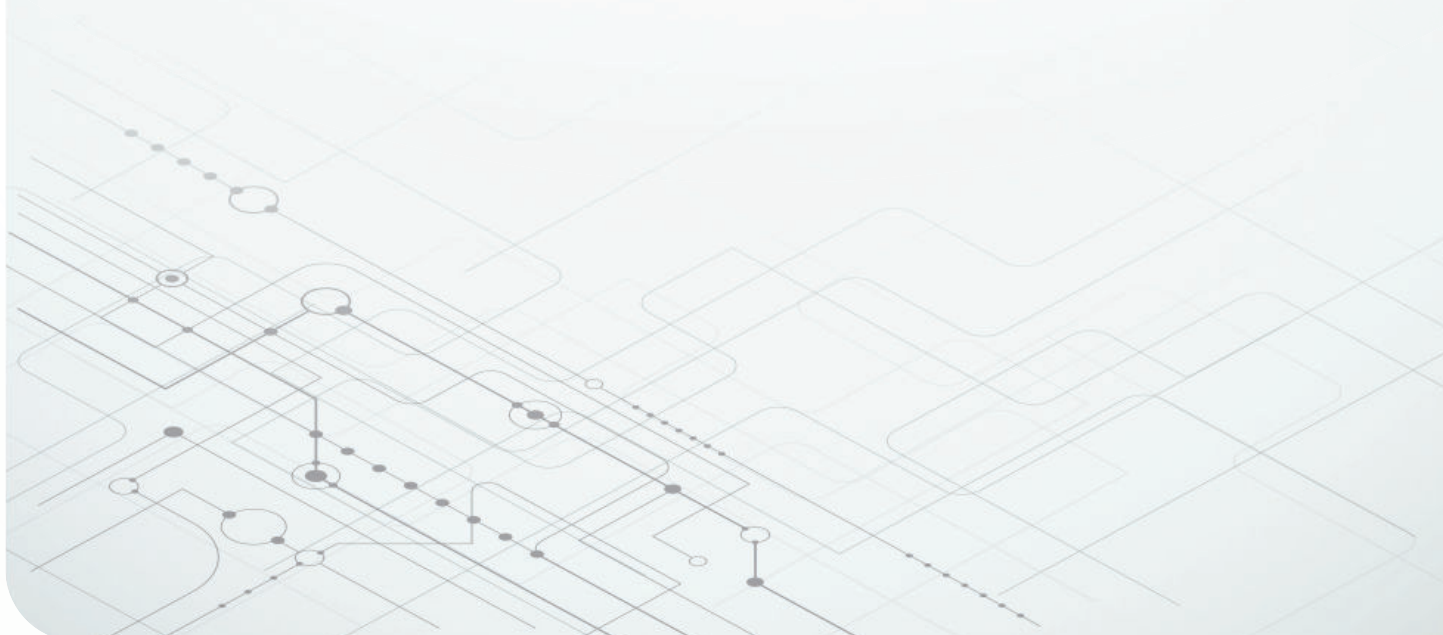


# 將電網現代化，使其更緊密連接、更可靠且更安全



**Henrik Mannesson**  
General Manager  
Grid Infrastructure

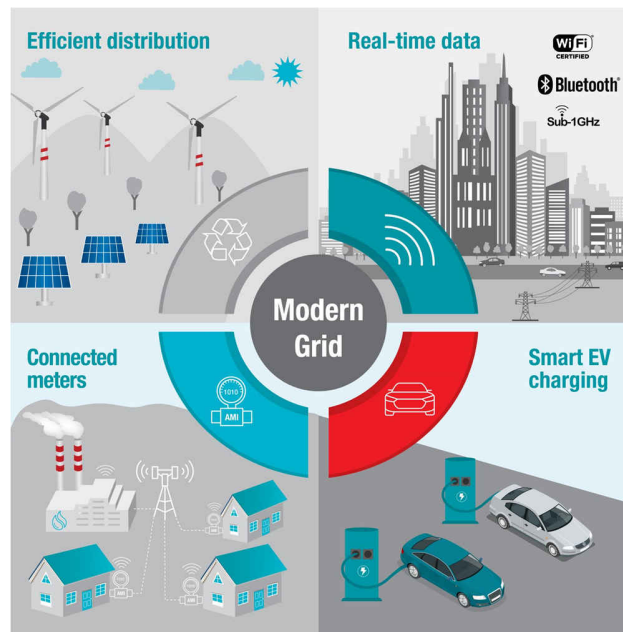


工程師和設計人員在定義連接標準和方法的同時，社區及其電網系統對即時通訊、永續作法和去集中化努力的需求也在擴增，以滿足各種能源需求。

## 摘要

本白皮書摘要說明電網現代化四大要素的發展：

- 1 分散式能源資源是整體電網不可或缺的一部分**  
更多地區將可再生能源的分散化視為加強基礎設施的一種手段。
- 2 雙向電動車充電有助於平衡電網**  
電動車 (EV) 是智慧電網的重要一環、從預測充電需求到節電，或將過多能源加回電網。
- 3 電網即時數據、監控與控制**  
有線與無線技術可傳送電網的即時數據，並可進行自動化、配送與控制。
- 4 連接的電池供電瓦斯表和水表**  
連線電網不只攸關電力，瓦斯與水公用事業機構也可採用各種適用於連線、感測與控制的簡單、低成本解決方案。



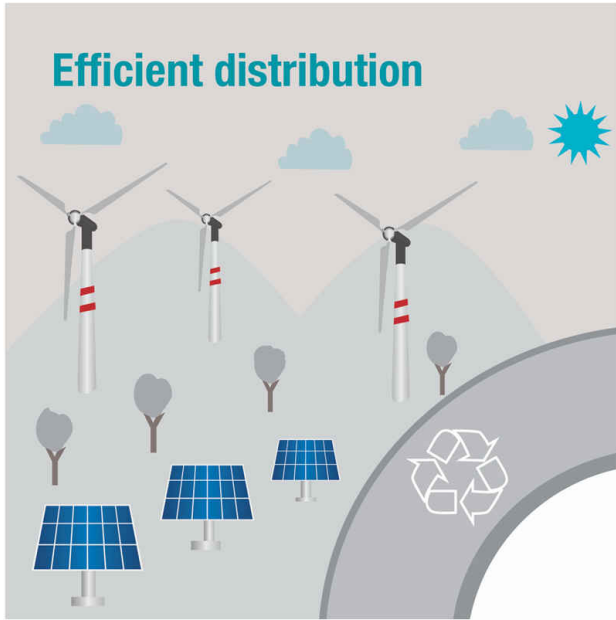
