

Wdrażanie Internetu Rzeczy dla Energii Odnawialnej

W poprzedniej Części szeroko omówiono koncepcję Energetycznego Internetu Rzeczy (EIoT); Ta część kieruje dyskusję w kierunku praktycznych rozważań w procesie wdrażania koncepcji EIoT omówionych wcześniej. Zasadniczo proces energetyczny obejmuje wytwarzanie, dystrybucję, monitorowanie, kontrolę i zużycie. Każdy z tych obszarów doświadcza obecnie innowacji. Na arenie wytwarzania znacząca jest obietnica odnawialnych źródeł energii elektrycznej, w tym pojawienie się rozproszonych źródeł energii (DER). Technologie wytwarzania energii odnawialnej są czyste, powszechne i obecnie szeroko rozpowszechnione. Niektóre z tych technologii charakteryzują się niskimi bieżącymi kosztami operacyjnymi, chociaż do zbudowania systemów niezbędnych do zarządzania nimi wymagane są inwestycje w infrastrukturę. W tej chwili przemysł elektroenergetyczny opiera się na założeniu, że ludzie mogą kontrolować każdy szczegół produkcji i dystrybucji. Jednak odnawialne źródła energii generują ilość energii elektrycznej, która zwykle zmienia się z chwili na chwilę. Ponadto wytwarzają energię elektryczną w „niewłaściwych porach” dnia, zapewniając dostępność, gdy zapotrzebowanie jest niskie, a niedobory, gdy zapotrzebowanie jest największe. Tak więc, chociaż odnawialne źródła energii zostały dodane do sieci w dużych ilościach, wiatr, energia słoneczna i mikro sieci z natury rzeczy stwarzają wyzwania w zakresie zarządzania z powodu nieprzewidywalnych i zmiennych produkcji energii. Dystrybucja może również stanowić wyzwanie, ponieważ farmy słoneczne lub wiatrowe mogą nie znajdować się w optymalnej odległości od konsumenta lub istniejącej infrastruktury dystrybucyjnej. Istnieje potrzeba monitorowania wszystkich elementów sieci wspierających energetykę. Dodatkowo pożądane jest zarządzanie użytkowaniem i/lub zachęcanie do konserwacji; pożądane jest rozmieszczenie urządzeń domowych (i/lub komercyjnych), takich jak programowalne termostaty, które zarządzają zużyciem energii elektrycznej podczas nieobecności właścicieli domów. Ponieważ branża energetyczna poszukuje nowego paradygmatu dystrybucji i zarządzania, który może włączyć odnawialne źródła energii do sieci, wykorzystanie urządzeń Internetu rzeczy (IoT) może zapewnić rozwiązania poprzez elastyczne zarządzanie popytem. Koncepcje IoT specjalnie zoptymalizowane pod kątem przemysłu energetycznego są idealne. EIoT może złagodzić wspomniane wyzwania, koordynując zapotrzebowanie na energię elektryczną z dostawą energii elektrycznej; może to przyspieszyć przyjęcie odnawialnych i zrównoważonych technologii energii elektrycznej. EIoT w domu wyprodukował urządzenia, takie jak programowalne termostaty, które zarządzają zużyciem energii elektrycznej podczas nieobecności właścicieli domów. Istnieje szerokie poparcie branżowe dla technologii EIoT; Tu opisano szereg kluczowych zmian, które są wymagane do ułatwienia wdrożenia na szeroką skalę dynamicznej sieci inteligentnej (SG), zarządzanej w ramach mechanizmów EIoT. Omówiono kwestie związane ze sterowaniem odnawialnymi źródłami wytwarzania wykorzystującymi zasady IoT, a także inicjatywy branżowe w kontekście wymaganej standaryzacji technologii informacyjno-komunikacyjnych (ICT)/IoT. Ponadto podkreślono absolutnie krytyczne wymagania dotyczące bezpieczeństwa sieci.

Zarządzanie wpływem zrównoważonej energii

Klasyczna sieć energetyczna opiera się głównie na wytwarzaniu energii elektrycznej ze stabilnych, dyspozycyjnych, kontrolowanych źródeł, takich jak duże scentralizowane elektrownie na paliwa kopalne. Rozproszone odnawialne źródła energii to źródła odnawialnej energii wytwarzanej przez lokalne społeczności i prywatnych właścicieli domów i rozprowadzanej we wspólnej sieci. Kilka przykładów rozproszonych odnawialnych źródeł energii wymieniono w tabeli.

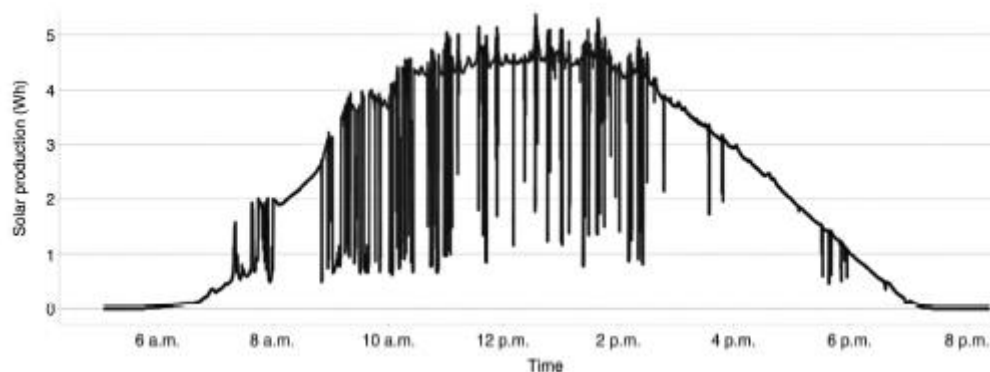
Energia słoneczna: te urządzenia przekształcają światło słoneczne bezpośrednio w użyteczną energię, taką jak gorąca woda, para i energia elektryczna wytwarzana przez fotowoltaikę

Wiatr : urządzenia używane do przekształcania energii wiatru w energię elektryczną lub dostarczania momentu pędu bezpośrednio do urządzeń napędzających, takich jak wiatraki

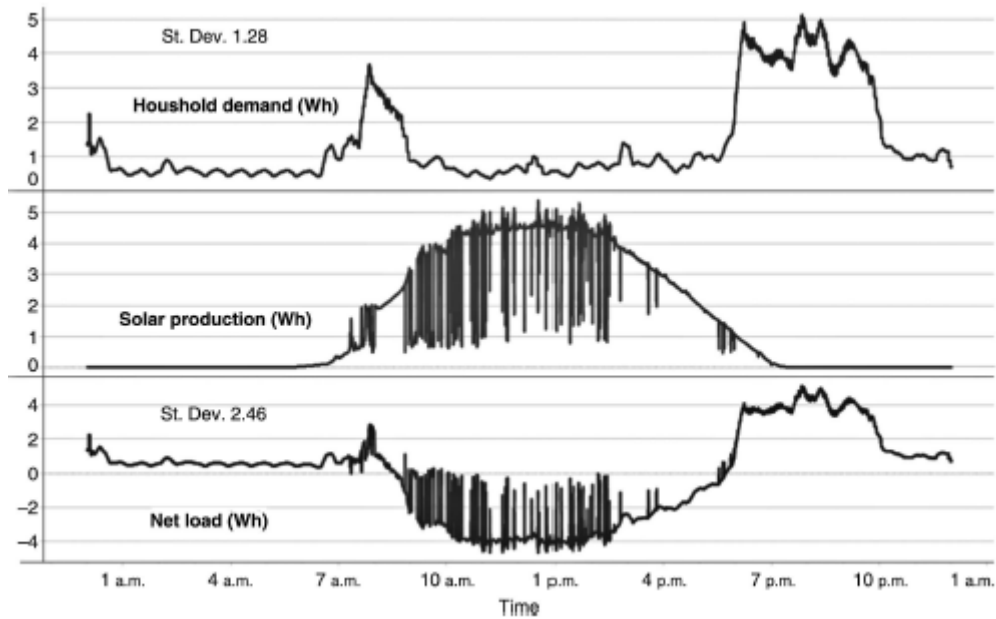
Hydro : urządzenia, które przekształcają energię potencjalną wody w energię użyteczną za pomocą zapór lub bezpośrednio zapewniają moment pędu, takie jak młyny wodne

