

## Tryby pracy UPS: nowy algorytm zapewniający niezrównaną sprawność



### Streszczenie

Standardową, dostępną obecnie i szeroko akceptowaną w przemyśle jako idealne i najbardziej niezawodne rozwiązanie UPS dla dużych instalacji jest technologia podwójnej konwersji występująca w różnych konfiguracjach.

W trybie podwójnej konwersji zasilacz UPS zapewnia izolację od zniekształceń sieci. Tryb ten pozwala na sterowanie napięciem wyjściowym i częstotliwością napięcia wyjściowego bez względu na wartości wejściowe napięcia i częstotliwości. Musimy jednak zadać pytanie, czy podwójna konwersja jest rzeczywiście jedynym możliwym sposobem eliminacji tego typu zakłóceń?

Chociaż dowiedziono, że technologia podwójnej konwersji sprawdza się w ochronie instalacji przed niemal każdym typem zakłóceń, ma ona jednak jedną zasadniczą wadę - sprawność. W celu zapewnienia tak wysokiej ochrony, UPS działający w oparciu o podwójną konwersję stale pracuje w trybie maksymalnej kontroli zasilania, co pociąga za sobą zużycie dużej ilości dodatkowej energii.

Czy istnieje zatem bardziej wydajne rozwiązanie pozwalające chronić aplikacje o znaczeniu krytycznym?

Wzorcowym rozwiązaniem jest zasilacz UPS potrafiący rozpoznawać różne typy zakłóceń elektrycznych i reagować na każde konkretne zakłócenie w najbardziej wydajny i efektywny sposób. Firma Chloride sprawiła, że takie rozwiązanie jest teraz możliwe poprzez stworzenie rewolucyjnej technologii **Trinergy**.

### 1. Wprowadzenie

W przypadku dużych aplikacji o znaczeniu krytycznym, takich jak centra danych, uznawano, że najlepszym rozwiązaniem do obsługi obciążeń przy wysokim poziomie ochrony przed niemal wszystkimi rodzajami zakłóceń sieci elektrycznej jest zasilacz UPS działający w trybie podwójnej konwersji.

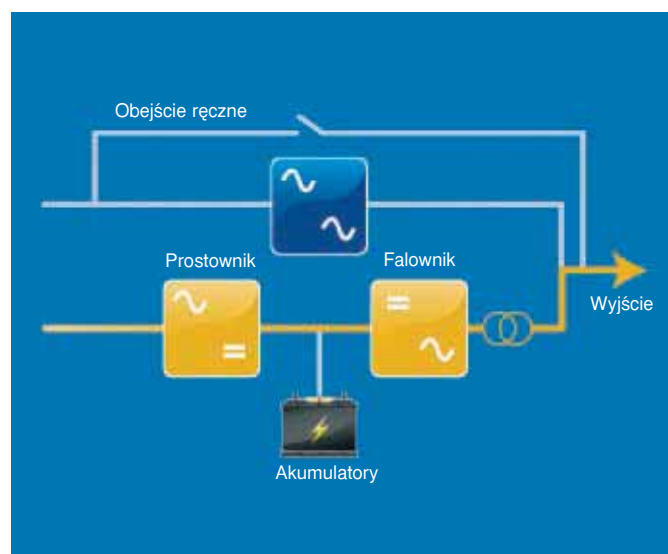
Stosowanie UPS działającego w trybie podwójnej konwersji ciągle jest wiodącym rozwiązaniem chroniącym przed różnymi stanami występującymi w sieci elektrycznej.

Z czasem zarówno technologia cyfrowego przetwarzania sygnałów (Digital Signal Processing - DSP) i opatentowana przez firmę Chloride technologia sterowania wektorowego (Vector Control) pozwoliły stworzyć rozwiązania cechujące się wyższym poziomem wydajności. Jednym z takich rozwiązań jest inteligentna podwójna konwersja, wprowadzona na rynek urządzeń UPS przez firmę Chloride w roku

1998. Inteligentna podwójna konwersja w sposób ciągły monitoruje linię zasilającą i określa sytuacje, w których obciążenie może być zasilane bezpośrednio przez linię obejściową. Technologia ta jest obecnie szeroko stosowana w produktach 3-fazowych o mocy od 10 kVA do 800 kVA.

