

# Porównanie parametrów technicznych zasilaczy UPS on-line i zasilaczy o topologii „line interactive”

Jeffrey Samstad

Michael Hoff

**White Paper 79**

**APC**<sup>®</sup>  
Legendary Reliability<sup>®</sup>

## Streszczenie

Zasilacze UPS o mocy poniżej 5000 VA są dostępne w dwóch podstawowych odmianach: o topologii „line interactive” lub „on-line” z podwójną konwersją. W niniejszym dokumencie opisano zalety i wady tych rozwiązań oraz wyjaśniono niektóre często spotykane błędne założenia dotyczące wymagań w zastosowaniach rzeczywistych.

# Wstęp

Większość czynników mających wpływ na wybór kupowanego zasilacza UPS jest oczywista i zrozumiała: czas podtrzymania, koszt, moc, producent, liczba gniazd wyjściowych, łatwość zarządzania itp. Istnieją jednak także czynniki mniej oczywiste, których znaczenie nie jest tak zrozumiałe. Jednym z najmniej rozumianych, a przy tym najczęściej omawianych, jest **topologia**. Topologia (wewnętrzna architektura) zasilacza UPS ma wpływ na jego działanie w różnych środowiskach.

Ponieważ na ogół producenci starają się sprzedać zasilacze o swojej „lepszej” topologii, trudno podjąć świadomą decyzję tylko na podstawie takich twierdzeń. Celem tego dokumentu jest obiektywne przedstawienie zalet i wad dwóch najczęściej spotykanych rozwiązań: **o topologii „line interactive” oraz on-line z podwójną konwersją**.

W górnym i dolnym zakresie mocy nie ma specjalnych wątpliwości co do przewagi jednej topologii nad drugą.<sup>1</sup> Powyżej 5000 VA, zasilacze o topologii „line interactive” są tradycyjnie niepraktyczne ze względu na większe rozmiary i wyższy koszt. W przypadku niskich mocy zaś, poniżej 750 VA, typ on-line z podwójną konwersją jest rzadko brany pod uwagę, ponieważ inne rozwiązania (w tym o topologii „line interactive”) są bardziej praktyczne w przypadku mniejszych obciążeń.

Spór o wyższość topologii on-line z podwójną konwersją lub topologii „line interactive” nad drugą dotyczy zazwyczaj zakresu mocy pomiędzy 750 VA a 5000 VA. Tutaj właśnie przewaga funkcjonalna i ekonomiczna jednej topologii nad drugą nie jest tak oczywista i zależy od określonej instalacji. Podczas gdy zasilacze o topologii „line interactive” stały się najczęściej produkowanymi i wykorzystywanymi w tym zakresie mocy, postęp w technologii półprzewodnikowej i technikach produkcyjnych zmniejszył różnicę kosztów między obydwoma rozwiązaniami, czyniąc wybór trudniejszym niż przedtem.

## Znajomość wymagań instalacji

Przed podjęciem jakiegokolwiek decyzji dotyczącej typu zasilacza UPS, należy poznać wymagania środowiska, w którym zostanie on zainstalowany oraz wymagania chronionego sprzętu. Znajomość tych podstawowych informacji jest kluczem do podjęcia świadomej decyzji dotyczącej wyboru zasilacza o topologii optymalnej dla danego zastosowania.

---

<sup>1</sup> W przypadku *bardzo* dużych mocy — 200 000 VA i więcej — toczy się natomiast inny spór dotyczący wad i zalet zasilaczy **on-line z podwójną konwersją** oraz **on-line z konwersją delta**. Porównanie tych topologii można znaleźć w dokumencie White Paper 1 firmy APC „Różne typy zasilaczy UPS”.

## Urządzenia IT i zasilanie prądem zmiennym: zasilacze impulsowe (SMPS)

Energia elektryczna jest zwykle dostarczana w postaci prądu zmiennego z sieci zewnętrznej i agregatów prądotwórczych zasilania rezerwowego. Napięcie prądu zmiennego oscyluje między wartościami dodatnią i ujemną — w idealnej sytuacji sinusoidalnie — osiągając wartość zerową dwa razy w jednym cyklu. Trudno to zauważyć gołym okiem, ale żarówka podłączona do prądu miga 100 lub 120 razy na sekundę (dla częstotliwości prądu zmiennego 50 lub 60 Hz), kiedy napięcie przekracza zero i zmienia polaryzację.