將發電廠連接至住家、建築物、工廠、車輛、城市及其他產業的配電網路，仍需提升可靠性與恢復電力的能力。電網業者可在發電、輸送及配電方面採用先進的連線感測器，監控健康與安全需求、最佳化老舊且昂貴的資產、偵測故障並增加需求，以及在停電期間更快速地恢復電力。

來自電網資產的數據使營運商能夠更透徹了解基礎設施性能，包括不同的發電組合、環境條件或安全風險。智慧電網感測器可遠端監控變壓器和電源線等設備，並促進需求端的資源管理。智慧電網感測器還可以監控天氣事件和電源線溫度，以計算電線的承載能力。各種有線和無線協定(例如工業 **乙太網路**、**RS-485**、**控制器區域網路**和**無線智慧公用事業網路 (Wi-Sun)**) 可以傳達感測器收集的資訊。

在負載端，智慧電表可協助消費者輕鬆移轉至更多居家再生能源解決方案，並為電動車充電。智慧電表也可協助消費者根據能源需求和來源做出更好的選擇。在其他情況下，這類電表可協助監控**雙向充電**，例如家庭或車輛將能源傳回電網時。

過去機電系統網路只有最少的回饋和被動負載，至今已變得高度自動化，並受到智慧裝置和現代化策略的推動。因此，從發電到輸送，從配電到終端使用，都能建立更相互連結的電力傳輸網路，整合分散的能源資源，並確保更高的電網可靠性和彈性。

