平面圖，實驗場域位於資訊電機館地下一樓的實作和設計場域，點擊資訊電機館按鈕可顯示兩個場域的電壓、電流、總功率、頻率和功率因數等詳細資訊，詳如圖 7。



圖 7.用電地圖



圖 8.資訊電機館\_用電資訊

當市電供電不穩定時，使用者可透過按鈕開關啟動儲能系統，以彌補電網內不足的電壓和功率，改善當前電網供電狀態。畫面將顯示儲能系統當前的救援狀態以及相關電力參數（詳見圖 9）。



圖 9.儲能系統

監控系統會將每天的用電資訊紀錄至資料庫，資料格式如圖 10 所示。使用者可透過歷史用電查詢功能(詳如圖 11)查詢歷史用電資訊。以實作場域舉例說明，該畫面建立年、月、日三個表單元件，讓使用者能直接選取日期，排除輸入錯誤日期格式的機會。

id	date	time	field	name	data	unit
1	2023-12-23	11:22:56	A	V_avg	209.78	V
2	2023-12-23	11:22:56	A	I_avg	1.72	A
3	2023-12-23	11:22:57	A	KW_tot	0.59	kw
4	2023-12-23	11:22:57	A	PF	0.91	--
5	2023-12-23	11:22:57	A	kWh_tot	2821.46	kWh
6	2023-12-23	11:22:57	A	Freq	59.75	Hz

圖 10.資料庫畫面



圖 11.歷史用電查詢

於左側部分選擇確切日期後，若是資料庫中有查詢到歷史用電資訊，系統將顯示訊息”資料發送成功”，並陸續顯示當日總耗電量、總碳排放量及其他數值(詳如圖 12)；反之，系統將顯示訊息”找不到符合條件的資料”，如圖 13 所示。



圖 12.歷史用電查詢\_找到歷史資料



圖 13.歷史用電查詢\_未找到歷史資料

監控系統可對場域內的設備，例如照明、空調等，進行預防性維護，及時汰舊換新，以此降低用電量。根據經濟部的資料顯示，老舊電器的耗電量是節能家電的 2.5 倍，尤其在夏季，耗電量會更為明顯[14]。系統可藉由耗電量推算出碳排放量，並針對碳排放量進行衝擊分析，透過固定碳素量評估因耗電量造成的碳排放對環境造成的影響。若超過吸收標準，則進行後續的改善分析。以下將預防性維護分為範圍限定、取得數據、衝擊分析和改善分析四個步驟：

1. 範圍限定: 選取單一或兩個場域進行資料分析。由於 AVEVA Edge 內的下拉式選單元件輸入文字會變為亂碼，因此以英文字母做代號，其中 A 代表實作場域，B 代表設計場域，C 則表示不選取任何場域。當選定場域後，按下確認鍵。
2. 取得數據: 選擇時間日期後，點擊「選取」按鈕並輸入日期，系統將從資料庫中擷取當日的用電數據。若出現錯誤或異常數據(例如亂碼或顯示不完整)，數據將透過 ID 標記直接在系統上進行處理。在系統建置中，已新增忽略跟刪除兩個按鈕，使用者可依情況進行操作。數據抓取完成後，點擊「下一步」按鈕，詳如圖 14。

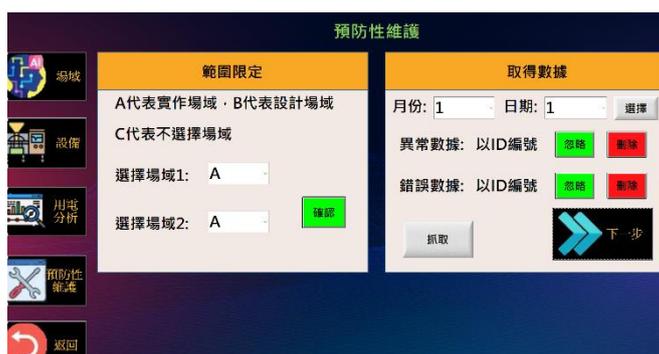


圖 14.預防性維護

3. 衝擊分析: 抓取數據後，對數據進行處理，利用總耗電量乘上一度電的碳排放量 0.495 公斤，可得出總碳排放量；乘上售電電價 3.52(2023)元，可得出場域電費金額。最後，將場域的總碳排放量與台灣扁柏的全株固定碳素量 203 kg/m<sup>3</sup> 進行比較，詳如圖 15 所示。若場域的總碳排放量小於台灣肖楠的固定碳素量，代表樹木可完全吸收總碳排放量。反之則需進行進一步的改善分析，適時啟動

