



Opracowanie i wdrożenie adaptacyjnej stacji ładowania pojazdów
elektrycznych GridPower

**Budowa prototypu stacji ładowania oraz opracowanie oprogramowania
aplikacyjnego**

Warszawa 2023

1. Podsumowanie

Rosnący udział pojazdów elektrycznych w ogólnej liczbie pojazdów wymaga budowy odpowiedniej infrastruktury dla ładowania tych pojazdów tj. stacji ładowania wraz z elektroenergetyczną siecią zasilania niskiego napięcia. Stacje te powinny zapewniać użytkownikom pojazdów możliwie krótki czas ładowania ale jednocześnie uwzględnić ograniczenia sieci elektroenergetycznej w miejscu instalacji tych stacji.

Proponowane w ramach projektu opracowanie i wdrożenie inteligentnej stacji ładowania GridPower umożliwi złagodzenie problemów dla sieci elektroenergetycznej niskiego napięcia wynikających z masowej instalacji źródeł fotowoltaicznych oraz instalacji stacji ładowania pojazdów elektrycznych.

Masowa instalacja źródeł fotowoltaicznych już obecnie w wielu miejscach powoduje znaczący wzrost napięcia i w konsekwencji wyłączanie się falowników po przekroczeniu progu napięciowego wynoszącego 253V. Działanie takie ma na celu ochronę odbiorników zainstalowanych w sieci niskiego napięcia przed zbyt wysokim napięciem fazowym.

Spodziewany znaczący wzrost liczby stacji ładowania pojazdów elektrycznych, zwłaszcza w wykonaniu tych stacji takim jak obecnie dostępne na rynku, powodować będzie następujące negatywne zjawiska w sieci zasilającej:

1. Nadmierne obciążenie jednej z faz w porównaniu do innych faz tj. niesymetrię prądową obciążenia i związane z tym powstawanie prądów wyrównawczych, które są źródłem zwiększonych straty energii. Dzieje się tak dlatego, że większość pojazdów elektrycznych umożliwia ładowanie wyłącznie jednofazowe a dostępne stacje ładowania pobierają energię z tej samej, konstrukcyjnie przypisanej fazy, bez względu na stopień obciążenia pozostałych faz.
2. Przeciążenie sieci niskiego napięcia wskutek jednoczesnego, np. na początku obowiązywania tańszej taryfy na energię elektryczną (typowo o godzinie 22:00), podłączenia wielu stacji ładowania zainstalowanych w tym samym segmencie sieci. Sytuacja taka skutkuje znacznym obniżeniem napięcia, nawet poniżej normatywnego progu 207 V, przy jednoczesnym zwiększonym poborze prądu i tym samym zwiększeniu strat sieciowych.

Obecne konstrukcje stacji ładowania nie umożliwiają zdalnej zmiany parametrów pracy stacji ani też sposób ładowania pojazdów nie uwzględnia aktualnych warunków sieci zasilającej panujących w miejscu zainstalowania stacji.

Infrastruktura Smart Grid, w której skład wchodzi liczniki inteligentne, dostarcza operatorom sieci elektroenergetycznej (OSD) informacji o napięciach fazowych w sieci niskiego napięcia w czasie rzeczywistym. Dzięki informacjom zebranych z liczników inteligentnych, operatorzy są w stanie analizować działanie sieci niskiego napięcia, jednakże ich wpływ na jej działanie jest obecnie praktycznie zerowy, tzn. nie istnieją mechanizmy dzięki którym przeciążenia sieci nn byłyby minimalizowane lub wręcz usuwane.

Podsumowując, stacja ładowania GridPower będzie realizować cztery innowacyjne funkcje, w istotny sposób pozytywnie wpływające na minimalizację zagrożeń prawidłowej eksploatacji sieci niskiego napięcia:

- automatycznie wybór fazy napięcia, która w danych warunkach sieciowych zostanie użyta w procesie jednofazowego ładowania pojazdu elektrycznego,
- nastąpi automatyczne, w oparciu o wcześniej zdefiniowane kryteria aktualizowane w czasie działania stacji (historia profili napięciowych), dostosowanie mocy ładowania pojazdu, zwłaszcza w sytuacji obniżenia napięcia fazowego do progu 207V, mające na celu zapobieżenie dalszemu spadkowi napięcia wskutek ładowania pojazdu pełną przewidzianą dla stacji AC mocą (typowo 22kW, tzn. 32A na każdej z faz).