Ogniwa paliwowe: urządzenia, które przekształcają chemiczną energię potencjalną w cząsteczkach H₂ i O₂ w H₂O, CO₂ i użyteczną energię elektryczną

Rozprzestrzenianie się nowych technologii energetycznych stwarza wyzwania i możliwości dla operatorów. Aby zbadać te kwestie, ważne jest zrozumienie wzajemnego połączenia wytwarzania i magazynowania energii w systemie sieciowym. Lokalne wytwarzanie energii z wielu źródeł odnawialnych wiąże się z dwoma wyzwaniami: niedostępnością i wysoce zmienną wydajnością. Niedostępne źródło energii nie może być sterowane w oparciu o pożądany przepływ energii. Zmienne źródło energii zmienia się w ilości wytwarzanej energii z minuty na minutę. Dlatego też dodawanie dużych ilości energii odnawialnej do sieci energetycznej powoduje również dużą nieprzewidywalność. Rozważmy przypadek rozproszonej energii słonecznej jako zmiennej, niedyspozycyjnej technologii energii odnawialnej, która jest powszechnie przyjmowana przez klientów i musi być skutecznie zintegrowana z siecią energetyczną. Jeden z przykładów można zaobserwować, badając fluktuacje promieniowania słonecznego w ciągu 1 dnia w Oahu na Hawajach, jak pokazano na rysunku 15.1.



Linia jest wielkością produkcji energii słonecznej w odstępach 3 s przez typowy, przeważnie słoneczny dzień. Zwróć uwagę na ekstremalną zmienność energii dostępnej do produkcji energii elektrycznej w jednym miejscu. Tę zmienność komplikuje potrzeba niemal natychmiastowego generowania i wykorzystywania energii. Choć niektórzy uważają, że obecne sieci elektryczne mają zdolność magazynowania energii elektrycznej, tak nie jest: nie ma znaczącego magazynu energii podłączonego do sieci elektrycznych, który byłby w stanie zatrzymać energię elektryczną przez pewien czas, dopóki nie będzie potrzebna. W przypadku braku takiej pojemności magazynowej, ilość wyprodukowanej energii elektrycznej musi odpowiadać ilości energii elektrycznej zużytej o dowolnej porze dnia lub roku. Jeśli się nie zgadzają, istnieje ryzyko złej jakości energii (brak prądu), odcięcia obciążenia odbiorców od zasilania (zanki), a nawet uszkodzenia sieci. W celu precyzyjnego dopasowania podaży do popytu, aktualnie zapotrzebowanie na energię elektryczną jest monitorowane, a produkcja sterowana przez działającego operatora systemu, który co kilka minut planuje dostarczaną energię elektryczną, a także systemy automatycznej regulacji, które mogą w krótszym czasie dostosować przepływ energii do sieci. niż sekundę. Typową krzywą popytu mieszkaniowego przedstawia wykres .



Pierwsza krzywa pokazuje zużycie energii elektrycznej w typowym gospodarstwie domowym przez 1 dzień. Druga krzywa pokazuje typową dzienną produkcję energii słonecznej, przeskalowaną tak, że całkowita produkcja energii słonecznej równa się całkowitemu zużyciu w gospodarstwie domowym. Ostateczna krzywa to zapotrzebowanie gospodarstw domowych pomniejszone o produkcję energii słonecznej, przy czym wartości ujemne wskazują moc płynącą z powrotem do sieci elektrycznej. Zwróć uwagę na niedopasowanie czasowe konsumpcji do produkcji, a także zwiększoną zmienność, przyjmując odchylenie standardowe od 1,28 do 2,46 Wh. W szczególności to gospodarstwo domowe zużywa około 40 kWh dziennie. Odchylenie standardowe, miara zmienności krzywej, jest pokazane jako 1,28 Wh. Krzywa zmiennej produkcji słonecznej osiąga szczyty w środku dnia, kiedy nasłonecznienie jest największe, podczas gdy krzywa popytu gospodarstw domowych osiąga szczyty rano, gdy mieszkańcy przygotowują się do pracy, oraz wieczorem, kiedy mieszkańcy wracają do domu, aby zakończyć codzienne czynności domowe, takie jak przygotowywanie obiadu, oglądanie telewizji lub pranie (Oszczędzanie Energii IEA, b.d.). Należy zauważyć, że gdy od obciążenia gospodarstwa domowego odejmiemy produkcję energii słonecznej, całkowite obciążenie drastycznie spada. Nadmiar mocy wraca do sieci w godzinach południowych (stąd wartości ujemne dla obciążenia netto), a moc pobierana jest z sieci w godzinach porannych i wieczornych. Na tej ilustracji dopasowaliśmy dobową produkcję energii słonecznej do dziennego zapotrzebowania, tak aby dzienne obciążenie netto wyniosło zero. Oznacza to, że w sieci energia słoneczna produkowana przez dom jest wykorzystywana przez właścicieli domów. Należy jednak zauważyć, że zróżnicowanie obciążenia netto podwoiło się do 2,46 Wh. Ponieważ nowe technologie wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych dojrzały i stały się konkurencyjne ekonomicznie, brak pojemności magazynowej w naszych sieciach elektrycznych stanowił wyzwanie. Przykłady technologii magazynowania energii podano w tabeli .

Baterie chemiczne: Przechowywanie energii w chemikaliach w zamkniętym ogniwie Przechowywanie wodoru: Wykorzystanie nadmiaru wytworzonej energii elektrycznej do napędzania elektrolizy, tworzenia wodoru i tlenu, które mogą być przechowywane do późniejszego wykorzystania w ogniwie paliwowym do wytwarzania energii elektrycznej

Pojazdy elektryczne: korzystanie z akumulatorów pojazdów elektrycznych podłączonych do wtyczki poprzez ładowanie poza godzinami szczytu i oddawanie energii elektrycznej do sieci w godzinach szczytu

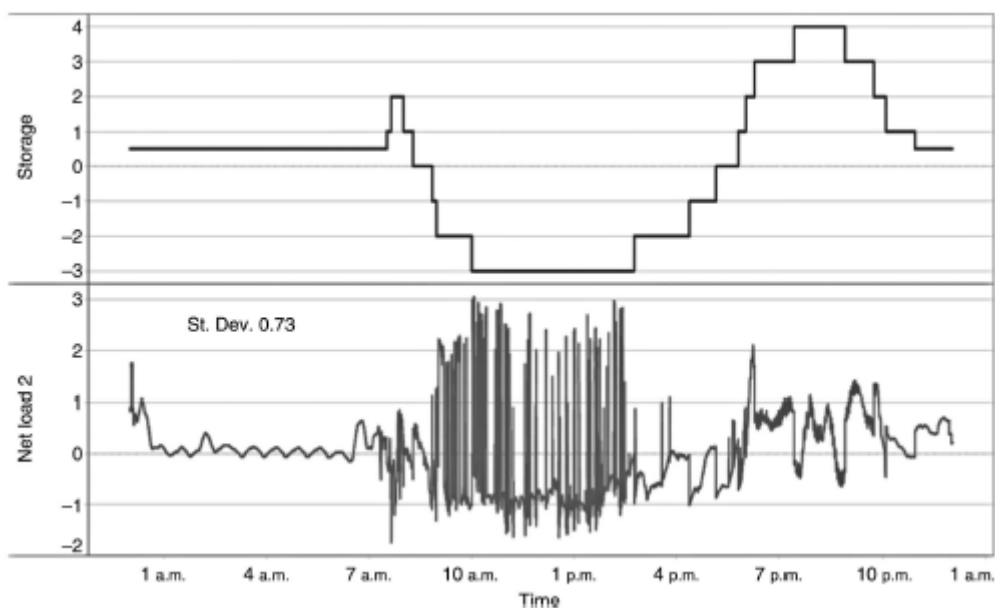
Hydrostorage: magazynowanie energii poprzez pompowanie wody pod górę za pomocą energii elektrycznej i uwalnianie jej z powrotem w dół w celu wytworzenia energii elektrycznej