### 分散式能源資源是整體電網不可或缺的一部分

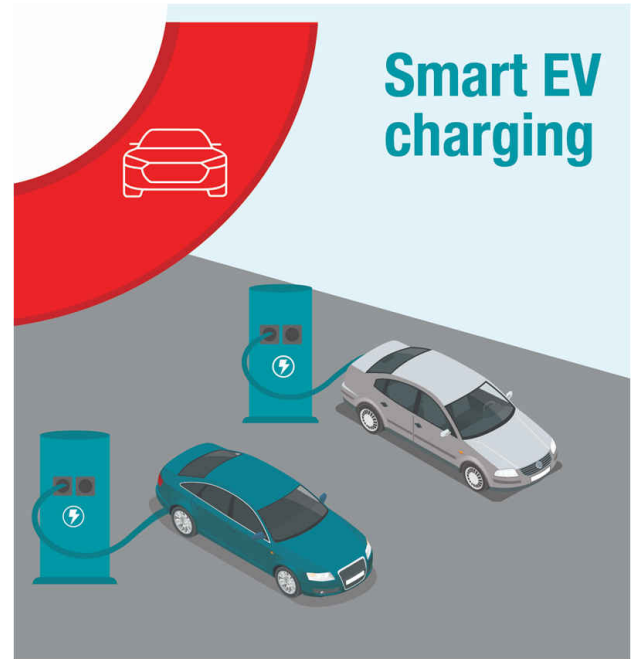


傳統電網一直以來都是「單行道」，其電源是從公用事業供應商集中產生、傳輸和分配線路流向消費者。隨著太陽能與風力能源在電網的佔比開始增加，動態管理將變得更加普遍。公用事業將電網看作是一個互連的網站，有少量但數量不斷增加的消費者利用小型的分散式系統發電。換言之，家庭和車輛可能交替充當能源消耗和發電單元。

太陽能和風力能源的碳排放量為零，且不受價格波動的影響，與化石燃料截然不同。越來越多地區 (特別是陽光充足或風力充足、電力成本高的地區) 已達到電網同價位，可再生能源等於或低於化石燃料成本。

太陽能微變流器是太陽能產業不可或缺的一部分。德州儀器 (TI) 擁有全方位的**隔離**和**非隔離式開極驅動器**、**數位隔離器**、**乙太網路**和**RS-485 收發器**、**電流感測**和**電壓監控**裝置選擇項目，而**微控制器 (MCU)** 可以處理針對各種規模的並網和離網變流器的數位控制迴路，以將系統效率最大化，並延長產品使用壽命。所有這些產品都必須在最嚴苛的環境 (特別是在極端溫度下) 中運作。

### 雙向電動車充電有助於平衡電網



雖然配電系統最初的設計和建造是為了滿足尖峰需求，並透過放射狀基礎設施被動輸送電力，但智慧電網不僅促進更多客戶選擇，也可在本機、遠端或自動進行管理。智慧電網讓公用事業能夠跟上消費者行為變化的腳步 (例如，家中大多數電動車電池充電可能會在夜間非尖峰時段進行)。

性能最高的電動車搭載 22-kW 範圍內的車載充電器。雙向充電器的概念帶來了使用電動車作為電池儲存元件的可能性。假設車庫中的電動車充一次電能行駛 400 英里。但是經由通訊、雲端運算和現代化的電網，汽車「知道」明天車主不會行駛超過 50 英里。在技術上，電池不必在上午 7 點充飽電，因此可以利用夜間將能源從車中取出以供本端消耗，或者在尖峰時段放回電網。公用充電基礎設施具有類似的方法，同時也達到充電站之間的負載平衡。

此外，改善電網電力品質和減少汲取的諧波電流需要功率因數校正，因為許多順向負載是 DC。例如，在以 350 kW 運作的偏移快速電動車充電器中，輸入是從電網連接的三相 AC，而輸出至電池的是 DC。

存在許多用於主動三相功率因數校正的拓撲。**10-kW、雙向三相三級 (T 型) 變流器與 PFC 參考設計**可進行雙向功率校正，並使用碳化矽 (SiC) 金屬氧化半導體場效應電晶體 (MOSFET) 與更高切換頻率，以提升效率並縮小磁性元件尺寸，進而縮小整體系統尺寸。此拓撲可擴充至較高功率智慧電網應用，例如電動車充電和太陽能變流器。SiC