- umożliwienie wyboru fazy z której ma być realizowany proces ładowania lub/i jej przełączenia na inną fazę, na podstawie sygnału sterującego otrzymanego zdalnie od operatora sieci elektroenergetycznej, na przykład z wykorzystaniem zdalnej komunikacji poprzez sieć komórkową,
- realizacja funkcji ograniczenia mocy ładowania pojazdu zgodnie z sygnałem sterującym ze strony operatora sieci elektroenergetycznej lub lokalnego systemu zarządzania energią, z wykorzystaniem modulacji mocy (prąd) ładowania. Funkcja ta umożliwi uniknięcia przeciążenia sieci niskiego napięcia lub przekroczenia aktualnych parametrów technicznych (moc przyłącza) lub formalnych (przekroczenie mocy umownej).

Należy zaznaczyć, iż wszystkie powyższe funkcje techniczne zostaną osiągnięte przez inteligentne innowacyjne sterowanie procesem ładowania, bez znaczącego wzrostu kosztów jednostkowych ładowarki.

W wypadku wyboru optymalnej fazy ładowania, zostanie zastosowane autorskie rozwiązanie oparte na zespole styczników. Typowa stacja ładowania prądem przemiennym posiada jeden stycznik, proponowane rozwiązanie posiadać będzie trzy styczniki wyposażone w specjalny układ sterujący.

W wypadku dynamicznej zmiany mocy (prądu) ładowania, zostanie wykorzystane złącze Control Pilot, które jest zabudowane w gnieździe ładowarki. Złącze to podaje sygnał typu PWM (pulse-width modulation) które informuje samochód elektryczny o maksymalnej mocy która może zostać wykorzystana w danej sesji ładowania. Typowo, moc ta zadawana jest wyłącznie w momencie inicjacji procesu ładowania. Stacja ładowania GridPower będzie zarządzać sygnałem PWM, a co za tym idzie zmieniać bieżącą moc ładowania pojazdu, podczas całego procesu ładowania pojazdu.

2. Nazwa Zamawiającego

Przedstawiony projekt będzie realizowała spółka Smart Power Systems Sp. z o.o.

KRS 5842801542

3. Dane kontaktowe Grantobiorcy (telefon, mail)

Bartosz Gajda, bartosz.gajda@powerstream.pl, tel. 607 499 285

4. Założenia i cel projektu

Cel projektu:

Opracowanie i skonstruowanie pólszybkiej (22kW AC) stacji ładowania pojazdów elektrycznych która dynamicznie reaguje na aktualne warunki sieciowe - przede wszystkim obciążenie poszczególnych faz. Inteligentna ładowarka GridPower będzie wyrównywać obciążenie poszczególnych faz, dzięki czemu będzie aktywnie minimalizować asymetrię obciążenia poszczególnych faz jednocześnie ograniczając straty powstające na transformatorze SN/nn powodowane niesymetrycznym obciążeniem faz a co za tym idzie - przepływem prądu w przewodzie neutralnym. Ponadto, ładowarka GridPower będzie w stanie odbierać polecenia dotyczące fazy z której ma nastąpić ładowanie samochodu elektrycznego oraz maksymalnej mocy procesu ładowania, dzięki

czemu będzie stanowił aktywny węzeł sieci Smart Grid, zarządzanej przez operatora sieci dystrybucyjnej (OSD) lub lokalny system zarządzania energią (EMS).

Zastosowanie stacji ładowania posiadającej powyższe cechy będzie szczególnie istotne w następujących sytuacjach:

- zbyt wysokie napięcie na jednej fazie, powodujące wyłączenie się falowników. Jest to zjawisko masowo zachodzące w kraju, zwłaszcza na obszarach wiejskich gdzie segmenty sieci niskiego napięcia nie są w stanie odebrać energii z falowników przy jednoczesnym zachowaniu napięć fazowych poniżej napięcia granicznego 253V, zapisanego w normie PN-EN 50160. Ponadto, zapisy dokumentu IRIESD (instrukcja ruchu i eksploatacji sieci dystrybucyjnej) wymagają, bo zgodnie z normą PN-EN 50549-1 falowniki odłączały się od sieci (tzn wstrzymywały generację mocy czynnej) jeśli dowolne napięcie fazowe przekroczy 253V. Stacja ładowania pojazdów która automatycznie wybierze fazę o najwyższym napięciu, spowoduje natychmiastowy, pożądany spadek napięcia na fazie na której rozpocznie się ładowanie pojazdu elektrycznego.
- zbyt niskie napięcie na fazach - tutaj znowu jest to zjawisko obserwowane przede wszystkim na terenach wiejskich, na których sieci niskiego napięcia posiadają długie odcinki o małych przekrojach. Zwiększenie obciążenia takiej sieci poprzez ładowanie pojazdów elektrycznych dodatkowo obniża napięcie w sieci. W sytuacji w której napięcia fazowe będą spadać poniżej wartości progowej 207V, ładowarka GridPower obniży prąd ładowania do 6A, co jest zgodne z normą SAE J1772 i spowoduje, iż obserwowany spadek napięcia zostanie ograniczony do minimum. Samochód elektryczny będzie ładować się wolniej, ale jednocześnie spadek napięcia w sieci zostanie zminimalizowany.

5. Specyfikacja

Szacunkowe zestawienie materiałów (bill of material)

Opis	Ilość
Kopułka sygnalizacyjna	1
Daszek	1
Słupki aluminiowy	1
Ceownik wewnętrzny	1
Panel przedni z czarnego PE	1
Podstawa stalowa	1
Nakrętki specjalne M12 (antykradzieżowe)	4
Uszczelka dolna między podstawą i słupkiem)	1

Szacunkowe zestawienie materiałów (bill of material)

Analizator sieci 3F	1
Stycznik modułowy 3F	3
Wyłącznik różnicowo-prądowy 3F	1
Kontroler ładowania 32 A	1
Modem komórkowy GPRS/LTE	1
Gniazdo ładowania 32 A	1
Akcesoria elektryczne (kable, złączki itp.)	1
Naklejki na bok słupka (logo produktu)	4
Karton z oznakowaniem	1

6. Funkcjonalność

Wdrożenie urządzeń GridPower działających zgodnie z dedykowanym algorytmem minimalizującym przeciążenie danego odcinka sieci niskiego napięcia oraz agregującym dane o tym jak zachowuje się sieć podczas ładowania samochodów elektrycznych w celu zlecenia ewentualnych prac inwestycyjnych.

Dane wejściowe dla algorytmu ładowania pojazdu elektrycznej w wypadku pracy autonomicznej:

- Stawki taryfowe obowiązujące w strefie niskiej (nocnej) i dziennej (wysokiej) - w wypadku korzystania przez odbiorcę z taryfy dwustrefowej
- Nominalna pojemność akumulatorów pojazdu (w kWh)
- Graniczna godzina do której pojazd powinien zostać naładowany (State of Charge, SoC = 100% pojemności nominalnej akumulatorów)

Prototyp stacji ładowania posiadać będzie następujące parametry:

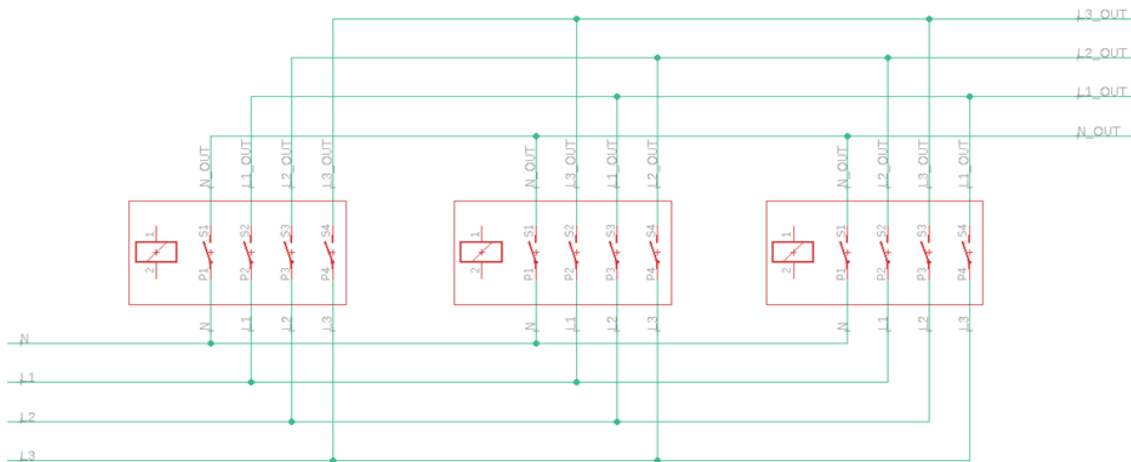
- ładowanie AC trójfazowe lub jednofazowe
- moc maksymalna ładowania 22kW (32A na fazę)
- wysokość około 1.10m, stopień ochrony co najmniej IP54
- obudowa metalowa (aluminium lub stal), profil zamknięty 100mm x 100mm lub 120mm x 120mm
- gniazdo Mennekes (IEC 62196 Type 2)