W jaki sposób urządzenia IT wykorzystują prąd zmienny do zasilania obwodów obliczeniowych? Czy też „wyłącza się” 100 lub więcej razy na sekundę, kiedy napięcie sieci zmienia polaryzację? Jest to pewien problem, z którym urządzenia IT muszą sobie radzić. Sposobem, w jaki niemal wszystkie nowoczesne urządzenia IT radzą sobie z tą kwestią, jest zastosowanie **zasilacza impulsowego** (Switch-Mode Power Supply — SMPS).<sup>2</sup> Zasilacz impulsowy najpierw przekształca prąd zmienny (AC) ze wszystkimi jego niedoskonałościami (skokami napięcia, zniekształceniami sygnału, odchyleniami częstotliwości itp.) w prąd stały (DC). W trakcie tego procesu ładowany jest element magazynujący energię, zwany **kondensatorem**, który znajduje się pomiędzy wejściem zmiennoprądowym a resztą zasilacza. Kondensator jest ładowany impulsowo dwa razy w ciągu każdego cyklu zmian napięcia, kiedy sinusoida osiąga lub zbliża się do szczytu (zarówno dodatniego, jak i ujemnego), a następnie rozładowywany zgodnie z potrzebami urządzeń znajdujących się za kondensatorem. Kondensator jest zaprojektowany w taki sposób, aby przez cały swój cykl eksploatacji pochłaniał te normalne pulsacje prądu zmiennego wraz ze skokami napięcia. W przeciwieństwie do migającej żarówki, urządzenia IT mogą więc działać korzystając ze stabilnego przepływu prądu stałego, a nie pulsującego prądu zmiennego z sieci energetycznej.

To jednak jeszcze nie koniec. Obwody mikroelektroniczne wymagają prądu stałego o bardzo niskim napięciu (3,3 V, 5 V, 12 V itd.), jednak napięcie w opisanym powyżej kondensatorze może wynosić nawet 400 V. Zasilacz impulsowy przekształca również ten prąd stały o napięciu sieciowym w bardzo ustabilizowany wyjściowy prąd stały o niskim napięciu.

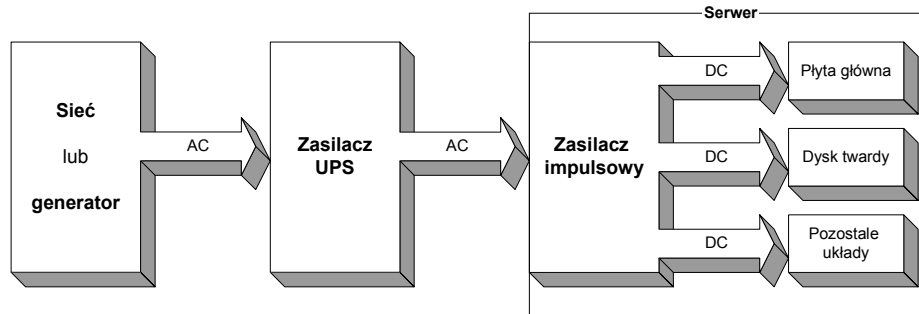
Wykonując tę redukcję napięcia, zasilacz impulsowy spełnia też inną ważną funkcję — zapewnia **separację galwaniczną**. Jest to fizyczne rozdzielanie obwodów mające dwa cele. Po pierwsze, bezpieczeństwo — ochrona przed porażeniem prądem. Po drugie — ochrona przed uszkodzeniem sprzętu lub nieprawidłowym działaniem spowodowanymi napięciem współbieżnym (odniesionym do ziemi) lub szumem. Informacje na temat uziemienia i napięcia współbieżnego są dostępne w dokumentach firmy APC White Paper 9 „Common Mode Susceptibility of Computers” i White Paper 21 „Neutral Wire Facts and Mythology”.

Rysunek 1 przedstawia urządzenie IT (tutaj jest to serwer) chronione przez zasilacz UPS. Pokazano również wewnętrzne elementy serwera, w tym zasilacz impulsowy.

---

<sup>2</sup> Termin „impulsowy” odnosi się tutaj do funkcji wewnętrznych obwodów zasilacza, niezwiązanej z tematem tego dokumentu.

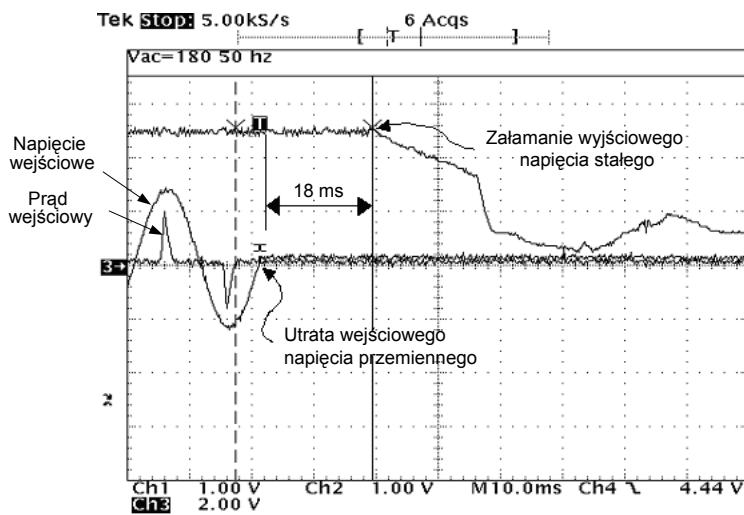
**Rysunek 1** — Typowe zastosowanie zasilacza UPS: zasilacz i serwer



Zasilacz impulsowy niweluje nie tylko interwały między szczytami sinusoidy wejściowego prądu zmiennego, ale także anomalie i krótkie przerwy w zasilaniu. Ta cecha jest bardzo ważna dla producentów urządzeń IT, ponieważ ich celem jest zapewnienie działania sprzętu nawet w sytuacji, gdy zasilacz UPS nie jest dostępny. Żaden producent urządzeń IT nie zaryzykuje swojej reputacji w zakresie jakości i wydajności, produkując zasilacze, które miałyby problemy z przetrwaniem nawet najmniejszych zakłóceń sieci elektrycznej. Odnosi się to szczególnie do urządzeń sieciowych i komputerowych wysokiej klasy, które są zwykle produkowane z użyciem zasilaczy o dobrej jakości.