MOSFET 具有較低的切換耗損，可確保更高的直流匯流排電壓 (高達 800 V) 和 >97% 的峰值效率。

TI 對電網未來持續投資的其中一個部分是，推進連接電網的充電器，以及電動車內電池管理系統上啓用電動車充電技術所需的零組件發展。由於電網和電動車電池的高壓電位，隔離裝置對任何電動車充電或電池管理系統設計都十分重要。這些裝置包含通訊與保護電路，例如隔離式與非隔離式放大器、隔離式與非隔離式介面積體電路，以及訊號隔離器的功率。

## 電網即時數據、監控與控制



由於電網的持續快速轉型，電力公用事業在其業務關鍵層面上面臨了重大挑戰。

傳統城市電網依賴地面配電和電線佈線。由於大城市沒有更多的架空電纜，而且一般人不喜歡從自己家裡或在家門前看到電線，因此這種系統需要向地下挖掘電力管道供電。

以前電力公司使用相當簡單的方法就能找出地面上的故障：他們派出一輛維修車沿著電源線行駛，尋找掉落的電源線、掛在電線上的樹，或是電線上過多的積雪。在所有這些情況下、造成電力中斷的原因顯而易見。但電網現代化可在無法看見地下故障時提供即時通訊、量測與監控，以及快速反應與修復。

在連接公用事業電網系統方面，使用即時數據管理已變得比以往更加重要。目標是將數據交給能夠善用數據的人。現代行動裝置是一種隨手可得的平台，可用於智慧電網及整合構成微電網之太陽能光電面板的多種能源的數據傳輸與控制。**Wi-Fi®** 和 **Bluetooth®** 是無線電網連線的顯著方法；如有需要，中間閘道可以是另一個選項。TI 的 **電網 IoT 參考設計：使用 Wi-Fi® 將斷路器和感測器連接到其他設備** 是專為智慧電網中的即時資產監控而設計。參考設計的主要優點包括：

- 即時資產健全狀況監控 (透過 Wi-Fi® 通訊監控電流、電壓和溫度)。
- 為關鍵應用新增備援的可變資料速率傳輸功能。
- 備份變電所內的有線通訊。
- 縮短偵測故障的反應時間。
- 縮短停電時間。

此參考設計展示了整合 Wi-Fi 如何能成為可要求高資料傳輸速率和高頻寬之變電所設備和住宅斷路器的可行解決方案。Sub-1 GHz 連線是另一種適用的無線技術，可在長距離下傳輸變電所和配電自動化的低功耗資料，在多個節點 (如故障指示器) 需要將資料傳輸至單一資料收集器以形成星狀網路時，非常實用。這兩種技術都可透過基於基礎 SimpleLink 軟體開發套件的 SimpleLink™ 無線 MCU 系列獲得，進而促進 100% 代碼重複使用，和多種無線連線技術之間的無縫轉換。

**電網 IoT 參考設計：使用 Sub-1 GHz RF 連接故障指示器、資料收集器和 Mini-RTU**，在多個感測器節點 (在此情況下為故障通道指示器 [FPI]) 與使用 TI 15.4 堆疊的收集器之間的星狀網路中採用無線 Sub-1 GHz 通訊。此設計針對短距離 (<50 m) 的低功耗進行最佳化，使用高架 FPI 和配電自動化中的數據收集器作為應用方案。

同時也採用了 TI SimpleLink 系列中的 **CC1310**，該系列採用 Sub-1 GHz 射頻 (RF) 收發器和 Arm®Cortex®-M3 MCU。TI 15.4 堆疊可透過美國、歐洲電信標準協會和中國頻帶來設定信標模式通訊。電流消耗數據可透過最佳化傳輸功率等級 (0 至 +10 dBm) 和信標間隔 (0.3 s 至 5 s)，以 50 Kbps 的資料傳輸速率傳輸 1 至 300 位元組的單一封包資料傳輸。