Kontroler ładowania zabudowany w stacji ładowania wykorzystywać będzie mikrokontroler jednopłytkowy (np ESP32 lub ESP8266), przeznaczony do integracji w produktach specjalizowanych. Mikrokontroler jednopłytkowy zapewniać musi odpowiednią moc przetwarzania, odpowiednią ilość złącz wejścia/wyjścia (SPI, UART, GPIO etc) oraz oferować odpowiedni system zabezpieczeń informatycznych, w tym możliwość autentykacji i/lub szyfrowania oprogramowania systemowego (firmware).

Ponadto, kontroler ładowania zostanie wyposażony w moduł komunikacji komórkowej GPRS/LTE, dzięki któremu zapewniona zostanie możliwość komunikacji z systemem centralnym (nadrzędnym).

Zastosowanie gotowych modułów, tzn kontrolera jednopłytkowego oraz modułu łączności komórkowej w zasadniczy sposób przyspieszy opracowanie i prototypowanie kontrolera ładowania, ponieważ moduły tego typu już posiadają wszystkie niezbędne certyfikaty kompatybilności elektromagnetycznej oraz te dotyczące toru radiowego. Zastosowanie certyfikowanych modułów zwalnia konstruktora od konieczności realizacji drogich testów kompatybilności elektromagnetycznej i kompatybilności radiowej - co jest szczególnie istotne w odniesieniu do komunikacji GPRS/LTE.

Na etapie studialnym, opracowano wstępny schemat układu wyboru fazy ładowania. Schemat ten przedstawia się następująco:



Rozważano także zastosowanie styczników krzemowych (typu Solid State Device), jednakże straty energii na takich stycznikach, mimo ich niezawodności, nie dowodzą ich przewagi nad tradycyjnymi stycznikami elektromagnetycznymi, w wypadku ich zastosowania w stacjach ładowania pojazdów.

Stacja ładowania pojazdów elektrycznych będzie w pełni zgodna z normą IEC 61851 w zakresie realizacji procesu ładowania i sygnalizacji sygnałów CP (Control Pilot), PP (Proximity Pilot) oraz PWM (pulse-width modulation).

Stacja wyposażona będzie w rozłącznik różnicowoprądowy typu RCD A. Zostaną zrealizowane prace mające na celu wdrożenie zabezpieczeń właściwych rozłącznikom typu RCD B, poprzez zastosowanie przekładników prądowych i wykrycie składowej stałej rzędu 6mA. Składowa ta może negatywnie wpływać na rozłącznik RCD A, nasycając rdzeń przekładnika Ferrantiego i uniemożliwiając wykrycie upływu prądu zmiennego. W stacji zaimplementowany zostanie protokół sterowania OCPP 1.6 (Open Charge Point Protocol) lub zgodny funkcjonalnie ze standardem OCPP (np protokół RAPI - Remote API) w zakresie monitorowania jej działania oraz zarządzaniem procesem ładowania. Ze względu na duże rozbudowanie protokołu OCPP o funkcje które nie są niezbędnie konieczne do poprawnego działania stacji, zostaną zidentyfikowane funkcje które są niezbędne do kontroli procesu ładowania oraz autoryzacji i rozliczania użytkowników, a następnie zostaną one zaimplementowane w kontrolerze ładowania.

Napięcia fazowe oraz ilość energii pobranej przez samochody elektryczne mierzona będzie za pomocą analizatora sieci zabudowanego w stacji ładowania, a przyłączonego złączem RS485 lub RS232 do kontrolera ładowania. Takie rozwiązanie posiada następujące zalety:

- analizatory sieci posiadają wykonania, które posiadają certyfikację MID (Measurements Instruments Directive), a więc mogą być podstawą do rozliczeń usługi sprzedaży energii elektrycznej, w oparciu o ilość kilowatogodzin pobranych przez pojazd w sesji ładowania.