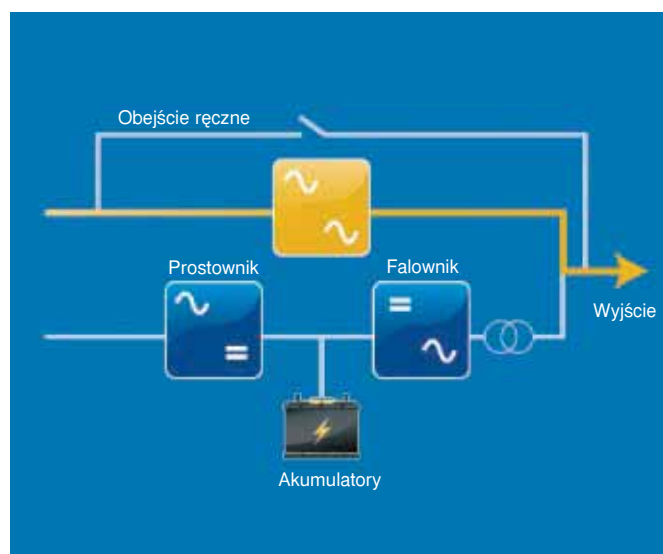
Chociaż inteligentna podwójna konwersja pozwala na znaczące ograniczenie strat energii w zasilaczu UPS, to w niektórych przypadkach warunki zasilania nie są wystarczające, aby system mógł pracować konsekwentnie w trybie wysokiej wydajności. Może się tak dzieć zarówno z powodu zakłóceń na linii zasilającej oraz/lub z powodu charakterystyki obciążenia (w szczególności dotyczy to zniekształceń prądu i zmian współczynnika mocy). Czasami skutkuje to sytuacją, w której zasilacz UPS musi nieustannie pracować w trybie maksymalnej ochrony.

## Tryby pracy UPS: nowy algorytm zapewniający niezrównaną sprawność



Rysunek 1 - Typowy jednoliniowy schemat UPS działającego w trybie podwójnej konwersji (VFI) z transformatorem wyjściowym

Wraz z szerszym wdrażaniem tego typu konfiguracji coraz bardziej stawało się jasne, że potrzebne jest jeszcze bardziej inteligentne rozwiązanie. Taki system mógłby rozpoznawać różne typy zakłóceń i zapewniać kondycjonowanie zasilania odpowiadające poziomowi i rodzajowi zakłócenia, zamiast stale stosować jedno rozwiązanie (podwójna konwersja lub inteligentna podwójna konwersja) w przypadku wszystkich rodzajów zakłóceń.



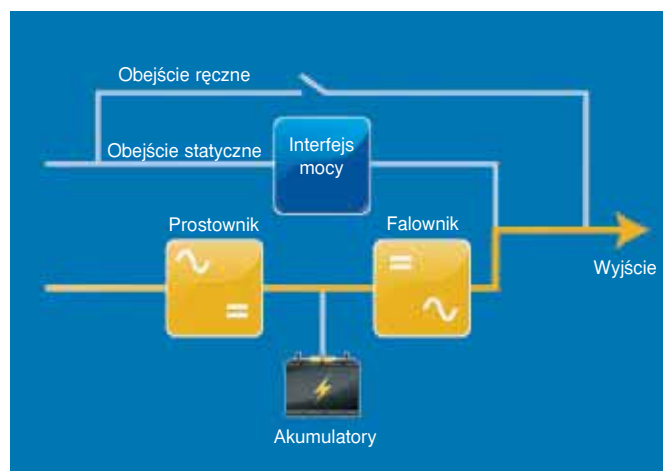
Rysunek 2 - Jednoliniowy schemat UPS pracującego z priorytetem na linii obejściowej. Falownik pozostaje stale zsynchronizowany z linią obejściową i w gotowości do płynnego przełączania obciążenia zawsze, gdy zachodzi taka potrzeba.

Istnieje szereg zakłóceń (takich jak spadki, fluktuacje napięcia, harmoniczne itp.), które mogą zostać skompensowane za pomocą filtrów, szczególnie filtrów aktywnych, bez konieczności przepływu energii przez linię kondycjonowaną.

## 2. Co w sytuacji, gdy standardowy zasilacz UPS jest wyposażony w filtr aktywny?

Tak się zdarza. Gdy UPS pracuje w trybie line interactive, falownik pozostaje nieaktywny, ale jest w każdym momencie gotowy do zasilania obciążenia. Z tego powodu falownik może być używany do kompensowania zakłóceń od linii zasilającej do obciążenia lub odwrotnie, dzięki możliwości całkowitego odizolowania obciążenia od linii zasilającej bez konieczności korzystania z podwójnej konwersji. Możliwa jest mimo wszystko sytuacja, w której występuje awaria linii zasilającej albo wymagana jest wyższa kompensacja, niż może ją zapewnić falownik; w takim przypadku UPS włączy tryb podwójnej konwersji bez zakłócania zasilania odbiorców.