儲能系統以降低排碳量，或透過植樹、購買綠碳憑證等方式來抑制未來可能徵收的碳稅，所需支付的額外成本。

4. 改善分析:根據所選取日期數據進行分析，以預估本月的耗電量和碳排放量，作為儲能系統充放電的參考數據，如果需要儲能系統提供電力，系統將顯示儲能系統應放電的功率，詳如圖 15。



圖 15.預防性維護

本論文於實驗場域中裝設智慧電錶，以監測電力資訊。為了準確取得電力數值，我們採用了兩種不同的接線方式，分別使用有線和無線兩種傳輸方式。以下將對兩種接線方式進行詳細說明。

1. 有線傳輸:將網路線路連接至集線器，然後將集線器連接至乙太網路供電器。網路線(RJ45)可同時傳輸電力和資料。後續 PC 只要連接至乙太網路供電器即可取得即時電力資訊。雖然有線傳輸能夠加快資料傳遞速度，但是 PC 必須持續連接至乙太網路供電器以獲取電力資訊。
2. 無線傳輸:將實作場域和設計場域的網路線路集中至一個集線器。該集線器透過網路線(RJ45)與 IP 分享器相連，確保兩個場域的智慧電錶位在相同的網域。接著，將 IP 分享器連接至乙太網路供電器(PoE)，從而在實作場域、設計場域、智慧電錶和 IP 分享器之間建立一個區域網路。最後透過網路線(RJ45)將個人電腦(PC)連接至 IP 分享器，即可利用乙太網路傳遞電力資訊，詳情請參見圖 16。

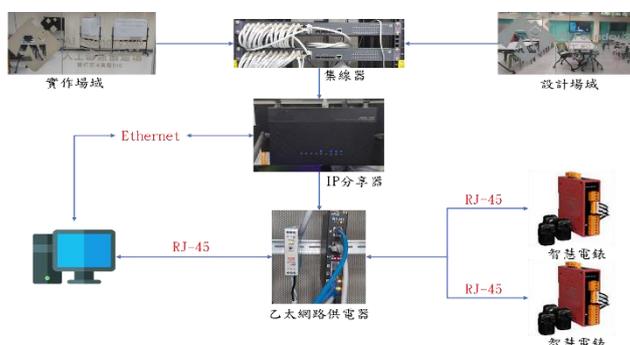


圖 16. 智慧電錶實體接線圖

以下為實作、設計場域及設備：

1. 智慧電錶:場域以美觀及方便配線為裝設目標，因此將智慧電錶裝置內嵌於

天花板上，詳如圖 17。本場域購置泓格科技 PM3133 智慧電錶的設備，實作和設計場域安裝的電錶皆使用 Modbus TCP/IP 進行通訊。



圖 17.智慧電錶

2. 乙太網路供電器 (Power over Ethernet, PoE):是一種可以在乙太網路中透過雙絞線來傳輸電力資料的裝置。本裝置連接實作、設計場域的智慧電錶，(詳如圖 18 的紅色箭頭處)，若要取得電力資料只需透過 RJ-45 通訊線連接 PC 及 PoE 兩端，透過乙太網路傳輸資料。

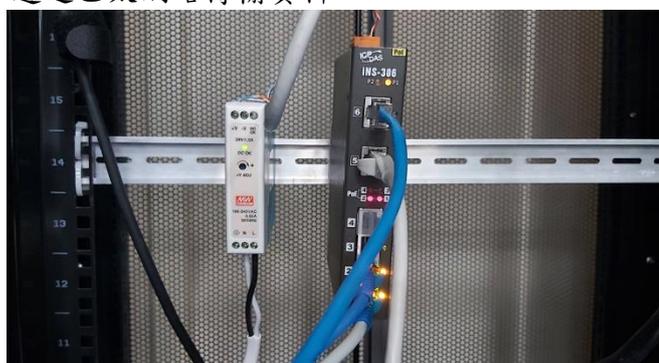


圖 18.乙太網路供電器，PoE

3. IP 分享器:為分享 IP 位址，將原本只能給一台裝置使用的 IP 分享給區域網路中的其他裝置，達到同時上網的目的[15]，詳如圖 19。



圖 19.IP 分享器

4. 集線器 (Ethernet hub):可將多條乙太網路雙絞線或光纖整合在一起，讓其連結的裝置工作在同一網段。當訊號從任一埠進入後，其他埠也可接收到訊號，詳如圖 20。