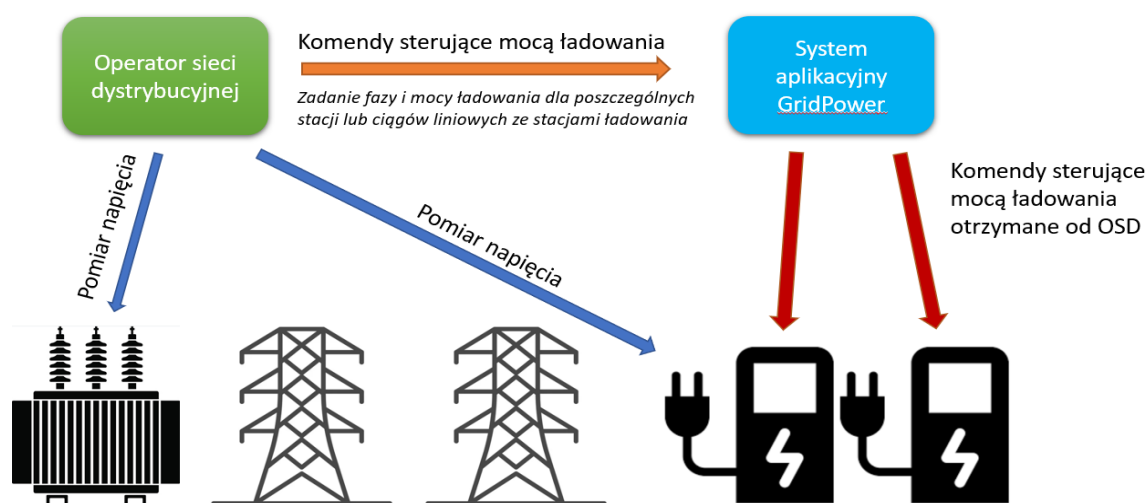
- analizatory sieci są efektywne kosztowo, stanowią specjalizowane urządzenia instalowane na szynie DIN, z pomiarem bezpośrednim

W wypadku pracy pod nadzorem systemu zewnętrznego, to jest realizowanej przez:

- lokalnego Operatora Sieci Dystrybucyjnej
- lokalny system zarządzania energią

możliwe będzie, w odniesieniu do każdej ze stacji, zadanie:

- fazy na której ma być realizowane ładowanie pojazdu (w wypadku ładowania jednofazowego)
- mocy ładowania - z możliwością aktualizacji tej mocy w czasie rzeczywistym, w ramach prądów fazowych przewidzianych normą EN 61851, tzn od 6A do 32A.



Rysunek - Schemat poglądowy pracy ładowarek GridPower pod kontrolą systemu zewnętrznego

Praca ładowarek pod kontrolą zewnętrznego systemu umożliwi realizację następujących

System aplikacyjny GridPower, będący przedmiotem realizacji w ramach niniejszego projektu, zapewni odpowiednio zabezpieczony interfejs programowy REST API, umożliwiający przekazanie parametrów pracy dla każdej ze skomunikowanych z systemem aplikacyjnym ładowarek.

Umożliwi to realizację (przykładowo) następujących scenariuszy (przypadków użycia):

- ograniczenie mocy ładowania w celu zapobieżenia nadmiernym spadkom napięcia w sieci
- ograniczenie mocy ładowania (lub awaryjne przerwanie ładowania) wynikające z programów odpowiedzi popytu (DSR - demand side response), aktywowanych przez PSE (a następnie realizowanych przez tzw agregatorów popytu) w sytuacjach awaryjnych (niezbilansowanie KSE, zagrożenie blackoutem etc)
- aktywne uniknięcie wyłączenia się falowników wskutek zbyt wysokiego napięcia w sieci, poprzez maksymalizację mocy możliwej do wykorzystania do ładowania pojazdów elektrycznych i/lub wybór fazy która zostanie wykorzystana do ładowania pojazdu
- zwiększenie autokonsumpcji w danej lokalizacji poprzez maksymalizację mocy możliwej do wykorzystania do ładowania pojazdów elektrycznych
- dostosowanie sumarycznej mocy ładowania ładowarek w danej lokalizacji (np parkingu) z mocą przyłączeniową danego obiektu, w celu aktywnego uniknięcia przeciążenia (przekroczenia mocy umownej lub przyłączeniowej)

Powyżej przytoczono przykład możliwych do zrealizowania scenariuszy. Scenariuszy takich może być więcej, w zależności od specyfiki danej sieci i lokalizacji.