Obecnie te rozwiązania zostały jeszcze bardziej rozwinięte poprzez zastosowanie najnowszej technologii w 3-fazowych urządzeniach zapewniających podwójną konwersję: beztransformatorowych zasilaczach UPS (patrz Rys. 3). Tego typu UPS może osiągać moc do 1200 kW, co w połączeniu z najnowszymi technologiami w zakresie sterowania, pozwala na zapewnienie najwyższego poziomu ochrony zasilania i - jednocześnie - najwyższego poziomu sprawności w porównaniu z innymi produktami obecnymi na rynku.

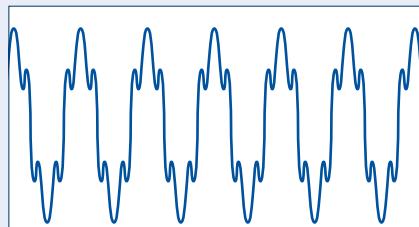


Rysunek 3 - Nowy, beztransformatorowy zasilacz UPS wyposażony w technologię Trinergy, pracujący w trybie podwójnej konwersji.

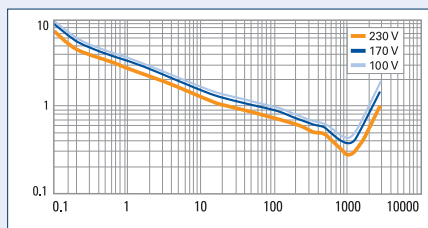
## Tryby pracy UPS: nowy algorytm zapewniający niezrównaną sprawność

### 2.1 Typowe zakłócenia elektryczne

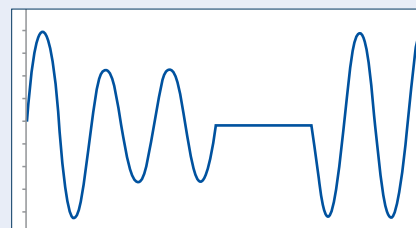
Jakość zasilania elektrycznego jest uzależniona od występowania kilku rodzajów zakłóceń, które dla uproszczenia można zebrać w następujące grupy:



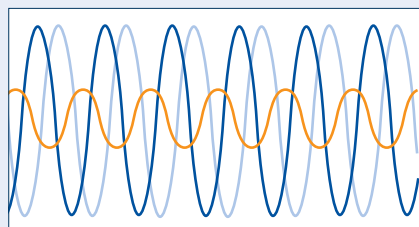
Harmoniczne i interharmoniczne



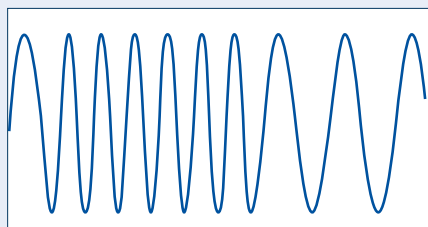
Fluktuacje i migotania napięcia



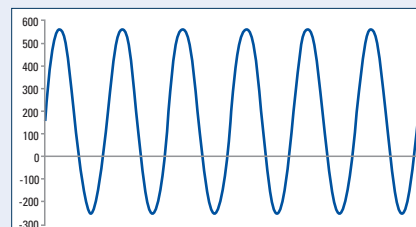
Spadki napięcia i przerwy



Nierównowaga napięcia



Zmiany częstotliwości zasilania



Składowe stałe, nierówności i szумы elektryczne

Inne zakłócenia obejmują indukowane napięcie o niskiej częstotliwości oraz chwilowe napięcia oscylacyjne.

### 2.2 Dostępne rozwiązania

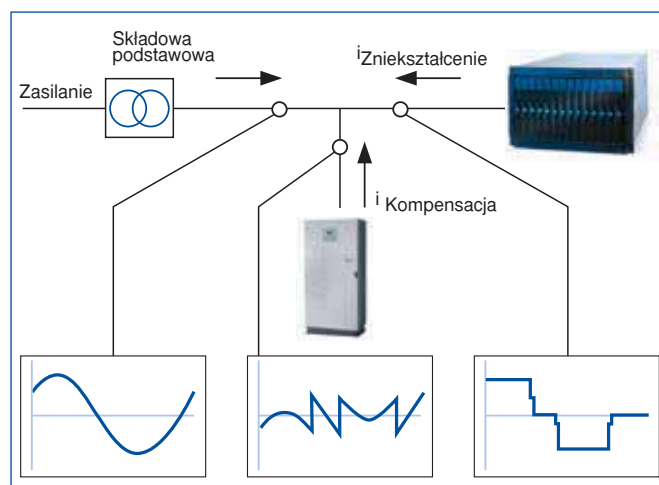
Obecnie dostępnych jest na rynku kilka rozwiązań służących kondycjonowaniu i poprawie jakości zasilania obciążenia:

- UPS
- Układy TVSS (Transient Voltage Source Suppressor)
- Przelączniki statyczne
- Szeregowe filtry aktywne
- Równoległe filtry aktywne
- Hybrydowe filtry aktywne (szeregowe i równoległe)

Ostatnie trzy wymienione rozwiązania są oparte na filtrach aktywnych używanych zwykle w ramach określonych limitów i z wysoką wydajnością, w celu kompensacji wszystkich kategorii zakłóceń, z wyjątkiem przerw w napięciu i zmian częstotliwości.