Zasilacze bezprzerwowe: Urządzenia do przechowywania energii do krytycznych zastosowań, takich jak komputery, które wymagają zapasowego źródła energii

Magazynowanie termiczne : wychwytywanie energii w magazynach termicznych, takich jak lód, która może być później uwolniona w celu zapewnienia usług energochłonnych, takich jak klimatyzacja

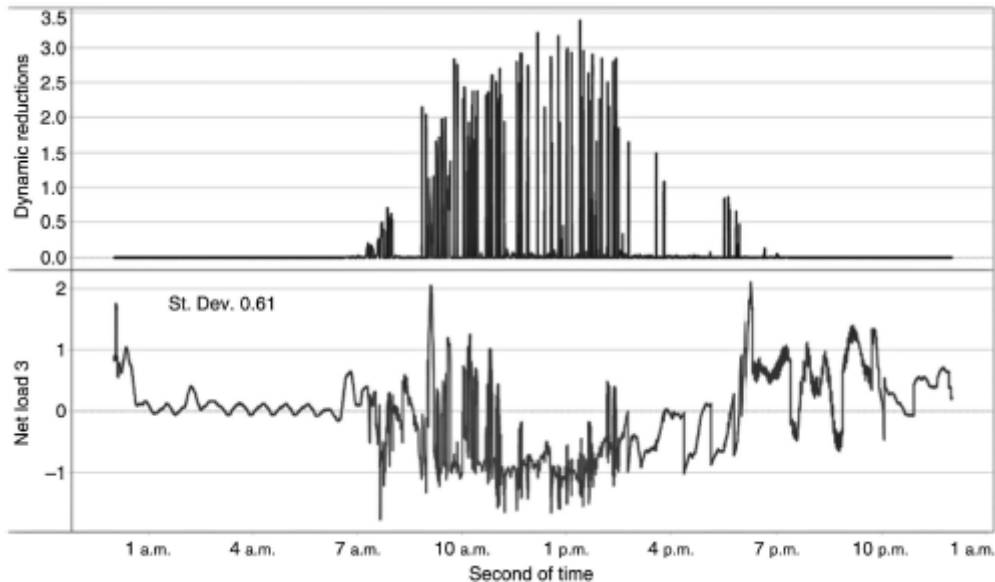
Ponieważ energia elektryczna musi być zużyta natychmiast po jej wyprodukowaniu i do momentu, gdy do sieci można będzie dodać pojemność magazynową, krzywa popytu (energia elektryczna wymagana przez odbiorców) musi odpowiadać krzywej podaży (energia elektryczna dostarczana przez dostępne źródła zasilania). W przypadku dwóch dominujących form energii odnawialnej, wiatrowej i słonecznej, wyzwaniem jest dostosowanie podaży do popytu bez dodawania magazynowania energii do sieci. Jednym ze sposobów na to jest EIoT.

W przykładzie energii słonecznej w budynkach mieszkalnych, jeśli możliwe jest magazynowanie wytworzonej energii, byłoby możliwe nawet przy zastosowaniu prostej strategii wyrównania zarówno tempa produkcji, jak i zużycia energii. Ten hipotetyczny, ale możliwy scenariusz można zobaczyć na rysunku,

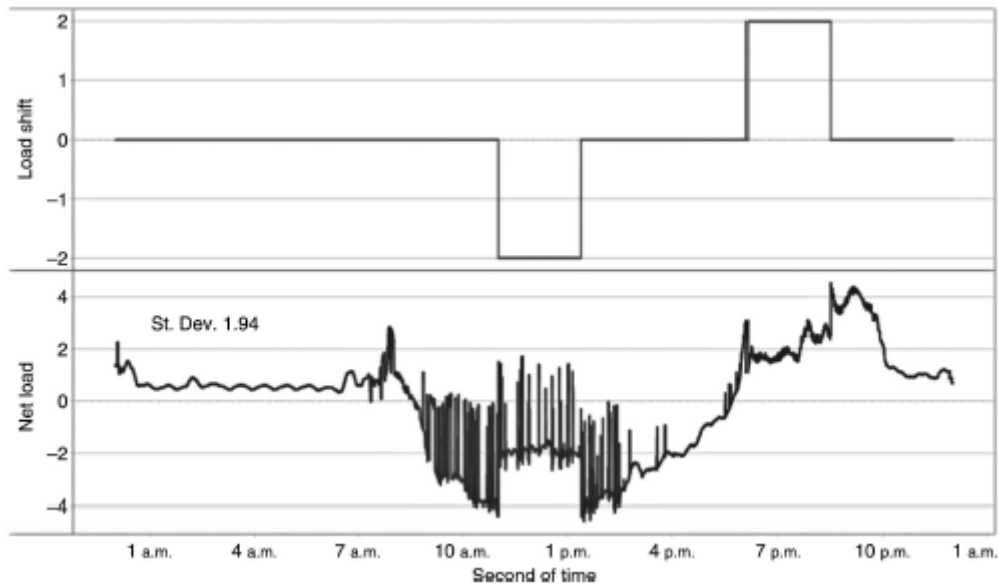


który przedstawia symulację obejmującą pamięć masową. Pierwsza krzywa pokazuje jeden sposób wykorzystania magazynowania w ciągu dnia poprzez magazynowanie energii słonecznej w środku dnia i uwalnianie jej w godzinach porannych i wieczornych. Odejmując tę krzywą magazynowania od krzywej obciążenia netto z rysunku wcześniejszego otrzymujemy obciążenie netto 2, czyli obciążenie wynikowe po włączeniu energii słonecznej i magazynowania do typowego gospodarstwa domowego. Zwróć uwagę, że to obciążenie netto 2 pozostaje w pobliżu zera przez cały dzień, ale nadal jest dość niestabilne, obniżając odchylenie standardowe z 2,46 do 0,73 Wh. Należy pamiętać, że bateria ładuje się w ciągu dnia i rozładowuje w godzinach porannych i wieczornych. W tym przykładzie akumulator uwalnia 5,9 kWh energii rano, pochłania 24,5 kWh energii w ciągu dnia i uwalnia 17,6 kWh energii

wieczorem. Zastosowanie tej strategii magazynowania ropy również drastycznie zmniejsza zmienność popytu netto, zmniejszając odchylenie standardowe do 0,73 Wh. Magazynowanie to najskuteczniejsza metoda zarządzania brakiem dostępności energii ze źródeł odnawialnych, przy jednoczesnym drastycznym ograniczaniu zmienności popytu. W przypadku energii słonecznej w budynkach mieszkalnych połączenie dynamicznych, krótkoterminowych redukcji z urządzeń EIoT z naszą strategią magazynowania może stanowić najlepszy przykład urządzeń EIoT zarządzających złożonością energii odnawialnej. Można to zobaczyć na rysunku,



który pokazuje symulację dynamicznej redukcji. Pierwsza krzywa pokazuje, jak szybko reagujące urządzenie EIoT może szybko zmniejszyć obciążenia w odpowiedzi na wahania mocy słonecznej. Drugą krzywą uzyskuje się odejmując redukcje dynamiczne od krzywej obciążenia netto z rysunku wcześniejszego. Należy zauważyć, że użycie dynamicznie zmieniających się obciążeń obniża odchylenie standardowe z 0,73 do 0,61 Wh z rysunku. Dzięki przeciwdziałaniu ostrym szczytom obciążenia i wykorzystaniu urządzeń do zarządzania krótkotrwałymi szczytami, zmienność obciążenia netto dalej spada (do 0,61 Wh), przy jednoczesnym utrzymaniu niskich przepływów energii netto do i z sieci oraz równoważeniu wytwarzania i zużycia energii ze źródeł odnawialnych. Na szczęście energia słoneczna ma dobrą korelację z obciążeniami w południe; jednak energia słoneczna nie zawsze wytwarza energię elektryczną w okresach szczytowego zużycia. Ceny energii elektrycznej są również wysokie, gdy obciążenia są wysokie. Jest tak, że cena produkcji energii wiatrowej i słonecznej jest bardzo niska w porównaniu z innymi źródłami energii. Jednak włączenie do zasilacza dużej ilości niedyspozycyjnych źródeł energii może, ale nie musi, przyczynić się do generowania energii w szczytowych momentach zużycia. Fakt ten może wyolbrzymiać ówczesne ceny energii elektrycznej i nie zmniejszy kosztów kapitałowych związanych z generowaniem obciążeń szczytowych. W przykładzie energii słonecznej w budynkach mieszkalnych EIoT daje nam możliwość przenoszenia obciążeń z czasów, gdy odnawialne źródła energii nie są dostępne, do czasów, w których są one dostępne. Rysunek przedstawia przykład przesunięcia obciążenia poprzez zmianę harmonogramu pracy pojedynczego urządzenia o mocy 2 kW.