圖 20.集線器 (Ethernet hub)

5. 場域照片:圖 21、22 為智慧電錶安裝場域，智慧電錶可即時監控實作和設計場域用電狀況；圖 23 為 Switch 的安裝位置，機櫃內的 Switch 上串接了裝設在兩個場域的智慧電錶，經由 RJ-45 傳輸線連接至 Switch 上，當電腦接上 Switch 後便可透過乙太網路(Ethernet)取得智慧電錶的電力資訊。



圖 21.實作場域



圖 22.設計場域

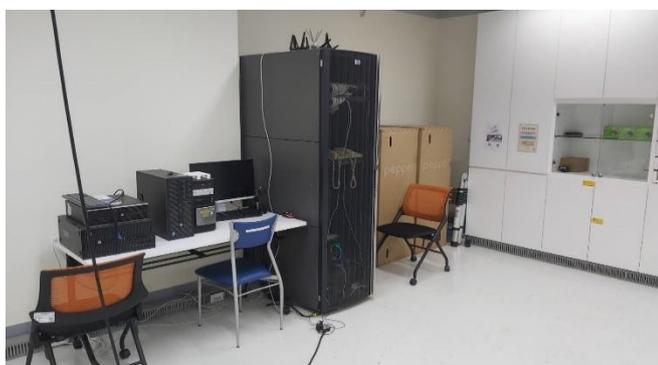


圖 23.Switch 安裝位置

另可藉由用電分析產生趨勢圖，主要是通過智慧電錶對實作場域、設計場域蒐集每秒消耗的總功率，每小時間格傳送資料至邊緣運算，並記錄於雲端監控系統進行用電趨勢圖分析，詳如圖 24~25。



圖 24.用電趨勢圖\_實作場域

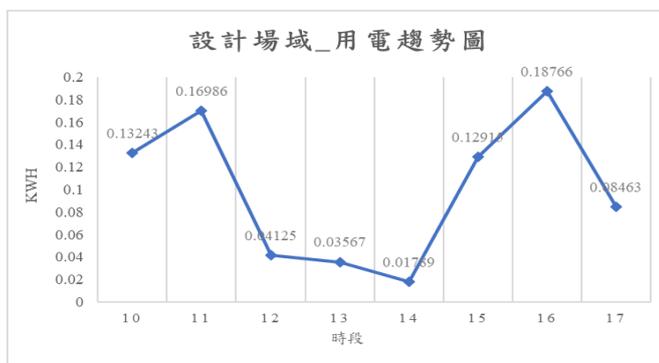


圖 25.用電趨勢圖\_設計場域

當數值有劇烈變動，在下午兩點到三點之間數值有著明顯的劇烈變化(詳如圖 25)，此數據監控負載變動，導致總功率瞬間上升，電網需調節供需平衡，監測設備頻率和功率因數等問題，並立即啟動儲能系統進行電力調節，協助穩定整體電網。

## 五、結論

本論文結合智慧電錶、物聯網技術以及儲能系統應用於智慧電網，製作出一套數位孿生監控系統，實際監控模擬工廠場域的用電情況，並導入電力產品生命週期評估，將智慧電錶實際應用於實作和設計場域。透過可視化界面、即時/歷史趨勢圖表和資料庫，有效記錄、分析和評估監控數據。本系統建置預防性維護與生命週期流程，可選取不同場域的用電數據，抓取資料庫中用電數據，運用總耗電量計算出總碳排放量、電費金額；評估總碳排放量能否被綠碳所吸收，若碳排放量超出綠碳吸收負荷；電費有異常增多情形，則需進行改善分析，根據用電趨勢，自動判斷不同時段用電之電力供應狀況並適度啟動儲能系統，發送綠電至電網，減低室電供應，達到負載轉移的效果或以種植樹木、購買綠碳的方式來吸收過多的碳排放量，降低碳對自然環境的影響。

本系統未來將可擴大監控範圍與設置的便利性，蒐集各區域用電數據繪製出耗電量、碳排放量地圖，顯示用電比例，提供人們更舒適、安全、綠色節能、優質居住環境品質的生活機能。綜上，本文實現對電力系統的監控，能夠有效促進台灣目前的低碳排放政策，同時有助於解決備載容量減少的問題。