Jeśli wziąć pod uwagę typowe zakłócenia elektryczne wymienione w punkcie 2.1 okazuje się, że zasilacz UPS podwójnej konwersji stanowi obecnie jedyne urządzenie zdolne do kompensacji wszystkich możliwych zakłóceń elektrycznych. Zasilacz UPS rzeczywiście jest w stanie zasilac obciążenie napięciem wysokiej jakości zarówno w razie wystąpienia dużych fluktuacji amplitudy napięcia, jak również całkowitych przerw w zasilaniu. W tym ostatnim przypadku kompensacja odbywa się za pomocą lokalnych urządzeń do magazynowania energii, takich jak akumulatory czy koła zamachowe.

Zasilacz UPS pracujący w trybie podwójnej konwersji to z pewnością wiodące rozwiązanie. Jego jedyną wadą jest duże zużycie dodatkowej energii w trakcie stałego przekształcania wejściowego napięcia przemiennego na napięcie stałe, a następnie napięcia stałego na wyjściowe napięcie przemiennie.



Rysunek 4 - Równoległy filtr aktywny służący do kompensacji harmonicznych, współczynnika mocy i zmian napięcia.

## Tryby pracy UPS: nowy algorytm zapewniający niezrównaną sprawność

### 2.3 Inteligentna podwójna konwersja zapewniająca wysoką sprawność

W wielu przypadkach wysoki poziom kondycjonowania zasilania przez zasilacz UPS pracujący w trybie podwójnej konwersji jest wyższy, niż potrzebny do kompensacji występujących zakłóceń. Idealne rozwiązanie polegałoby zatem na pracy w trybie podwójnej konwersji tylko wówczas, gdy jest to konieczne, czyli tylko wówczas, gdy fluktuacja napięcia wejściowego nie mieści się w zakresie tolerancji.

Zasilacz UPS z funkcją inteligentnej podwójnej konwersji jest to zatem zasilacz UPS, który wykorzystuje automatyczną linię obejściową jako główne źródło zasilania obciążenia, ale jednocześnie:

1. falownik pozostaje stale zsynchronizowany z linią obejściową, aby w razie potrzeby możliwe było szybkie i niezawodne przełączanie do trybu podwójnej konwersji albo na zasilanie z akumulatorów
2. wejście jest monitorowane w sposób ciągły w celu wykrywania możliwych fluktuacji stanowiących odchylenie od normalnych warunków.

To rozwiązanie pozwala na stosowanie podwójnej konwersji tylko wówczas, gdy jest to konieczne i zasilanie obciążenia przez linię obejściową przy zużyciu tylko bardzo małej ilości energii.

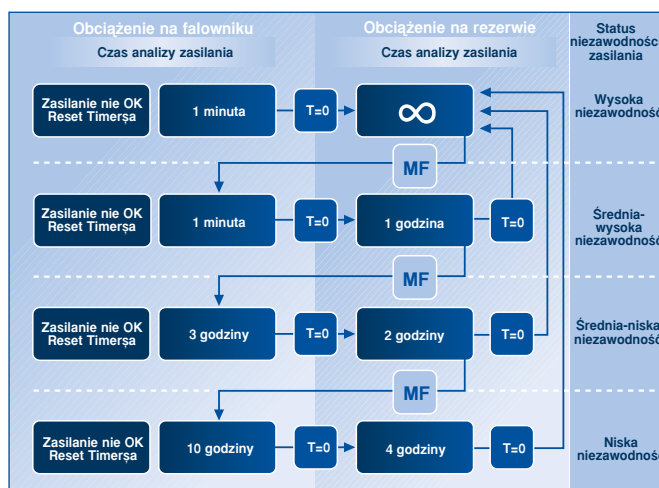
- Typowa wydajność najnowszego transformatorowego zasilacza UPS pracującego w trybie podwójnej konwersji wynosi 93%
- Typowa wydajność transformatorowego zasilacza UPS zasilającego obciążenie przez linię obejściową wynosi 97%