Pierwsza krzywa pokazuje wpływ przesunięcia obciążenia 2kW z godzin wieczornych na południe, kiedy produkcja energii słonecznej jest wysoka. Druga krzywa pokazuje przesunięcie obciążenia dodane do ładunku netto z rysunku drugiego. Zauważ, że nawet bardzo prosta strategia, taka jak ta, może przesuwać obciążenia zgodnie z produkcją energii słonecznej i obniżyć odchylenie standardowe z 2,46 do 1,94 Wh. Wynik netto jest podobny do tego, co dzieje się w przypadku przechowywania, a także zmniejsza odchylenie standardowe, ale nie jest tak elastyczny i szczegółowy, jak przechowywanie. Mimo to przenoszenie obciążenia jest tańszą alternatywą dla magazynowania i jest kolejnym narzędziem pomagającym dostosować obciążenia do wytwarzania energii odnawialnej. Chociaż trudno jest ściśle dopasować krzywą popytu do krzywej podaży energii ze źródeł odnawialnych ze względu na potrzeby, takie jak korzystanie z oświetlenia wewnętrznego w godzinach wieczornych, minimalizowanie rozbieżności między podażą ze źródeł odnawialnych a zapotrzebowaniem na energię elektryczną ma kluczowe znaczenie. Pojemność magazynową, która pozwala na oszczędzanie energii elektrycznej do późniejszego wykorzystania, można łączyć z technologiami EIoT, które umożliwiają przesunięcie części obciążenia konsumenta na godziny, w których produkcja energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych jest najwyższa. Jest to ważne, ponieważ magazynowanie akumulatorów jest obecnie zbyt drogie, aby było ekonomicznie opłacalne, co wymaga innowacji technicznych lub masowej produkcji jednostek, aby obniżyć jego koszty w najbliższej przyszłości. Chociaż potrzeba opłacalnego magazynowania energii jest pożądana do zarządzania odnawialnymi źródłami energii, wykorzystanie EIoT do redystrybucji obciążenia zużycia może obecnie zmniejszyć potrzebę zarówno dodatkowego magazynowania energii, jak i zdolności wytwórczych przy niskich kosztach.

Wdrażanie EIoT

Korzyści płynące z wykorzystania EIoT do zarządzania i włączania odnawialnych źródeł energii do sieci energetycznych oraz do zarządzania zużyciem energii i wpływem na środowisko znacznie przewyższają wszelkie wady tych technologii. W tradycyjnym modelu pracy sieci, wytwórcy dyspozycyjni mają na celu zwiększenie lub zmniejszenie swoich mocy, aby zapewnić, że podaż odpowiada popytowi. W scenariuszu EIoT popyt zostałby zmodyfikowany, aby dopasować się do podaży wytwarzanej przez odnawialne i konwencjonalne źródła energii. Urządzenia podłączone do Internetu wykorzystywałyby czujniki do monitorowania i zmiany zużycia energii przez konsumentów. Stworzyłyby to dyspozycyjność w zapotrzebowaniu konsumentów, która zrównoważyłaby brak dyspozycyjności w

dostawach energii elektrycznej ze źródeł odnawialnych. Urządzenia EloT mogą mierzyć zmienność z chwili na chwilę w wytwarzaniu energii elektrycznej i odpowiednio dostosowywać swoje działania. Można również rozważyć i uwzględnić nadrzędne wzorce zaopatrzenia w energię elektryczną ze źródeł odnawialnych. W połączeniu z magazynowaniem energii proces ten może znacznie zmniejszyć zapotrzebowanie na szczytowe paliwa kopalne i pozwolić konsumentom uniknąć płacenia szczytowych cen energii elektrycznej. Urządzenia EloT mogą służyć do integracji wytwarzania energii odnawialnej z siecią elektryczną. Zmienność, nieprzewidywalność i niedyspozycyjność odnawialnych źródeł wytwarzania energii, takich jak energia słoneczna i wiatrowa, sprawia, że ich integracja z siecią stanowi wyzwanie. Wiele istniejących w sieci urządzeń służących do zarządzania wahaniami napięcia, obciążenia lub częstotliwości jest starych, nieporęcznych, powolnych, obsługiwanych ręcznie i/lub nie działa szybko. Ze względu na wysokie koszty wdrożenia nowoczesnej inteligentnej sieci, większość zakładów energetycznych uniknęła takich nakładów. Ale wraz z podłączeniem coraz większej ilości odnawialnych źródeł energii, potrzeba powoli montuje się sprzęt do równoważenia takich wahań.

Urządzenia EloT oferują usprawnione rozwiązanie tego problemu. Zamiast wdrażać rozwiązania na skalę użytkową do zarządzania siecią, urządzenia EloT mogą odpowiedzieć na wcześniej omawiane wyzwania zarządzania energią, w tym:

* **Zmienność.** Rysunek pierwszy, który pokazuje jednodniową produkcję energii słonecznej w Oahu na Hawajach, pokazuje, że odnawialne źródła energii mogą charakteryzować się wyjątkowo dużą zmiennością produkcji, nawet w skali jednodniowej lub mniejszej. W tradycyjnym modelu pracy sieci, wytwórcy dyspozycyjni (zwykle wytwórcy paliw kopalnych) byłiby nakierowani na zwiększenie lub zmniejszenie swojej mocy, aby zapewnić zaspokojenie popytu z niezbędną podażą. W scenariuszu EloT zmienność wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych może być bezpośrednio mierzona przez urządzenia EloT w sieci, czujniki w sieci lub centralne sterowanie. Te urządzenia EloT mogłyby następnie szybko reagować, zwiększając lub zmniejszając obciążenia energii elektrycznej, łagodząc negatywne skutki zmienności wytwarzania energii ze źródeł odnawialnych w sieci.

* **Nieprzewidywalność.** Produkcja energii słonecznej i wiatrowej może mieć pewien błąd w przewidywaniu, zwłaszcza w krótkim okresie. Przewidywane dane wyjściowe są używane do planowania innych zasobów generatora, aby sprostać oczekiwaniom obciążeniom sieci. W tradycyjnym modelu, gdy odnawialne źródła energii nie zapewniają przewidywanej generacji, do zrównoważenia podaży i popytu należy wykorzystać inną generację dyspozycyjną. Ta generacja dyspozycyjna jest zwykle generacją opalaną paliwami kopalnymi, w dużej mierze ignorując cel eksploatacji odnawialnych źródeł energii. W scenariuszu EloT wszelkie nadwyżki lub deficyty między produkcją energii odnawialnej a prognozą mogą być szybko wykorzystane przez urządzenia EloT. Urządzenia EloT otrzymywałyby komunikaty, że produkcja odnawialna nie była zgodna z prognozą i odpowiednio modyfikowałyby swoje działania.