Aby zademonstrować możliwości w zakresie niwelowania zakłóceń, mocno obciążono zasilacz komputera, a następnie odłączono jego zasilanie. Monitorowano wyjście zasilacza, aby zmierzyć, jak długo po utracie dopływu prądu może on dostarczać akceptowalne napięcie wyjściowe. Wyniki przedstawiono na rysunku 2. Poszczególne przebiegi odpowiadają napięciu wejściowemu zasilacza, natężeniu prądu wejściowego oraz napięciu wyjściowemu DC.

**Rysunek 2** — Działanie zasilacza po utracie zasilania



**Górny wykres:** Niskonapięciowe wyjście prądu stałego zasilacza

**Wykresy pośrodku:** Wejściowe napięcie i prąd

Po utracie zasilania prądem zmiennym, wyjście obciążonego zasilacza komputerowego załamuje się, ale ze znacznym opóźnieniem.

Przed wyłączeniem, *napięcie* wejściowe ma postać sinusoidy widocznej w lewej części rysunku 2. Prąd wejściowy — wykres impulsowy poniżej wygładzonej krzywej napięcia — składa się z krótkiego impulsu przy dodatnim szczycie napięcia wejściowego oraz kolejnego krótkiego impulsu przy ujemnym szczycie. Kondensator zasilacza impulsowego jest ładowany tylko w czasie trwania tych impulsów. Przez resztę czasu pobierana jest energia z kondensatora, aby zapewnić zasilanie obwodom obliczeniowym.<sup>3</sup> Stałemu napięciu na wyjściu zasilacza impulsowego odpowiada wykres w górnej części rysunku 2. Należy zwrócić uwagę, że napięcie wyjściowe pozostaje ustabilizowane przez 18 milisekund od momentu odłączenia zasilania z wejścia prądu zmiennego. Firma APC przetestowała wiele zasilaczy pochodzących od różnych producentów urządzeń komputerowych i innych urządzeń IT. Uzyskane wyniki były bardzo podobne. W przypadku małego obciążenia, napięcie na wyjściu utrzyma się znacznie dłużej, ponieważ wolniejszy będzie proces rozładowywania kondensatora.

### Międzynarodowe normy dotyczące kompatybilności zasilaczy UPS z obciążeniami SMPS

Zostało pokazane, że zasilacz impulsowy musi być w stanie przetrwać krótkie zakłócenia zasilania, aby możliwe było pobieranie mocy z sinusoidalnie zmieniającego się napięcia wejściowego. Ale co to znaczy „krótkie”?