W celu uniknięcia zbyt częstych przełączeń pomiędzy dwiema liniami (po przekroczeniu granic tolerancji linii zasilającej albo po awarii) wdrożony został specjalny algorytm, który w zależności od częstotliwości i czasu trwania problemu na linii zasilającej umożliwia monitorowanie obciążenia przez dłuższy okres czasu, zanim nastąpi powrót do zasilania przez linię obejściową. Z tego powodu, w zależności od środowiska elektrycznego, zasilacz UPS będzie pozostawał przez pewien czas na linii obejściowej, a przez pozostały czas na linii kondycjonowanej. Szczegółowe wyjaśnienie kwestii związanych z wydajnością wynikających z zastosowania takiego rozwiązania zostało przedstawione w „New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimization“(Zanei, 2009)<sup>2</sup>.

To standardowe rozwiązanie, pozwalające uzyskać większą sprawność, stosowane jest we wszystkich 3-fazowych zasilaczach UPS o dużej mocy (powyżej 10 kVA).

### 2.4 Użycie falownika jako filtra aktywnego

Rozwiązanie to polega na użyciu równoległych i szeregowych filtrów aktywnych podczas pracy na linii obejściowej. Pozwala to na kompensację większości kategorii zakłóceń wymienionych w punkcie 2.1, z wyjątkiem przerw napięcia i zakłóceń częstotliwości, w ramach określonych limitów i przy utrzymaniu wysokiej sprawności. Można to osiągnąć pod warunkiem, że filtr aktywny zużyje w celu kompensacji zakłóceń mniej mocy niż tryb podwójnej konwersji.



Rysunek 5 - Algorytm stosowany do sterowania stanem UPS w zależności od jakości linii zasilającej. Ten algorytm jest fundamentalnym narzędziem pozwalającym uniknąć zbyt częstych przełączeń pomiędzy trybem podwójnej konwersji a cyfrowym trybem interaktywnym w przypadku pogorszenia parametrów linii zasilającej.

Jest to z pewnością dobry sposób na zwiększenie ogólnej wydajności zasilacza UPS, jednakże można ją zwiększyć jeszcze bardziej przy utrzymaniu najwyższego poziomu ochrony przed zakłóceniami zasilania.

- Co się dzieje gdy w środowisku elektrycznym zbyt często zdarzają się przekroczenia parametrów linii zasilającej poza granice tolerancji?
- Dlaczego zasilacz UPS musi przełączyć się w tryb podwójnej konwersji nawet w przypadku małych przekroczeń granic tolerancji, skoro mógłby w tym celu zostać użyty mniejszy filtr?
- Co może zostać zrobione w celu ograniczenia efektów niepożądanych obciążeń (zniekształceń lub zmian współczynnika mocy) w przypadku bezpośredniego podłączenia do linii zasilającej w cyfrowym trybie interaktywnym?

W trzech wymienionych powyżej sytuacjach zasilacz UPS będzie pracował przez dłuższy okres czasu w trybie podwójnej konwersji, chociaż nie jest to zawsze konieczne. Dzieje się tak ze względu na podejście, często stosowane w tego typu wysokowydajnych rozwiązaniach, polegające na całkowitym odłączeniu linii zasilającej od obciążenia (patrz Rysunek 1).

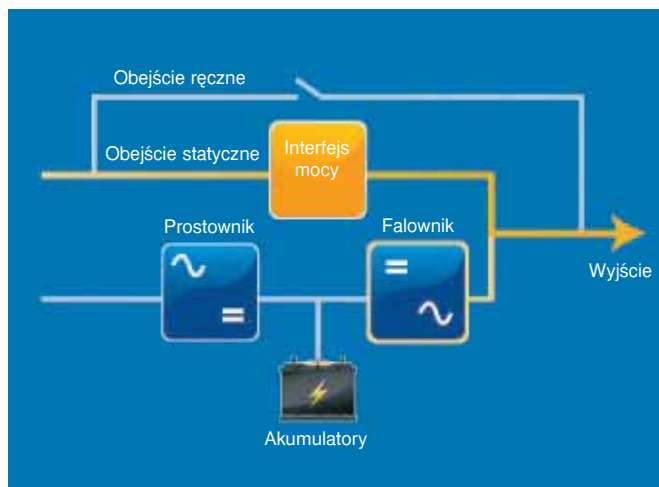
## Tryby pracy UPS: nowy algorytm zapewniający niezrównaną sprawność

**Falownik jako równoległy filtr aktywny:** falownik będzie pracować jako generator sterowany prądowo, wytwarzający prąd pozwalający skompensować moc bierną i zniekształcenia harmoniczne.