* **Brak możliwości wysyłki.** Generacja odnawialna jest generalnie niedysponowalna, co oznacza, że nie można jej włączać i wyłączać w dowolnym momencie. Sprawę dodatkowo komplikuje fakt, że ze względu na zerowy koszt OZE, sieć zawsze akceptuje energię odnawialną, gdy jest wytwarzana. Powoduje to mnóstwo problemów, takich jak potencjalna cena ujemna, wymagane większe rezerwy wytwarzania i wysokie tempo wzrostu (takie jak „krzywa kaczk”) dla generatorów dyspozycyjnych. Urządzenia EloT zapewniają unikalny, łatwo dostępny i szybko reagujący zasób, który może zapewnić zmiany obciążenia, które szybko reagują na zmiany w dostawach. Ten aspekt kontrolowania popytu, a nie tylko możliwej do wysłania podaży, jest nowy w branży i otwiera świat możliwości zarządzania przyszłą siecią.

Powszechne przyjęcie EIoT wymaga wdrożenia elementów EIoT w wielu, jeśli nie we wszystkich, komponentach SG, w tym w wytwarzaniu, przesyłaniu i zużyciu. To wspiera „I” i „T” ulepszeń ICT wymaganych do urzeczywistnienia EIoT. Ponadto do połączenia tych elementów potrzebna jest opłacalna, ale wszechobecna infrastruktura sieciowa. To wspiera „C” i „T” ulepszeń ICT, które są również wymagane do urzeczywistnienia EIoT. Poniższe podrozdziały omawiają te dwie sfery.

Elementy EIoT

Budowanie niezawodnego ekosystemu EIoT to najlepsza innowacja, która ułatwia zrównoważoną sieć energetyczną przyszłości. Podstawowym elementem ekosystemu EIoT jest element lub urządzenie EIoT. Urządzenie EIoT to urządzenie, które kontroluje zużycie energii, produkcję lub przechowywanie, a jednocześnie posiada wszystkie cechy urządzenia IoT, takie jak łączność z Internetem. Wyposażenie urządzeń EIoT w czujniki, inteligentne sterowanie, moc obliczeniową, przechowywanie informacji, łączność i zarządzanie chmurą stwarza możliwość rozwiązania problemu nieciągłości, zmienności i nieprzewidywalności, które obecnie ograniczają potencjał wytwarzania energii odnawialnej (Conti i in., 2017). Wykorzystanie odnawialnych źródeł energii i innowacje w EIoT mogą zmienić historyczne wzorce wytwarzania i konsumpcji. Stwarza to nowe wzorce produkcji i użytkowania energii elektrycznej, które różnią się od sposobów, w jakie operatorzy sieci elektrycznych zarządzają dziś systemami. Przyszłe zarządzanie siecią będzie wiązało się z innowacyjnymi sposobami komunikacji między wszystkimi tymi urządzeniami i sterowania ich operacjami w sposób zaaranżowany. Urządzenia EIoT będą wymagały danych zewnętrznych, aby zoptymalizować swoje działania. Dane te tworzą zbiory danych, oparte na informacjach z wiarygodnych usług prognozowania pogody, cenach i obciążeniach sieci elektrycznej oraz innych danych dotyczących sterowania urządzeniami EIoT. Niektóre z tych zbiorów danych wymieniono w tabeli.

Dane pogodowe/prognoza pogody: temperatura zewnętrzna, punkt rosy, prędkość wiatru, natężenie promieniowania słonecznego

Zużycie energii: zużycie energii przez urządzenie, wzorce zużycia energii, przyszłe harmonogramy zużycia

Lokalne dane czujnika: temperatura wewnętrzna, napięcie sieciowe, częstotliwość i kąt fazowy

Produkcja energii ze źródeł odnawialnych: lokalna i regionalna produkcja energii słonecznej lub wiatrowej

Dane dotyczące sieci : Lokalne i regionalne obciążenia i ceny energii, wskaźniki zużycia szczytowego, wskaźniki niezawodności i odporności

Cele zarządzania energią EIoT obejmują:

- * Zminimalizuj koszty energii
- * Zminimalizuj wpływ na środowisko
- * Zwiększ stabilność sieci
- * Zwiększ niezawodność sieci

Ważną kategorią EIoT zmieniającą oblicze zarządzania siecią jest wykorzystanie inteligentnych kontroli. Urządzenia te są podłączone zarówno do Internetu, jak i do sieci elektrycznej. Wykorzystują uczenie maszynowe do podejmowania inteligentnych decyzji dotyczących zużycia energii dla właścicieli energochłonnych urządzeń. Urządzenia te stale poprawiają swoją wydajność i skuteczność, jednocześnie zwiększając komfort klienta. W ostatnich latach nastąpił dramatyczny wzrost liczby

inteligentnych sterowników i urządzeń zużywających energię z obsługą Wi-Fi. Jednak urządzeniom tym nadal w dużej mierze brakuje koordynacji niezbędnej do pomocy w radzeniu sobie z wyzwaniami związanymi z siecią. W idealnym przypadku inteligentne sterowanie będzie w stanie dokonywać bezpośrednich pomiarów urządzenia, wzorce użytkownika i stan sieci. Urządzenia ELoT będą otrzymywać informacje o działaniu sieci i cenach. Dzięki uczeniu maszynowemu mogą podejmować inteligentne decyzje dotyczące tego, kiedy i jak zużywać lub przechowywać energię. Analiza ta umożliwi im przekazywanie harmonogramów zużycia i magazynowania energii innym urządzeniom lub operatorom sieci oraz otrzymanie instrukcji optymalizacji pod kątem ceny, emisji, stabilności sieci lub niezawodności sieci. Przykłady potencjalnych zastosowań inteligentnych sterowników u klientów przedstawiono w tabeli.

Inteligentne termostaty: Inteligentne termostaty dostosowują wykorzystanie HVAC, gdy klienci są poza domem

Inteligentne gniazdka: gniazdka z połączeniem Wi-Fi zapewniają użytkownikom dostęp do Internetu do danych o ich zużyciu energii

Inteligentne ładowarki: Urządzenia ładujące ładują urządzenia użytkownika zgodnie z harmonogramem lub innymi określonymi kryteriami

Sterowanie z obsługą Wi-Fi: każde urządzenie energetyczne można włączyć za pomocą inteligentnych elementów sterujących

Inteligentne listwy zasilające: Inteligentne gniazdka pomagają użytkownikom listew zasilających kontrolować zużycie energii

Systemy zarządzania budynkiem: Centralne komputery kontrolują zużycie energii wszystkich urządzeń w budynku

Czujniki obecności: czujniki w pomieszczeniach dostosowują zużycie energii w odpowiedzi na wykryty ruch

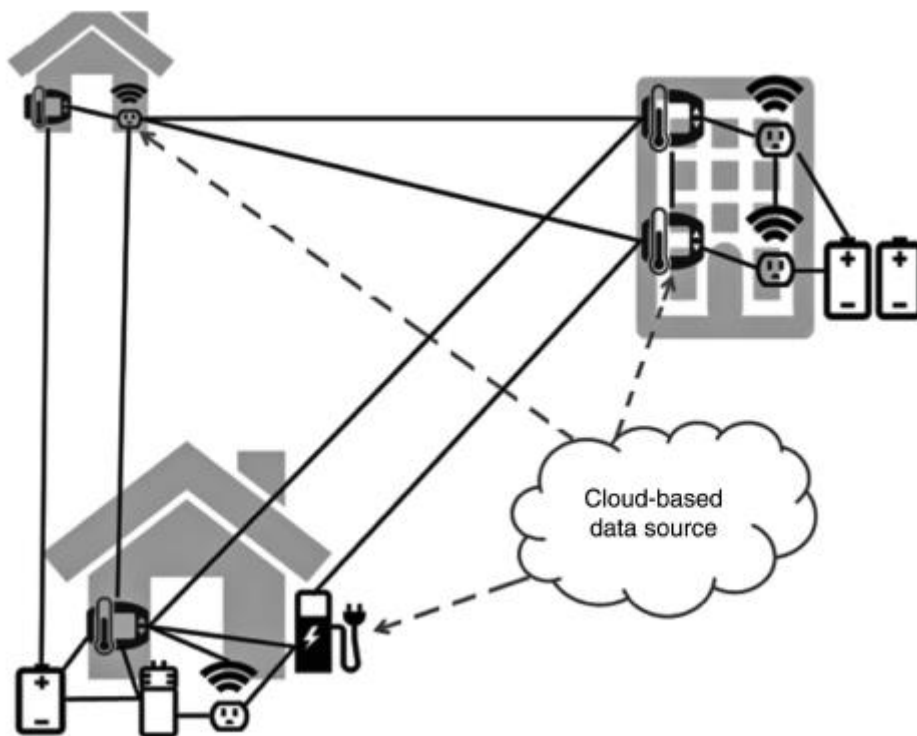
Inteligentne urządzenia : Inteligentne urządzenia oferują łączność Wi-Fi i zwiększone możliwości, takie jak planowanie i reagowanie na sygnały zewnętrzne, takie jak cena i stan sieci