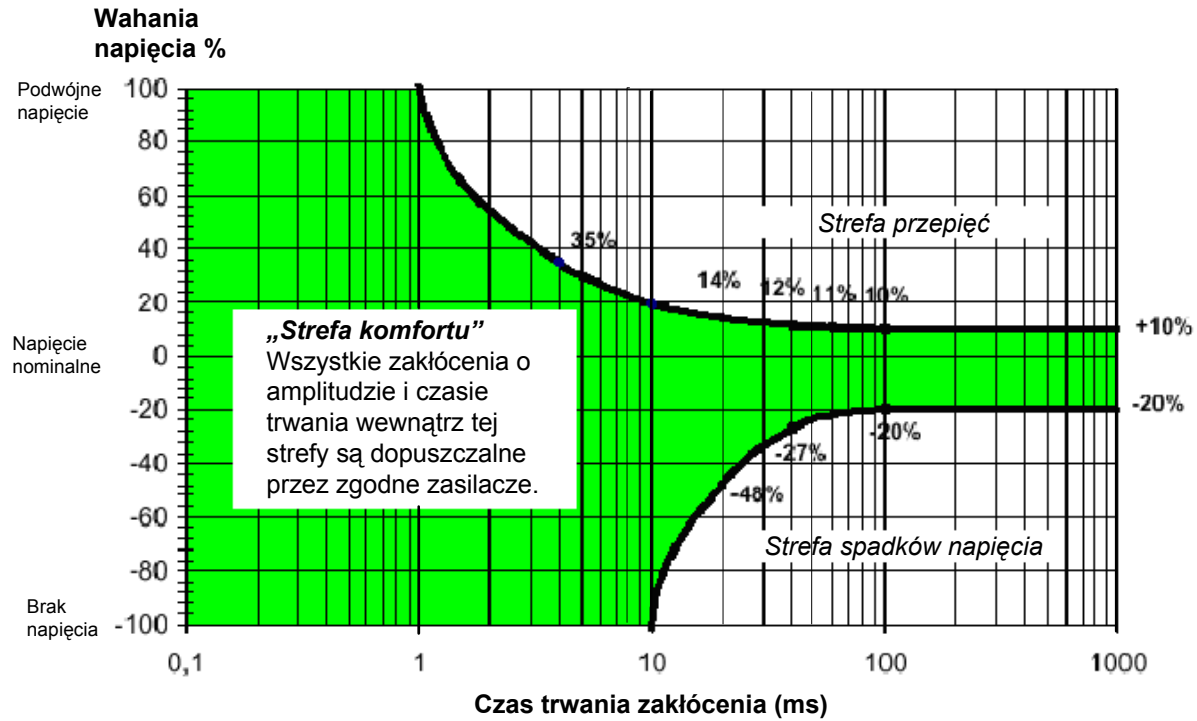
Rysunek 3 pokazuje specyfikacje międzynarodowej normy IEC 62040-3. Określono w niej dopuszczalne zakresy amplitudy i czas trwania zakłóceń napięcia wyjściowego UPS dla urządzeń z zasilaczami impulsowymi. Jak widać po kształcie zaznaczonej „strefy komfortu”, im mniejsza amplituda zakłócenia, tym dłużej może one być obecne na wyjściu zasilacza UPS. Należy zwrócić uwagę, że norma ta dopuszcza *stałe* wahania napięcia — od +10 % do -20 % napięcia nominalnego. Inaczej mówiąc, napięcie wyjściowe zasilacza UPS może się wahać w tym zakresie dowolnie długo bez negatywnego wpływu na działanie zasilacza impulsowego, a to dlatego, że odpowiednia norma dla zasilaczy impulsowych wymaga zapewnienia możliwości niwelowania nawet szerszego zakresu zakłóceń napięcia wejściowego niż ten przedział.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Niektóre zasilacze impulsowe dokonują także omawianej dalej korekcji współczynnika mocy (Power Factor Correction - PFC) i pobierają prąd wejściowy w postaci sinusoidy. One także zawierają wysoko-napięciowy kondensator dokonujący takiej samej stabilizacji.

<sup>4</sup> Odpowiednie normy dotyczące zasilaczy impulsowych, określające zakres zakłóceń, które muszą być akceptowane przez zasilacz, to „ITI / CBEMA curve” oraz IEC 61000-4-11.

**Rysunek 3** — Z normy IEC 62040-3: Amplituda i czas trwania dopuszczalnych anomalii napięcia zmiennego zapewniających kompatybilność z urządzeniami z zasilaczami impulsowymi



IEC 475/99

Zakłócenia napięcia, których amplituda i czas trwania znajdują się w zielonej „strefie komfortu”, są dozwolone na wyjściu zasilacza UPS, do którego podłączone są urządzenia z zasilaczami impulsowymi. Wszystkie inne są niedopuszczalne.

Zgodnie z rysunkiem 3, wymagania dotyczące zgodności dla zasilacza UPS o nominalnym napięciu wyjściowym 120 V prądu zmiennego, są następujące:

- Przez okres do 1 milisekundy wyjściowe napięcie zasilacza UPS może maksymalnie osiągnąć poziom 240 V.
- Przez okres do 10 milisekund napięcie na wyjściu zasilacza może być zerowe!
- Przez okres do 100 milisekund mogą być obecne mniejsze wahania (w górę lub w dół) — dopuszczalny czas trwania zależy od rozmiaru zakłócenia.
- Przez okresy dłuższe niż 100 milisekund (włączając cały czas pracy) napięcie wyjściowe zasilacza UPS musi utrzymywać się w zakresie od 96 do 132 V.

W większości obszarów świata, z wyjątkiem niektórych państw rozwijających się, zasilanie sieciowe jest względnie stabilne. W ciągu zwykłego dnia można zaobserwować wahania napięcia w przedziale maksymalnie 5 % powyżej i poniżej wartości nominalnej — czyli w obrębie dopuszczalnych wahań pokazanych na rysunku 3. Ponieważ zasilacz impulsowy może pobierać zasilanie ze źródła prądu zmiennego o takich parametrach, zapewnia on odporność wymaganą do niezawodnej pracy w typowej sieci elektrycznej.

Podsumowując, zasilacze impulsowe mają następujące zalety:

- Dopuszczają szeroki zakres wahań napięcia i częstotliwości wejściowych bez obniżenia wydajności.
- Posiadają wbudowaną separację galwaniczną pomiędzy wejściem prądu zmiennego, a wyjściem prądu stałego, co eliminuje potrzebę dodatkowej separacji sygnału współbieżnego (między zerem a ziemią).
- Dopuszczają znaczne zniekształcenia napięcia wejściowego bez skrócenia czasu eksploatacji lub pogorszenia niezawodności usług.
- Zapewniają możliwość utrzymania napięcia w przypadku krótkich przerw w zasilaniu.

### Mit a rzeczywistość

**MIT:** Urządzenia o znaczeniu krytycznym wymagają możliwości natychmiastowego przejścia poprzez zasilacz UPS na zasilanie akumulatorowe — na przykład, aby zapobiec zablokowaniu i / lub utracie pakietów w przełącznikach sieciowych.