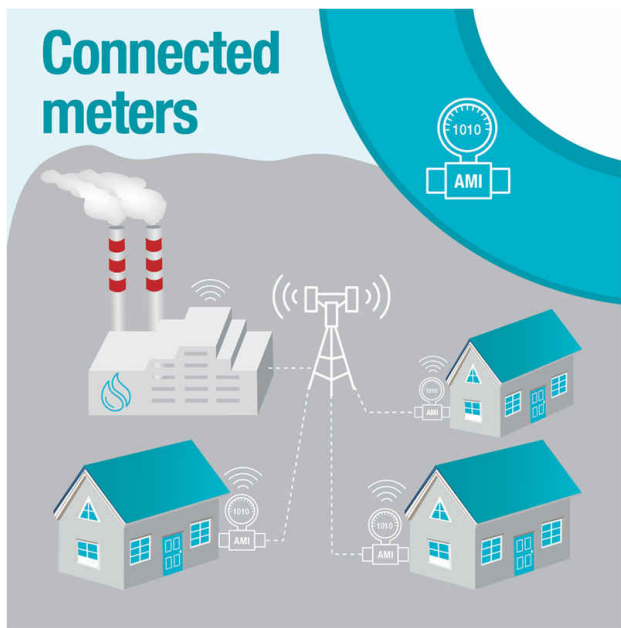
由於電網經由風力渦輪機和太陽能板的多個饋入點連接到可再生電源，因此配電變得更加複雜。提升自動化程度是

一項具有遠端量測、服務與維修功能的決定性特徵，需要即時監控與控制以及高可靠性。網路備援在這些複雜的智慧電網中極具根本的重要性。這個重要零組件或功能的複本確保系統能在故障情況下繼續運作，減少網路停機時間及可能導致的財產損失甚至生命危害。網路備援還可使工作人員在電力輸送不中斷的情況下進行網路子集維護。

乙太網路普遍受用，而且隨手可得，並以國際電子電機委員會 (IEC) 61850 乙太網路標準為基礎來進行電網管理。備援協定是增加可靠性，並使乙太網路成為智慧電網管理網路的基石。IEC 62439-3 定義兩種架構：並行備援協定 (PRP) 和高可用性無縫備援 (HSR)，用於在有線乙太網路上實現零損耗備援。ARM 型處理器與 MCU 整合了對這些通訊協定與相關直通切換的支援。使用 PRP，每個節點連接到兩個單獨的並行區域網路 (LAN)。

來源節點為每個封包傳送兩份，每個介面各一份。目的節點接收訊框，接受第一個複本，並捨棄第二個訊框。只要兩個網路中的任一網路能夠運作，目的節點總是會收到至少一個封包，並且不停機。HSR 環提供與 PRP 相同的備援層級，使用環狀拓撲而不是兩個 LAN。

## 連接的電池供電瓦斯表和水表



雖然連線量表部署最初是以電力開始，但流量計市場 (氣體、水、熱能) 中採用自動抄表 (AMR) 與智慧型電表的也有逐漸變多的趨勢。

為了減少機械故障、提高準確度並加入智慧，瓦斯表和水表因而受益於以下技術：

- 具高準確度和低耗能的超音波流量測量。
- 即時監控有線隔離與非隔離通訊，以及通訊資料與故障。
- 長距離無線通訊，確保連結性，或連接現有網路基礎架構的能力。
- 智慧電源管理功能，使效率最大化，提供至少 10 年以上的電池續航力。

**電表**供電系統明顯可見；由於量測是從電源線取得數據，因此有電表的地方就會有電源。電池供電技術則是瓦斯與水計量的標準，因此也面臨更多挑，因為電力成本預算要低得多。另外還面臨一個商業挑戰：在許多地區，規模比電力公司小的實體，負責處理瓦斯和水。在同一地區，可能有一個組織擁有電表網路，但有多家公司向居民供應水。

此外，想要新增 AMR 功能的水或瓦斯公用事業供應商，也必須選擇更換現有的所有電表，或安裝電子連結功能模組，以準確測量流速，並以無線方式傳輸結果。這類連結功能模組提供平價的解決方案，為消費者提供 AMR 功能，如**具有感應式感測的低功耗水流量測參考設計**所示，此參考設計由 CC1350 SimpleLink 無線 MCU 支援。

在瓦斯表或水表網路中，智慧電表是負責收集使用數據並回報上游控制節點的感測器。精準的超音波量測有助於減少機械故障，並提升系統可靠性。超音波量測採用無機械零組件的固態感測器架構，可避免機械磨損。採用超音波流量測量系統單晶片 (SoC) 後，過渡到此技術的成本大幅降低。

TI 領先業界的智慧型瓦斯表、水表和電表積體電路與參考設計，可協助原始設備製造商 (OEM) 因應設計挑戰，透過多種超低功耗有線和無線介面裝置選擇，提高量測準確度，並延長電池續航力。