Inteligentne inwertery: Inteligentne inwertery przetwarzają prąd stały na prąd przemienny dzięki łączności Wi-Fi i opcjom planowania

Aby osiągnąć te korzyści, wszystkie te nowe urządzenia ELoT muszą być połączone za pomocą różnych możliwych technologii komunikacyjnych z Internetem, gdzie można udostępniać informacje o działaniu urządzeń i przeprowadzać optymalizacje.

Funkcjonalność sieci

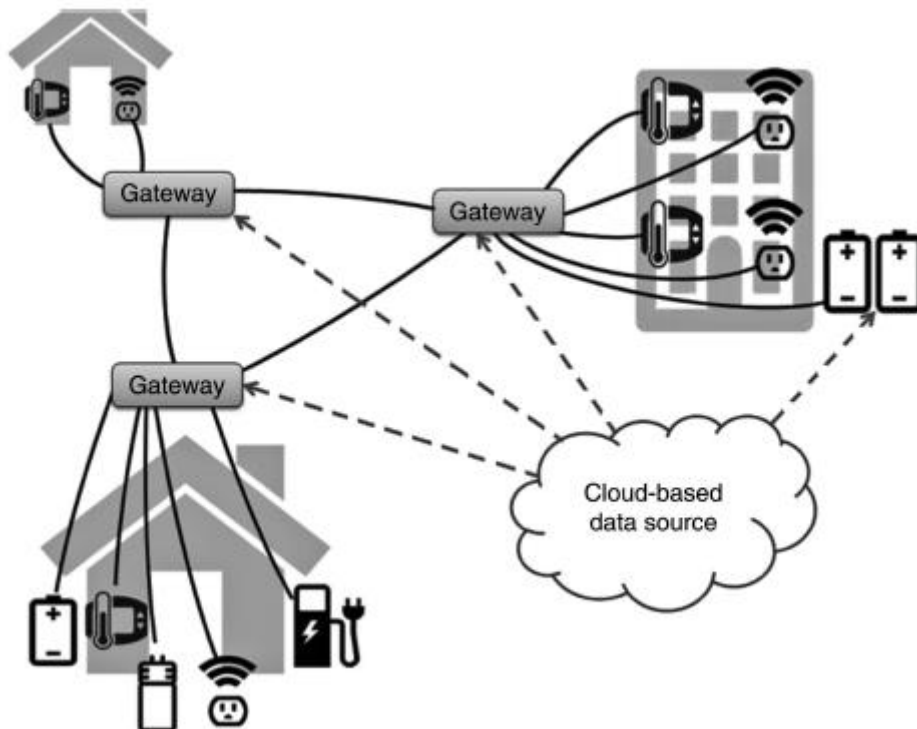
Kolejnym podstawowym elementem ekosystemu ELoT jest sieć. Aby ELoT zostało pomyślnie wdrożone, urządzenia elektroniczne muszą mieć możliwość łatwego łączenia się z ekstrasiecią narzędzia, „chmurą” i/lub Internetem. W szczególności, aby osiągnąć korzyści SG, wszystkie nowe urządzenia ELoT omówione w poprzednim podrozdziale muszą być połączone za pomocą różnych technologii komunikacyjnych z infrastrukturą sterowania i obliczeniową, często realizowaną przez Internet, gdzie można uzyskać informacje o działaniu urządzeń udostępnione i przeprowadzone optymalizacje. Istnieją trzy strategie zarządzania koordynacją ELoT: centralnie planowana i kontrolowana platforma zarządzania energią, sieć niezależnych urządzeń sterujących podejmujących własne decyzje dotyczące optymalizacji lub kompromis między nimi, który wykorzystuje urządzenia bramowe. Optymalna



Ta ilustracja przedstawia urządzenia EIoT z dwóch różnych domów i jednej firmy komunikują się ze sobą, a nie z centralnego systemu sterowania, aby zoptymalizować swoje operacje. Linie ciągłe reprezentują przepływy komunikacyjne (np. dane parametryczne), podczas gdy linie przerywane reprezentują przepływy sterowania. Źródło danych w chmurze udostępnia dane stron trzecich, takie jak pogoda i ceny energii elektrycznej. Zarządzanie nieprawidłowościami sieci jest negocjowane między urządzeniami EIoT, ponieważ zbierają one dane sieciowe i komunikują się ze sobą na temat optymalnego zużycia energii dla każdego urządzenia. Ten układ nie wymaga do działania centralnego sterowania, ale wymaga większej przepustowości komunikacji między dużą liczbą urządzeń EIoT. Wymaga również dodatkowej pamięci masowej i mocniejszych procesorów, ponieważ każde urządzenie musi teraz zbierać dane i samodzielnie wykonywać obliczenia optymalizacyjne.

Bramy

Istnieje kontinuum opcji pomiędzy tymi dwoma powyższymi. W układzie bram przedstawionym na rysunku mniejsze lokalne koncentratory lub bramy mogą działać jako „zlokalizowane” centralne urządzenia sterujące i zarządzać urządzeniami EIoT w tym budynku.



Ilustracja przedstawia dwa domy i jedną firmę z urządzeniami EIoT, które komunikują się z urządzeniami bram w każdym budynku. Bramy te optymalizują operacje EIoT bez złożoności strategii pełnej kontroli internetowej. Takie rozwiązanie zmniejsza potrzebę zarządzania przez każde urządzenie EIoT wieloma połączeniami i negocjacjami, jak miało to miejsce w przypadku strategii sieci urządzeń. Dlatego te urządzenia mogą poradzić sobie z mniej wydajnymi procesorami i pamięcią. Brama może pomieścić procesory o dużej mocy i obszerną pamięć oraz zoptymalizować operacje EIoT w każdym budynku, negocjując optymalne strategie z innymi budynkami. Ta strategia zmniejsza natężenie komunikacji, zmniejsza złożoność EIoT, ale ogranicza elastyczność, ponieważ każde urządzenie EIoT jest zależne od bramy w celu planowania operacji.

Standardy branżowe dla EIoT

Aby wdrożyć paradygmaty EIoT, jasne jest, że muszą istnieć standardy branżowe. Wiele różnych urządzeń, produkowanych przez różne firmy, a nawet różne branże, będzie musiało być w stanie komunikować się ze sobą, udostępniać informacje i reagować na sygnały sterujące. Choć pojawiają się obecnie pewne ogólne standardy IoT, potrzebne są również standardy dotyczące energii. Sprzęt i/lub produkty od zakładów energetycznych, producentów sprzętu elektrycznego, firm zajmujących się kontrolą budynków, producentów sprzętu gospodarstwa domowego, a także każdego producenta urządzeń obsługujących Wi-Fi będą zainteresowani przestrzeganiem takich standardów. Nagrodą za zapewnienie, że wszystkie urządzenia IoT są zgodne ze standardami i współpracują z większym światem EIoT, jest odblokowanie nowego strumienia wartości poprzez włączenie tych urządzeń do sieci elektrycznej. Podejmowano próby stworzenia standardów danych EIoT, które przyniosły szereg sukcesów. Pierwszym i najbardziej udanym był Open Automated Demand Response (OpenADR), standard komunikacji z inteligentnymi termostatami; inne obejmują specyfikację wymiany danych dotyczących energii budynku (BEDES) i IEEE 2030. Zostały one krótko opisane w kolejnych sekcjach.