## 參考文獻

- [1] Y. Liu, X. Ma, L. Shu, G. P. Hancke and A. M. Abu-Mahfouz, "From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current Status, Enabling Technologies, and Research Challenges," in *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 17, no. 6, pp. 4322-4334, June 2021.
- [2] 台灣新社會智庫。數位化是永續發展的助力還是阻力？。2021年7月。檢自。  
<http://www.taiwansig.tw/index.php/%E6%94%BF%E7%AD%96%E5%A0%B1%E5%91%8A/%E7%92%B0%E4%BF%9D%E7%94%9F%E6%85%8B/8783-%E6%95%B8%E4%BD%8D%E5%8C%96%E6%98%AF%E6%B0%B8%E7%B A%8C%E7%99%BC%E5%B1%95%E7%9A%84%E5%8A%A9%E5%8A%9B%E9%82%84%E6%98%AF%E9%98%BB%E5%8A%9B%EF%BC%9F>
- [3] 國際再生能源總署 (IRENA)，2023年6月。檢自。  
<http://www.eqpf.org/envinews/epContent.aspx?dsn=346&cId=4>
- [4] GREENPEACE。什麼是淨零碳排？臺灣怎麼實現？國際作法一次看。2023年10月。檢自。  
<https://www.greenpeace.org/taiwan/update/38067/%E4%BB%80%E9%BA%BC%E6%98%AF%E6%B7%A8%E9%9B%B6%E7%A2%B3%E6%8E%92%EF%BC%9F%E8%87%BA%E7%81%A3%E6%80%8E%E9%BA%BC%E5%AF%A6%E7%8F%BE%EF%BC%9F%E5%9C%8B%E9%9A%9B%E4%BD%9C%E6%B3%95%E4%B8%80%E6%AC%A1%E7%9C%8B/>
- [5] 全國法規資料庫。電力調度原則綱要，2018年1月。檢自  
<https://law.moj.gov.tw/LawClass/LawAll.aspx?pcode=J0130077>
- [6] ARC Advisory Group。Reducing Unplanned Downtime and Helping Future-proof Automation System Assets, Jun, 2023, from  
<https://www.arcweb.com/blog/reducing-unplanned-downtime-and-helping-future-proof-automation-system-assets>.
- [7] IEA (2022), Global EV Outlook 2022, IEA, from  
<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2022>.
- [8] 台灣經濟研究院。國際義務性綠色貿易趨勢：歐盟碳邊境調整機制草案 (Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)介紹。檢自。  
<https://www.trec.org.tw/epaper/d1aa1d59-fd30-4ecb-8c53-8f1ce45c9b02/article2.html>
- [9] 永豐銀行。碳盤查是什麼意思？。檢自。  
<https://bank.sinopac.com/sinopacBT/personal/article/eco-friendly/carbon-footprint.html>
- [10] 臺灣電力股份有限公司配電處，「再生能源發電系統併聯技術要點」，臺灣電力股份有限公司, Nov. 2018.
- [11] Xinyu Liu, Krishna Reddi, Amgad Elgowainy, Henning Lohse-Busch, Michael Wang, Neha Rustagi, Comparison of well-to-wheels energy use and emissions of a hydrogen fuel cell electric vehicle relative to a conventional gasoline-powered internal combustion engine vehicle, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 45, Issue 1, pp. 972-983, 2020.
- [12] 綠學院。三分鐘帶你看懂綠碳、藍碳、黃碳。2022年8月，檢自。  
<https://greenimpact.cc/Articles/detail?cid=1&id=458>
- [13] 農業部。森林減碳能力之推算方法。檢自。  
<https://www.moa.gov.tw/ws.php?id=17871&print=Y>

[14] 經濟部。十年前和十年後的家電耗電差異大嗎。檢自。

<https://www.relonintl.com.tw/pages/about-energylabel-ranking-nearly-ten-years>

[15] Tp-link。交換器是什麼？3種常見的交換器接法、應用場景及功能介紹。檢自。

<https://www.tp-link.com/tw/blog/119/%E4%BA%A4%E6%8F%9B%E5%99%A8%E6%98%AF%E4%BB%80%E9%BA%BC-3%E7%A8%AE%E5%B8%B8%E8%A6%8B%E7%9A%84%E4%BA%A4%E6%8F%9B%E5%99%A8%E6%8E%A5%E6%B3%95-%E6%87%89%E7%94%A8%E5%A0%B4%E6%99%AF%E5%8F%8A%E5%8A%9F%E8%83%BD%E4%BB%8B%E7%B4%B9/>