**RZECZYWISTOŚĆ:** Niemal wszystkie urządzenia o znaczeniu krytycznym są wyposażone w zasilacze impulsowe. Zgodnie z międzynarodowymi normami muszą być w stanie utrzymać napięcie przez 10 milisekund lub więcej (patrz rysunek 3). Urządzenie elektroniczne, który nie jest w stanie wytrzymać takiej przerwy w zasilaniu jest zasadniczo uważane za źle zaprojektowane lub, co zdarza się bardzo rzadko, jest prawdopodobnie urządzeniem specjalistycznym (tzn. nie jest komputerem lub urządzeniem IT).



## Dostępne konstrukcje zasilaczy UPS

W dokumencie White Paper 1 firmy APC „Różne typy zasilaczy UPS” opisano pięć używanych obecnie głównych topologii zasilaczy UPS wraz z ich charakterystyką działania:

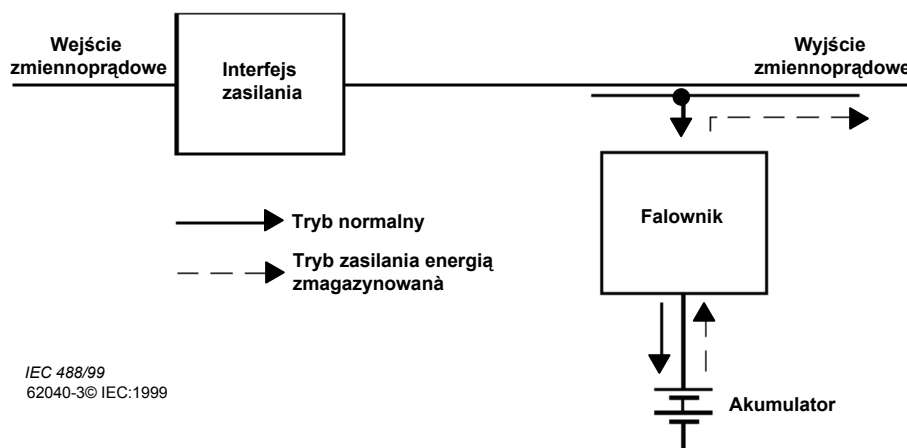
- zasilacze rezerwowe,
- zasilacze o topologii „line interactive”,
- zasilacze o topologii „standby-ferro”,
- zasilacze on-line z podwójną konwersją,
- zasilacze on-line z konwersją delta.

W przedziale mocy między 750 i 5000 VA prawie wszystkie zasilacze UPS sprzedawane obecnie do wykorzystania w zastosowaniach IT posiadają albo topologię „line interactive”, albo są typu on-line z podwójną konwersją. Inne rozwiązania są rzadko spotykane w tym zakresie mocy z przyczyn, których omówienie wykracza poza ramy niniejszego dokumentu.

### Zasilacze UPS o topologii „line interactive”

Zasilacz UPS o topologii „line interactive” kondycjonuje i stabilizuje zasilanie prądem zmiennym z sieci elektrycznej, wykorzystując na ogół pojedynczy przetwornik energii. Rysunek 4 przedstawia standardowy opis tej topologii na podstawie normy IEC 62040-3.

**Rysunek 4** — Topologia „line interactive” zasilacza UPS na podstawie normy IEC 62040-3  
schemat blokowy pokazujący interfejs zasilania i pojedynczy główny moduł konwersji



W przypadku obecności wejściowego napięcia zmiennego, moduł „interfejs zasilania” na rysunku 4 filtruje sygnał zasilający, niweluje skoki napięcia i zapewnia stabilizację napięcia wystarczającą do prawidłowego działania zgodnie omówionymi wcześniej wymaganiami. Jest to najczęściej osiągane za pomocą pasywnych elementów filtrujących i transformatora o regulowanych zaczepach. Główny przetwornik energii (moduł „falownik”) przekierowuje część zasilania wejściowego, aby utrzymywać akumulatory w pełni naładowane, gdy w sieci jest napięcie. Na ogół wymaga to mniej niż 10 % mocy znamionowej zasilacza UPS, więc jego elementy nie nagrzewają się zbyt w tym trybie działania. Na przykład falownik zasilacza UPS o mocy 3000 W przetwarza podczas ładowania akumulatorów tylko 300 W (1/10 swojej mocy) lub mniej. W przypadku obecności zasilania z sieci, czyli w najczęstszym trybie pracy, wiele komponentów przystosowanych do pracy pod pełnym obciążeniem pracuje zazwyczaj z temperaturą tylko nieznacznie przekraczającą temperaturę otoczenia. Gdy napięcie w sieci wykracza poza dopuszczalny zakres tolerancji, falownik zasila wyjście zmiennoprądowe energią zgromadzoną w akumulatorach. Zakres napięcia wejściowego dla interfejsu zasilania jest na ogół z góry ustalony i wynosi od -30 % do +15 % wartości nominalnej. Na przykład zasilacz UPS o topologii „line interactive” o nominalnym napięciu wyjściowym 120 V będzie dostarczał napięcie mieszczące się w zakresie od 107 do 127 V, podczas gdy jego napięcie wejściowe będzie się wahać w granicach od 84 do 138 V.