Otwórz automatyczną odpowiedź na żądanie

Stworzony w 2010 r. OpenADR odnosi się do „otwartego i znormalizowanego sposobu, w jaki dostawcy energii elektrycznej i operatorzy systemów komunikują sygnały DR między sobą i ze swoimi klientami za pomocą wspólnego języka za pośrednictwem dowolnej istniejącej sieci komunikacyjnej opartej na protokole IP, takiej jak Internet”. W tym kontekście reakcja na zapotrzebowanie (DR) odnosi się do metod zmniejszania obciążenia konsumentów w godzinach szczytu zapotrzebowania, jak omówiono. Grupa interesariuszy z branży uruchomiła Sojusz OpenADR, którego celem jest opracowanie systemu, który sprawi, że procesy DR będą bardziej wydajne, a tym samym bardziej opłacalne. Sojuszowi udało się z powodzeniem zdefiniować standard IoT dla branży energetycznej, który umożliwi dostawcom energii elektrycznej bezproblemową komunikację i wydawanie zamówień użytkownikom korzystającym z Internetu, termostaty w domach w całym kraju. Wiele firm wdrażających systemy OpenADR działa w chmurze i umożliwia operatorowi systemu logowanie się za pomocą przeglądarki z dowolnego miejsca i zarządzanie zdarzeniami DR za pomocą tysięcy termostatów. Operator nie musiałby instalować żadnych programów ani aplikacji. Należy zauważyć, że OpenADR umożliwia teraz również implementację różnych typów programów DR, a nie tylko bezpośrednie sterowanie obciążeniem (termin branżowy dla programu DR, który umożliwił przedsiębiorstwu bezpośrednie sterowanie jednostką HVAC klienta), w tym dynamikę cen szczytowych stawki, usługi pomocnicze ISO/RTO oraz programy pojazdów elektrycznych. OpenADR wymienił około 125 zatwierdzonych produktów w czasie prasy.

Specyfikacja Wymiany Danych Energetycznych Budynku (BEDES)

BEDES to standard definiowania terminów, definicji i formatów danych podczas monitorowania charakterystyki budynku i zużycia energii. Wydany po raz pierwszy w październiku 2014 r. system BEDES został stworzony jako sposób na standaryzację gromadzenia danych dotyczących energii wewnątrz budynków oraz zwiększenie dostępności i zrozumienia danych w różnych produktach we wszechświecie EIoT. W praktyce BEDES daje zarządcy budynków informacje, których potrzebują, aby podejmować lepsze decyzje dotyczące planowania, integracji, obsługi i maksymalizacji systemów energii odnawialnej w swoich budynkach. BEDES robi to, śledząc wydajność energetyczną i weryfikując produkcję energii odnawialnej w budynkach. Ponieważ jest to stosunkowo nowe, niewiele produktów na rynku wykorzystuje obecnie standardy BEDES. Jest jednak wykorzystywany przez agencje rządowe. Obecnie Departament Energii Stanów Zjednoczonych (DOE) wykorzystuje standardy BEDES w swoim programie Commercial Energy Asset Score & Home Energy Score. EPA przyjęła również standardy BEDES dla swojego programu Portfolio Manager & Home Energy Yardstick, który zachęca do stosowania zrównoważonych praktyk energetycznych.

Instytut Inżynierów Elektryków i Elektroników (IEEE) 2030

IEEE 2030 to standard, który „zapewnia wytyczne dotyczące zrozumienia i zdefiniowania interoperacyjności inteligentnej sieci systemu elektroenergetycznego z zastosowaniami końcowymi i obciążeniami. Integracja technologii energetycznych oraz technologii informacyjno-komunikacyjnych jest konieczna do osiągnięcia bezproblemowego działania w zakresie wytwarzania, dostarczania i użytkowania energii elektrycznej, aby umożliwić dwukierunkowy przepływ energii z komunikacją i kontrolą” (IEEE, 2011). Ten standard ma na celu wzmocnienie pozycji konsumentów energii i integrację energii odnawialnej, pojazdów elektrycznych i EIoT. Standard IEEE 2030 będzie przewodnikiem dla urządzeń EIoT obejmujących usługi sieciowe i łączność z inteligentną siecią; obejmuje trzy perspektywy architektury: systemy zasilania, technologie komunikacyjne i technologie informacyjne.

Względy bezpieczeństwa w środowiskach EIoT i czystej energii

Względy bezpieczeństwa powinny być koniecznością, jeśli chodzi o zarządzanie aplikacjami EIoT. Dopóki prawidłowe działanie sieci zależy od działania tysięcy lub milionów pojedynczych urządzeń

pracujących harmonijnie w otwartym Internecie, istnieje ryzyko, że nikczemni (lub naiwni aktorzy) mogą spowodować uszkodzenie sieci elektrycznej. Oto niektóre z głównych problemów związanych z bezpieczeństwem (m.in.):

* Cyber włamania. Szkodliwy podmiot może atakować urządzenia ELoT w określonych obszarach i zakłócać ich działanie, powodując uszkodzenie sprzętu sieciowego lub spowodować awarię w określonym obszarze. Najbardziej znane przykłady szkodliwych działań hakerskich dotyczą urządzeń i procesów przemysłowych. Urządzenia te wydają się być stosunkowo bezpieczne w porównaniu z urządzeniami ELoT, które zasadniczo znajdują się w odsłoniętym Internecie. Oznacza to, że urządzenia ELoT muszą traktować priorytetowo bezpieczeństwo, tak jakby od nich zależało działanie całej sieci elektrycznej.

* Awarie oprogramowania. Planiści mediów zaprojektują (i już rozpoczęli projektowanie) sieci elektrycznej, aby polegać na urządzeniach ELoT, aby pomóc w zarządzaniu szczytowymi obciążeniami. Planiści mediów zaczynają uwzględniać programy reagowania na szczytowe obciążenia podczas planowania szczytowych obciążeń sieci. Oznacza to, że narzędzia nie instalują sprzętu do obsługi niezbędnego obciążenia, a zamiast tego polegają na urządzeniach ELoT zmniejszających obciążenie, które będą reagować na sygnały szczytowego obciążenia. Jeśli urządzenia ELoT nie zapewniają redukcji obciążenia szczytowego szacowanego przez planistów mediów, mogą wystąpić przerwy w dostawie prądu. Ważne jest, aby urządzenia ELoT działały w powtarzalny i przewidywalny sposób, aby planiści mediów mogli działać w sposób rozważny, zmniejszając inwestycje kapitałowe w sieć i realizować wartość, jaką może zapewnić ELoT. Przerwa w krytycznych godzinach szczytu może mieć szkodliwy wpływ na sieć.

* Błędy protokołu. Urządzenia ELoT będą również opierać się na wielu ścieżkach komunikacyjnych, technologiach i dostawcach. Usługi Wi-Fi, ZigBee, GPS, światłowodowe, kablowe i komórkowe 3G/4G/5G będą wykorzystywane przez urządzenia ELoT, a także wiele innych technologii. Wszelkie zakłócenia w tych usługach i podstawowych technologiach mogą powodować problemy z niezawodnym dostarczaniem energii elektrycznej do konsumentów.