**超音波感測水表前端參考設計**可協助工程師使用整合式超音波感測類比前端 (AFE) 開發超音波水計量子系統，以低功耗與最大整合範圍提供高性能量測。此設計是以 **MSP430FR6047** 超音波感測 SoC 為基礎。此 SoC 提供整合式超音波感測子系統 AFE，可根據波形擷取方法來為各種流速提供高準確度。此外，本裝置還能透過最大整

合，並結合更低的系統成本來協助實現超低功耗量測，而這只需極少的外部零組件。

同樣的，[電池供電智慧流量計的電池和系統健全狀況監控參考設計](#)實現了高準確度的電源量測與健全狀況預測，進而得以預測電池續航力。監控子系統也可防護會造成電池續航力大幅降低的過電流情況。

## 結論

在全國、各州與公用事業單位均忙著建造未來的電網，將過渡性的被動、電氣和電機電網轉變為具有動態控制的主動電網。電網現代化的技術驅動因素包括：

- 將電子技術和半導體裝置帶到電網邊緣的量表。
- 整合分散式可再生發電資源。
- 適應電氣運輸系統及其充電基礎設施。
- 在電網監控、防護和控制方面獲得改善。

將電網以及可進行通訊及合作的控制項現代化，以更可靠且有效率的方式提供電力，如此可大幅降低電力中斷的頻率與持續時間、減少風暴的影響，並在發生停電時更快速地還原服務。更新老化系統不是件易事，也不會很快完成，但最終證明在未來數十年內，這件事對社會和經濟最為有利。

## 其他資源

- 進一步了解[電網基礎設施的連線技術](#)。
- 閱讀技術文章「[How Wi-SUN FAN Improves Connected Infrastructures \(Wi-SUN FAN 如何改善連線基礎設施\)](#)」和「[Top 3 Design Considerations for EV Charging \(電動車充電的前 3 大設計考量\)](#)」。
- 下載 [RS-485 設計指南](#)。

**重要聲明：**本文所述德州儀器及其子公司相關產品與服務經根據 TI 標準銷售條款及條件。建議客戶在開出訂單前先取得 TI 產品及服務的最新完整資訊。TI 不負責應用協助、客戶的應用或產品設計、軟體效能或侵害專利等問題。其他任何公司產品或服務的相關發佈資訊不構成 TI 認可、保證或同意等表示。

Bluetooth® is a registered trademark of Bluetooth SIG, Inc.  
Wi-Fi® is a registered trademark of Wi-Fi Alliance.  
所有商標均為其各自所有者的財產。

## IMPORTANT NOTICE AND DISCLAIMER

TI PROVIDES TECHNICAL AND RELIABILITY DATA (INCLUDING DATA SHEETS), DESIGN RESOURCES (INCLUDING REFERENCE DESIGNS), APPLICATION OR OTHER DESIGN ADVICE, WEB TOOLS, SAFETY INFORMATION, AND OTHER RESOURCES "AS IS" AND WITH ALL FAULTS, AND DISCLAIMS ALL WARRANTIES, EXPRESS AND IMPLIED, INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY, FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE OR NON-INFRINGEMENT OF THIRD PARTY INTELLECTUAL PROPERTY RIGHTS.

These resources are intended for skilled developers designing with TI products. You are solely responsible for (1) selecting the appropriate TI products for your application, (2) designing, validating and testing your application, and (3) ensuring your application meets applicable standards, and any other safety, security, regulatory or other requirements.

These resources are subject to change without notice. TI grants you permission to use these resources only for development of an application that uses the TI products described in the resource. Other reproduction and display of these resources is prohibited. No license is granted to any other TI intellectual property right or to any third party intellectual property right. TI disclaims responsibility for, and you will fully indemnify TI and its representatives against, any claims, damages, costs, losses, and liabilities arising out of your use of these resources.

TI's products are provided subject to [TI's Terms of Sale](#) or other applicable terms available either on [ti.com](https://www.ti.com) or provided in conjunction with such TI products. TI's provision of these resources does not expand or otherwise alter TI's applicable warranties or warranty disclaimers for TI products.

TI objects to and rejects any additional or different terms you may have proposed.

Mailing Address: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265  
Copyright © 2023, Texas Instruments Incorporated