**Falownik jako szeregowy filtr aktywny:** prąd filtra aktywnego będzie mieć kształt pozwalający na kompensację napięcia linii obejściowej w celu jego utrzymania w ramach limitów tolerancji. Jest to możliwe dzięki indukcyjności szeregowej, która ma jeden główny cel polegający na dodaniu małej impedancji liniowej służącej aktywnej kompensacji napięcia poprzez interakcję z prądem filtra aktywnego generowanym przez falownik.

Proporcjonalnie do prądu generowanego w celu kompensacji zakłóceń, straty mocy będą wyższe od strat występujących na wysokowydajnej linii obejściowej, ale zawsze będą mniejsze niż w przypadku trybu podwójnej konwersji.

Jeżeli zatem rozwiązanie to zostanie połączone w jednym zasilaczu UPS z najnowszą technologią beztransformatorową, staje się jasne, że taki zasilacz UPS z technologią Trinergy naprawdę cechuje się najwyższą dostępną obecnie sprawnością.

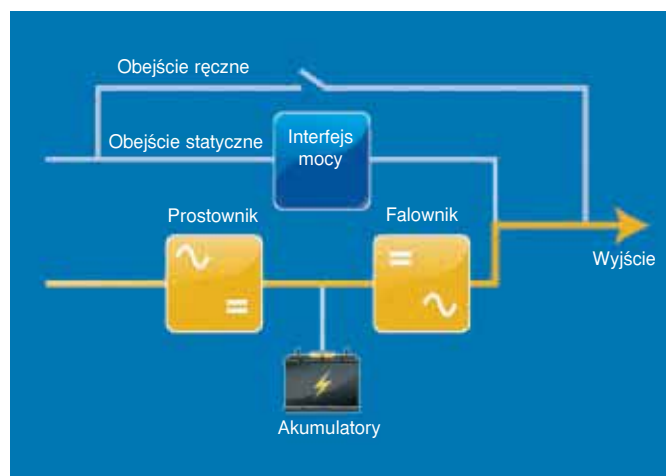


Rysunek 6 - Technologia Trinergy. Zasilacz UPS jest ustawiony na automatyczne kompensowanie określonych zakłóceń sieci za pomocą falownika IGBT działającego jako filtr aktywny, który może zostać skonfigurowany na pracę równoległą albo szeregową, podczas gdy obciążenie jest zasilane przez linię obejściową.

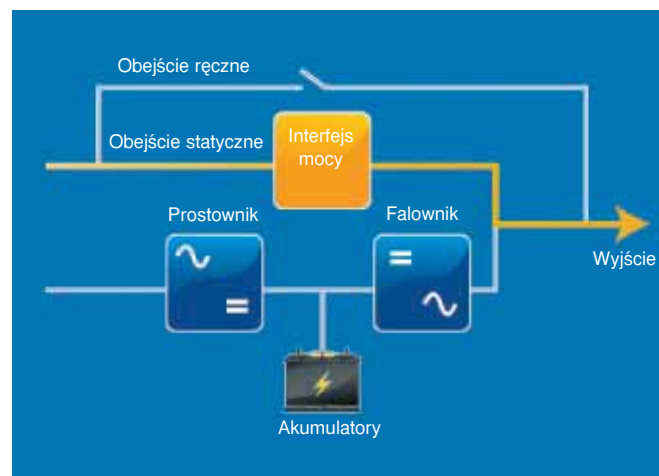
### 3. Opis sterowania Trinergy

Trinergy to nowe, przełomowe rozwiązanie łączące w jednym beztransformatorowym zasilaczu UPS trzy dotychczasowe, standardowe typy UPS:

- **Tryb maksymalnej kontroli zasilania** (IEC 62040-3 VFI): to tryb podwójnej konwersji, który zapewnia najwyższy poziom kondycjonowania zasilania. Chroni on obciążenie przed wszystkimi typami zakłóceń sieci elektrycznej, zużywając przy tym większe ilości energii. Sprawność z pełnym obciążeniem przy zastosowaniu najnowszej technologii beztransformatorowej wynosi ponad 95%.
- **Tryb maksymalnej oszczędności energii** (IEC 62040-3 VFD): ten tryb rozpoznaje, kiedy kondycjonowanie nie jest potrzebne, i pozwala na przepływ energii przez linię obejściową. W tym przypadku sprawność sięga 99%.