Subtelnym, ale ważnym faktem dotyczącym działania zasilacza UPS o topologii „line interactive” jest to, że chociaż filtruje on dostarczane napięcie, nie zmienia kształtu przebiegu pobieranego prądu. Tak więc, jeśli chronione urządzenie jest wyposażone w zasilacz impulsowy z korekcją współczynnika mocy (PFC),<sup>5</sup> zasilacz UPS o topologii „line interactive” nie będzie zniekształcał ani zakłócał korekcji. W przypadku gdy podłączony zasilacz impulsowy *nie* stosuje korekcji współczynnika mocy i pobiera prąd w postaci impulsów (tak jak na rysunku 2), zasilacz UPS także nie zmieni, ani nie „poprawi” kształtu sygnału wyjściowego.

Teoretycznie, zarówno niewielka liczba elementów, jak i niższe straty energii, a zatem i temperatura wewnętrzna przetwornika energii (moduł „falownik” na rysunku 4), przyczyniają się do długiego czasu eksploatacji i wysokiej niezawodności zasilacza. W praktyce jednak, niezawodność jest na ogół zależna od innych czynników, jak to opisano nieco później w sekcji **Uwagi dotyczące niezawodności**.

Dzięki niskim kosztom i wysokiej trwałości zasilacze UPS o topologii „line interactive” są z powodzeniem wykorzystywane w milionach zastosowań IT na całym świecie.

---

<sup>5</sup> Urządzenie z korekcją współczynnika mocy (PFC) pobiera prąd zmienny, którego przebieg ma postać sinusoidy, a nie ciągu impulsów. Rysunek 2 przedstawia przebieg wyjściowy bez korekcji PFC.

### **Zagadnienia do rozważenia (topologia „line interactive”):**

W państwach rozwijających się lub innych obszarach o gorszej infrastrukturze, gdzie napięcie sieciowe jest niestabilne, podlega silnym wahaniom lub występują duże zniekształcenia napięcia, zasilacz UPS o topologii „line interactive” może przechodzić na zasilanie akumulatorowe kilka razy dziennie, a nawet częściej. Przyczyną jest ograniczona zdolność tego typu zasilaczy do niwelowania dużych wahań napięcia i zniekształceń sygnału, chyba że zasilacz odłączy się od sieci i przejdzie na zasilanie akumulatorowe. Mimo, że napięcie wyjściowe dostarczane przez zasilacz UPS o topologii „line interactive” będzie mieściło się w dopuszczalnych przez normę IEC granicach (rysunek 3) tak długo, jak długo dostępne będzie zasilanie akumulatorowe, częste wykorzystanie akumulatorów zmniejsza ich pojemność, a co za tym idzie czas pracy w przypadku dłuższej przerwy w zasilaniu. Ponadto, nawet jeśli akumulatory nie zostaną całkowicie rozładowane, ich częste wykorzystywanie może powodować konieczność ich częstszej wymiany.

### **Zalety topologii „line interactive”:**

- Niższe zużycie energii elektrycznej (niższy koszt działania) — wyższa sprawność spowodowana faktem, że gdy dostępne jest zasilanie o akceptowalnych parametrach, konwersja energii wykonywana jest jedynie w ograniczonym zakresie.
- Teoretycznie wyższa niezawodność — mniejsza liczba elementów i niższa temperatura działania. (patrz sekcja **Uwagi dotyczące niezawodności**).
- Niższe obciążenie cieplne — zasilacz UPS emituje mniej ciepła.

### **Na co zwrócić uwagę:**

Zasilacz UPS o topologii „line interactive” może nie być odpowiednim wyborem w przypadku instalacji, w których:

- Zasilający prąd zmienny jest niestabilny lub zawiera silne zniekształcenia sygnału, ponieważ w celu utrzymania sygnału wyjściowego zasilacza UPS w wymaganych granicach zbyt często będzie wykorzystywane zasilanie akumulatorowe (np. zasilanie z niewielkiego agregatu z nieprecyzyjnym układem AVR).
- Wymagana jest korekcja współczynnika mocy (PFC), a zasilane urządzenia nie wykonują jej samodzielnie.

### **Mit a rzeczywistość**

**MIT:** Zasilacze UPS o topologii „line interactive” nie korygują zasilania — szum i skoki napięcia przedostają się przez te przestarzałe urządzenia.

**RZECZYWISTOŚĆ:** Wysokiej jakości urządzenia o topologii „line interactive” posiadają wbudowane możliwości redukcji skoków napięcia i szumu, aby utrzymać sygnał wyjściowy w dopuszczalnych granicach, dzięki czemu niezawodność chronionego sprzętu pozostaje na odpowiednim poziomie.