* Złożoność operacyjna. Logika sterowania urządzeniami ELoT musi być starannie zaprojektowana, aby uniknąć niezamierzonych konsekwencji. Efekty nieliniowe mogą pojawić się w skomplikowanym układzie sieciowym urządzeń. W szczególności niekorzystne pętle sprzężenia zwrotnego mogą powodować niezamierzone działanie urządzeń ELoT. Urządzenia mogą czekać, aż przepustowość sieci będzie dostępna i niedroga, zwiększając swoje obciążenie. To z kolei wykorzysta dostępną pojemność, podnosząc cenę i powodując zmniejszenie obciążenia urządzeń. Cykl następnie się powtarza. Jeżeli w ten sposób działa wystarczająca liczba urządzeń, na sieci mogą wystąpić niestabilne oscylacje obciążenia. Te oscylacje z pewnością nie są sposobem, w jaki konsumenci oczekują od swoich urządzeń.

* Zależności zewnętrzne. Wszystkie urządzenia ELoT zainstalowane w sieciach elektrycznych będą opierać się na wielu zewnętrznych źródłach danych, w tym danych pogodowych, prognozach pogody, danych sieciowych i innych. Wszelkie zakłócenia w tych strumieniach danych mogą spowodować niezamierzone działanie sprzętu ELoT i możliwe przerwanie operacji. Te strumienie danych będą również musiały być zabezpieczone, aby zapewnić ich niezawodność.

* Niezamierzone konsekwencje. Urządzenia ELoT mogą mieć celowy lub niezamierzony wpływ na ekonomikę sieci. Jeśli wiele takich samych urządzeń zostanie podłączonych do sieci elektrycznej, urządzenia te będą mogły z łatwością współpracować w celu wykorzystania siły rynkowej w sieci. W tym scenariuszu siła rynkowa to zdolność wpływania lub kontrolowania cen energii elektrycznej.

Sieć elektryczna była historycznie przedsięwzięciem bardzo konserwatywnym. Dokłada się wszelkich starań, aby zapewnić dostępność odpowiednich zasobów o każdej porze roku, aby sprostać wymaganiom klientów elektrycznych. Odgrywa kluczową rolę w zdrowiu gospodarki i dobrobycie obywateli kraju. Zapewnienie, że nowe technologie nie zakłócą działania tego niezawodnego systemu, ma ogromne znaczenie i nie powinno być lekceważone. Przed wdrożeniem jakiegokolwiek urządzenia EIoT należy dokładnie rozważyć bezpieczeństwo i ochronę operacji sieciowych.

Wniosek

Zwiększone wykorzystanie zielonej energii ma korzystny wpływ nie tylko w kontekście zarządzania planetą, ale także ze względów ekonomicznych korporacyjnych lub krajowych. Istnieje duże globalne zainteresowanie wdrażaniem odnawialnych źródeł energii, ale także zapewnieniem utrzymania niezawodności sieci. Jednakże, ponieważ zielone źródła często są typu „zmiennego źródła energii”, potrzebna jest bardzo szczegółowa kontrola zasobów. Zasady i technologie EIoT są dobrze dopasowane do tego zadania. Opisano szereg kluczowych zmian, które są wymagane do wdrożenia urządzeń EIoT, zarządzanych przez SG, zarządzanych w ramach mechanizmów EIoT. Ponieważ energia wytwarzana w sposób naturalny może być nieprzewidywalna i wysoce zmienna, operatorzy sieci mają dwie potencjalne reakcje. Mogą uzupełniać odnawialne źródła energii po stronie podaży źródłami z paliw kopalnych, które nie pracują, aby zrównoważyć zmienność produkcji energii odnawialnej. Co więcej, mogliby dostosować obciążenie po stronie popytu za pomocą urządzeń EIoT, które mogą przesunąć część obciążenia konsumentów energią elektryczną do czasów, gdy produkcja energii odnawialnej jest silna. Pierwsza opcja może skutkować wysokimi emisjami, niwecząc pierwotny cel, jakim było włączenie odnawialnych źródeł energii. Tylko druga opcja, wykorzystanie EIoT w celu dostosowania popytu do podaży ze źródeł odnawialnych, zapewnia realizację korzyści ze źródeł odnawialnych. Wyposażenie urządzeń elektrycznych w czujniki monitorujące, inteligentne sterowanie i podłączenie ich do Internetu nie pozwoli urządzeniom EIoT na zarządzanie własnym zużyciem energii i zdalne sterowanie, ale w rzeczywistości będzie wspierać cel niezawodności przepływu energii. Tym samym urządzenia EIoT pomogą w zarządzaniu siecią i włączeniu odnawialnych źródeł energii do dostaw energii elektrycznej. Mogą stanowić środek kontroli po stronie popytu, który pomoże zrównoważyć nieprzewidywalność odnawialnych źródeł energii, ponieważ są one włączane do sieci. Zmniejszyłoby to zapotrzebowanie na szczyty, które stanowią kosztowne inwestycje infrastrukturalne, a także dodatkowe źródła emisji dwutlenku węgla. Idealnie, odnawialne źródła energii w połączeniu z EIoT przekształcą obecną sieć elektryczną w czystsza i bardziej dynamiczną sieć, na którą wszyscy zasługujemy. Standaryzacja i bezpieczeństwo to dwa kluczowe wymagania, aby ten proces mógł się rozwijać. Bez względu na wybraną konfigurację, ważne będzie ujednoczenie danych EIoT, aby wszystkie urządzenia mogły z powodzeniem „rozmawiać” ze sobą. Ważne będzie również opracowanie odpowiednich protokołów bezpieczeństwa i zastosowanie ich do wszystkich urządzeń EIoT. Istnieje ryzyko, że szkodliwe podmioty wykorzystują urządzenia EIoT do włamywania się do sieci elektrycznej i zakłócania dostaw energii elektrycznej. Jeżeli funkcjonalność sieci elektrycznej zależy od poszczególnych urządzeń, każde z tych urządzeń wymaga odpowiedniego zabezpieczenia. Podsumowując, jak zostało to omówione wcześniej, wprowadzanie do sieci dużych ilości energii odnawialnej jest pożądane, ale może stworzyć globalną nieprzewidywalność, o ile proces nie jest odpowiednio zarządzany: zmienność, nieprzewidywalność i niedyspozycyjność odnawialnych źródeł wytwarzania energii powoduje, że integracja tych źródeł do sieci jest wyzwaniem *prima facie*, ale dającym się rozwiązać. W związku z tą sytuacją pożądane jest zarządzanie użytkowaniem i wspieranie ochrony poprzez wdrażanie urządzeń, takich jak programowalne termostaty, które zarządzają zużyciem energii elektrycznej podczas nieobecności mieszkańców. Ponadto fizyczna dystrybucja może być również wyzwaniem, ponieważ elementy wytwarzania (farmy słoneczne i/lub wiatrowe) zazwyczaj nie znajdują się blisko istniejącej infrastruktury dystrybucyjnej lub konsumenta. Mechanizmy EIoT

zapewniają możliwości zarządzania, które mogą „zapełnić lukę”. Jeśli chodzi o wyzwanie zmienności, dzięki mechanizmom ELoT zmienność wytwarzania energii odnawialnej może być mierzona przez jednostki wykrywające ELoT wbudowane w sieć, również w połączeniu z centralnym sterowaniem, umożliwiając urządzeniom opartym na ELoT szybką reakcję poprzez zwiększenie lub zmniejszenie obciążenia energii elektrycznej, a tym samym łagodzenie negatywny wpływ zmienności generacji odnawialnej na sieć. Jeśli chodzi o wyzwanie nieprzewidywalności, nadwyżka lub deficyt między produkcją energii odnawialnej a prognozą może być szybko przeanalizowany przez jednostki wykrywające ELoT, a urządzenia ELoT otrzymają komunikat, że produkcja energii odnawialnej nie jest zgodna z prognozą i że powinny odpowiednio zmodyfikować swoje działania. Jeśli chodzi o wyzwanie związane z brakiem dyspozycyjności, urządzenia ELoT zapewniają szybko reagujące mechanizmy kontrolne, które mogą zapewniać zmiany obciążenia, aby szybko reagować na zmiany w podaży. Oczekuje się, że wyzwania, o których mowa w powyższej dyskusji, zostaną przewyżczone w ciągu najbliższych kilku lat, a inteligentna sieć oparta na ELoT stanie się praktyczną rzeczywistością