Rysunek 7 - Nowy, beztransformatorowy zasilacz UPS wyposażony w technologię Trinergy, pracujący w trybie podwójnej konwersji

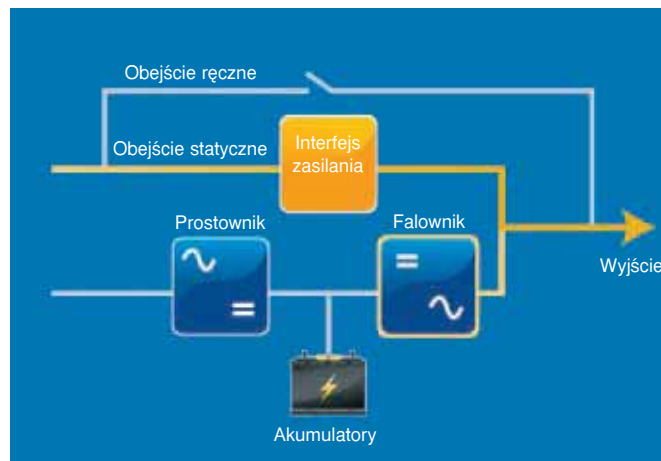


Rysunek 8 - Nowy, beztransformatorowy zasilacz UPS z technologią Trinergy pracujący w cyfrowym trybie interaktywnym.

## Tryby pracy UPS: nowy algorytm zapewniający niezrównaną sprawność

- **Tryb wysokiej wydajności i kondycjonowania zasilania** (IEC 62040-3 VI): kompensowane są główne zakłócenia, takie jak THDi obciążenia, współczynnik mocy obciążenia oraz większe spadki i wzrosty napięcia zasilającego. Wykorzystywana energia pochodzi z falownika, który jako filtr aktywny zapewnia całą niezbędną moc bierną. W typowych warunkach tryb ten cechuje się sprawnością pomiędzy 96 a 98%, w zależności od typu obciążenia (np. nieliniowe, liniowe itp.) oraz wartości wejściowych parametrów linii zasilającej.

Precyzyjne sterowanie w technologii Trinerger pozwala na szybkie i bezpieczne dla odbiorników aktywowanie jednego z trzech różnych trybów działania zasilacza UPS w celu osiągnięcia wydajności i efektywności każdej ze standardowych konfiguracji. Trinerger pozwala jednocześnie utrzymać parametry i stopień ochrony Klasy 1 (IEC 62040-3) zasilacza UPS dla obciążenia oraz doskonale kondycjonowanie zasilania (THDi < 3% i współczynnik mocy na wejściu > 0,99) dla sieci nadrzędnej.



Rysunek 9 - Nowy, beztransformatorowy zasilacz UPS z technologią Trinerger pracujący w trybie interaktywnym linii z filtrem aktywnym kompensującym zakłócenia linii zasilającej lub obciążenia.

## Wnioski

Podsumowując możemy potwierdzić, że stosowana w zasilaczach UPS technologia podwójnej konwersji cechuje się wysoką skutecznością w eliminowaniu praktycznie wszystkich zakłóceń sieciowych. Niezależnie od tej konkluzji pozostaje fakt, że używanie wysokowydajnego zasilacza UPS w trybie ekologicznym nie ma sensu, ponieważ czas, w którym zasilacz UPS może pracować z wysoką sprawnością jest ograniczony, a ochrona linii zasilającej i obciążenia ogranicza się do niepożądanych fluktuacji.

Połączenie i udostępnienie wszystkich standardowych konfiguracji w jednym urządzeniu pozwala na działanie UPS w trybie wysokiej wydajności przez znacząco dłuższe okresy czasu. Technologia Trinerger realizuje ten cel poprzez ciągłe i płynne zapewnianie właściwego poziomu kompensacji zasilania, zarówno w celu ochrony obciążenia, jak i w celu

uniknięcia zakłóceń pochodzących z obciążenia i rozchodzących się na całą instalację.

Stało się to możliwe dzięki wdrożeniu opatentowanej przez firmę Chloride technologii sterowania wektorowego, pozwalającej wykorzystywać falownik jako szeregowy lub równoległy filtr aktywny, podczas gdy UPS pracuje na linii obejściowej.

Możliwe dzięki temu jest osiągnięcie w typowych instalacjach (zgodnie z zapisami zdalnego systemu diagnostycznego LIFE.net firmy Chloride), przeciętnej wydajności 97,9%, bardzo zbliżonej do idealnej wartości 99%<sup>3</sup>, co sprawia, że technologia Trinerger pozwala na uzyskanie wydajności i efektywności każdej ze standardowych konfiguracji, przy jednoczesnym zachowaniu parametrów i stopnia ochrony Klasy 1 (IEC 62040-3) UPS.

# Trinerger

### Bibliografia

- (1) IEEE 1159-1995, "IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality", czerwiec 1995
- (2) Zanei G., Cevenini E., Ferro A. & Rossi C.: "New Control Techniques for UPS Dynamic Efficiency Optimisation", INTELEC Korea 2009
- (3) Nota aplikacyjna: Oszczędność energii, Chloride 2009.