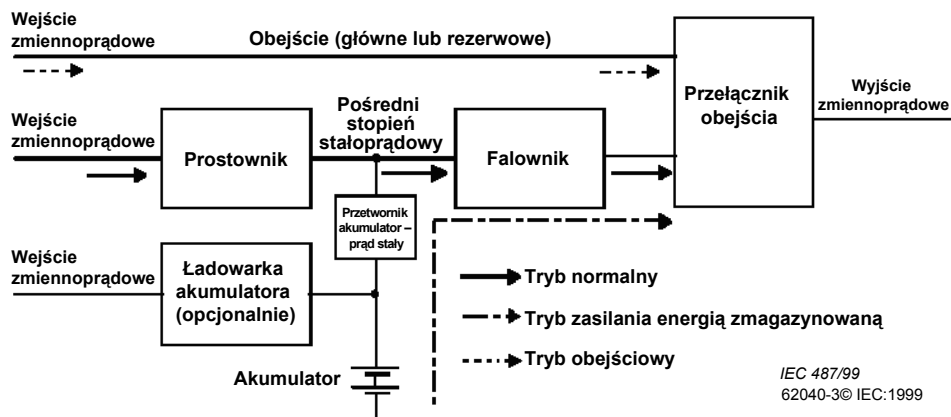
## Zasilacz UPS on-line z podwójną konwersją

Jak sugeruje jego nazwa, zasilacz UPS **on-line z podwójną konwersją** dokonuje podwójnej konwersji energii. Najpierw wejściowy prąd zmienny (AC) wraz ze wszystkimi jego zniekształceniami i innymi anomaliami jest przekształcany w prąd stały (DC). Odbywa się to w podobny sposób, jak w przypadku opisanego wcześniej zasilacza impulsowego w urządzeniu IT. Zasilacz UPS on-line z podwójną konwersją także używa kondensatora do stabilizacji napięcia DC i magazynowania energii pobieranej z wejścia zmiennoprądowego. Następnie prąd stały jest przekształcany z powrotem w zmienny, który podlega precyzyjnej stabilizacji przez zasilacz UPS. Ten wyjściowy sygnał może nawet mieć inną częstotliwość niż sygnał wejściowy — co nie jest możliwe w przypadku zasilacza UPS o topologii „line interactive”. W normalnym trybie pracy cała energia dostarczana do zasilanych urządzeń pochodzi z sieci i podlega procesowi podwójnej konwersji.

Gdy sygnał wejściowy wykracza poza tolerancję, zasilacz UPS pobiera moc z akumulatorów, dzięki czemu sygnał wyjściowy nie zmienia się. W wielu konstrukcjach tego typu, to przejście między zasilaniem z sieci, a zasilaniem akumulatorowym trwa kilka milisekund. Ponownie to kondensator „pośredniego stopnia stałoprądowego” (patrz rysunek 5) dostarcza zmagazynowaną energię do falownika w trakcie tych przejść. Tak więc, pomimo krótkiej przerwy w zasilaniu dostarczanym do „pośredniego stopnia stałoprądowego”, napięcie na wyjściu zasilacza UPS pozostaje niezmienione i stałe.

W nowoczesnych konstrukcjach niemal zawsze obecny jest dodatkowy obwód ładujący akumulator, więc zasilacz UPS on-line z podwójną konwersją przeprowadza konwersję energii w trzech etapach. Rysunek 5 ilustruje tę topologię na podstawie normy IEC 62040-3.

**Rysunek 5** — Topologia zasilacza UPS on-line z podwójną konwersją na podstawie normy IEC 62040-3 schemat blokowy pokazujący cztery przetworniki



Oprócz dokonywania konwersji między prądem zmiennym i stałym, układ prostownika przeprowadza korekcję współczynnika mocy (PFC), co oznacza, że pobiera sinusoidalny prąd z sieci, a nie impulsy (rysunek 2 przedstawia wykres prądu wejściowego bez korekcji PFC). Ponieważ korekcja PFC „poprawia” kształt przebiegu prądu wejściowego, pobierane jest mniej energii — zmniejszeniu ulega także udział składowych harmonicznym wysokiej częstotliwości. Dzieje się tak nawet wówczas, gdy urządzenie IT podłączone do zasilacza UPS pobiera prąd w postaci impulsów (bez korekcji PFC). Więcej informacji na temat korekcji współczynnika mocy i składowych harmonicznym można znaleźć w dokumencie White Paper 26 firmy APC „Hazards of Harmonics and Neutral Overloads”.

Podczas działania pod pełnym obciążeniem, zakres dopuszczalnego napięcia wejściowego zasilacza on-line z podwójną konwersją jest podobny, jak w przypadku topologii „line interactive”. Jednak w przeciwieństwie do zasilacza o topologii „line interactive”, model on-line z podwójną konwersją może pracować przy znacznie niższych napięciach wejściowych, gdy zasilacz UPS nie jest w pełni obciążony. W przypadku typowego zasilacza z podwójną konwersją o napięciu nominalnym 120 V oznacza to, że zasilacz może być w stanie pracować przy niedużych obciążeniach nawet jeśli napięcie wejściowe spadnie do poziomu 50 % wartości nominalnej. O ile jest to interesująca cecha topologii on-line, jest rzadko użyteczna dla celów innych niż demonstracja, ponieważ dłuższe zakłócenia o takiej amplitudzie są niezwykle rzadkie, a obciążenie w praktyce okazuje się być zmienne.