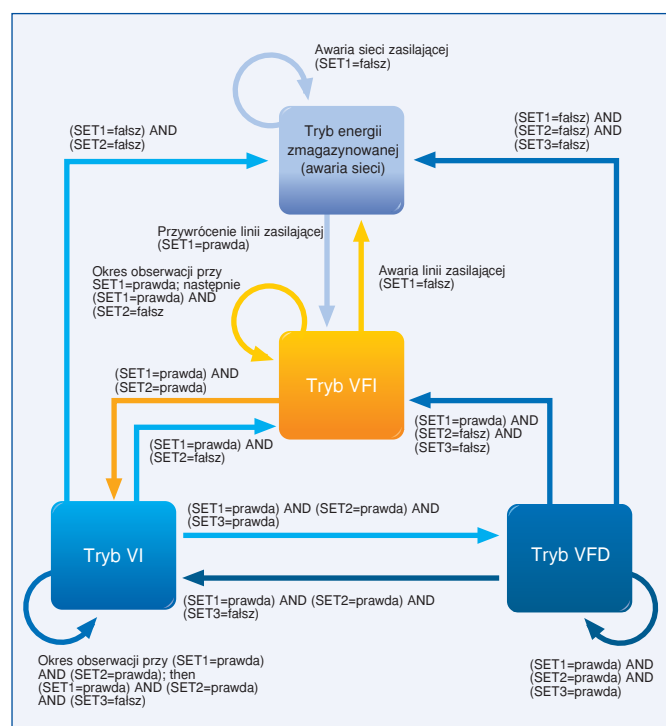
## Załącznik

Aktywacja trzech różnych trybów pracy Trinerger wykonywana jest w oparciu o śledzenie w czasie rzeczywistym głównych parametrów wejściowej sieci zasilającej oraz jakości obciążenia wyjściowego. Parametry podane w poniższej tabeli pokazują metodę stosowaną

przez Trinerger w celu określenia, który z trzech trybów pracy ma zostać włączony w odpowiedzi na różne warunki wejściowe i wyjściowe.

Tryb	Kontrolowane zmienne (Warunki elektryczne kontrolowane przez UPS)					Zmienne obserwowane w ramach specyfikacji UPS (UPS wykorzystuje je w celu wybrania trybu działania)					Sprawność	
	Wejście		Wyjście (obciążenie)			Zakres wejścia		Zakres obciążenia				
Tryb	THDi	PF	V(V)	THDv	f(Hz)	V(V)	f(Hz)	THDi	PF	THDv		
<b>Podwójna konwersja VFI</b>	<3%	>0,99	400	<2% (<3%)	50	400 +/- 20%	45-65	THDi >10%, C.F. <3	Każdy PF (pojemnościowy lub indukcyjny)	<2% (<3%)	95%	<b>SET1</b>
<b>Interaktywny VI</b>	<5%	>0,99	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Jak na wejściu	400 +/- 15%	50 +/- 6%	THDi >5%, THDi <10%	0,9 <PF< 0,95	<3% (<5%)	96-98%	<b>SET2</b>
<b>Cyfrowy interaktywny VFD</b>	<5%	≥0,95	400 +/- 10%	<3% (<5%)	Jak na wejściu	400 +/- 10%	50 +/- 6%	THDi <5%	PF ≥ 0,95	<3% (<5%)	99%	<b>SET3</b>

Tabela A - Zmienne kontrolowane trybów pracy Trinerger\*



Rysunek B - Schemat pracy Trinerger.

Warunki elektryczne związane z obciążeniem i z siecią są monitorowane w sposób ciągły, dzięki czemu możliwe jest najlepsze zabezpieczenie zasilania obciążenia przez cały czas, przy zachowaniu najwyższego poziomu sprawności.

Jeżeli wymienione powyżej obserwowane zmienne znajdują się poza podanymi zakresami, UPS włącza inny tryb roboczy, zgodnie z algorytmem pokazanym na rysunku B.

Zmienne podane w tabeli mogą zostać zmienione na żądanie przez inżyniera serwisu.

\*Warunki podane w tabeli odnoszą się do pełnego obciążenia wyjściowego.

Na schemacie pracy Trinerger (rys. B) pokazano w jaki sposób Trinerger dokonuje wyboru pomiędzy trzema różnymi trybami działania. UPS rozpoczyna pracę w trybie podwójnej konwersji i przełącza się na tryb VI lub VFD tylko wówczas, gdy monitoring warunków sieci wskazuje, że jakość obserwowanych zmiennych jest wystarczająca oraz że są one odpowiednio stabilne.