Zasilacz UPS typu on-line jest na ogół mniejszy od odpowiednika o topologii „line interactive” dla dowolnej mocy znamionowej. Mimo że posiada więcej elementów (na ogół trzykrotnie więcej), to są one mniejsze. Jest to szczególnie widoczne w przypadku jednostek wysokiej mocy, powyżej 2200 VA oraz przy porównaniu z zasilaczami UPS o topologii „line interactive” z możliwością rozbudowy podczas pracy.

Topologia on-line na ogół zawiera obwód obejściowy używany do zasilania odbiorów w przypadku wystąpienia długotrwałego przeciążenia lub problemu z którymś z obwodów podwójnej konwersji. Przełączanie pomiędzy obwodem obejściowym, a falownikowym często powoduje utratę sygnału wyjściowego na kilka milisekund, podobnie jak w przypadku zasilacza UPS o topologii „line interactive” przechodzącego na zasilanie akumulatorowe. W efekcie wiele modeli on-line opiera się na założeniu, że zasilacze impulsowe powinny znieść te zakłócenia wyjściowego prądu zasilacza UPS. Podobnie jak w przypadku jednostek o topologii „line interactive”, nie stanowi to problemu tak długo, jak długo zniekształcenie sygnału mieści się w granicach przedstawionych na rysunku 3.

### **Zagadnienia do rozważenia (topologia on-line z podwójną konwersją)**

Zasilacze on-line z wieloma stopniami konwersji energii pracująymi w sposób ciągły, aby dostarczyć precyzyjnie stabilizowane napięcie wyjściowe, z którego są znane, są w stanie obsłużyć obciążenia aż do poziomu mocy znamionowej. Jednakże z tą zwiększoną wydajnością wiąże się pewne koszty.

Ze względu na obecność wielu stopni konwersji energii, typowy zasilacz UPS on-line z podwójną konwersją będzie posiadał dużo więcej elementów niż typowy model o topologii „line interactive”. Ponieważ w trybie normalnej pracy elementy zasilacza bez przerwy przetwarzają całą moc pobieraną przez zasilane urządzenia, starty energii, a zatem i ich temperatura jest na ogół wyższa, niż w przypadku zasilacza UPS o topologii „line interactive”. Teoretycznie, zarówno ciągła praca, jak i wyższe temperatury, zmniejszają niezawodność elementów zasilacza UPS. W praktyce jednakże, niezawodność jest często zależna od innych czynników, jak to jest opisane w następnym sekcji **Uwagi dotyczące niezawodności**.

Innym czynnikiem, który należy rozważyć, jest dodatkowa energia potrzebna do pracy zasilacza UPS on-line z podwójną konwersją. Zasilacz taki działa bez przerwy ze sprawnością w zakresie od 85 % do 92 %, zależnie od szczegółów konstrukcji, w porównaniu do 96 % i 98 % w przypadku zasilacza UPS o topologii „line interactive”. Na przykład zasilacz UPS o mocy 1000 W i sprawności 90 % będzie pod pełnym obciążeniem stale pobierał 100 W mocy. Oznacza to w przybliżeniu rocznie 100 USD dodatkowych kosztów energii elektrycznej (przeciętnie). Ponadto, te 100 W ciepła musi zostać odprowadzone z otoczenia, pociągając za sobą dodatkowe koszty chłodzenia, zależne od sprawności konkretnego systemu chłodzenia. Może się to wydawać niewielkim kosztem, ale jeśli wziąć pod uwagę straty na wszystkich zasilaczach UPS w przedsiębiorstwie lub nawet zużycie energii podczas całkowitego czasu eksploatacji pojedynczego zasilacza UPS, staje się to znaczącym czynnikiem w całkowitym koszcie eksploatacji zasilacza UPS. Dla porównania, podobnie obciążony zasilacz UPS o topologii „line interactive” będzie generował mniej niż jedną trzecią tych kosztów.

### **Mit a rzeczywistość**

**MIT:** Zasilacze UPS typu on-line zapewniają lepszą ochronę przed szumem (Common-Mode noise).

**RZECZYWISTOŚĆ:** Chociaż jest możliwe zaprojektowanie zarówno modelu o topologii „line interactive”, jak i on-line, z separacją galwaniczną, na ogół oba rodzaje używają elementów pasywnych do *redukcji* zakłóceń napięcia. Żadna z tych konstrukcji nie ma istotnej przewagi pod tym względem. Zasilacze impulsowe same w sobie oferują separację galwaniczną, a więc zewnętrzna separacja jest zbędna. Więcej informacji można znaleźć w dokumentach White Paper 9 i 21 firmy APC.

#### Zalety topologii on-line z podwójną konwersją:

- W przypadku silnych wahań lub zniekształceń napięcia wejściowego rzadziej korzysta z akumulatorów.
- Zapewnia korektę współczynnika mocy, bez względu na typ zasilanych urządzeń.
- Zajmuje mniej miejsca, szczególnie przy wyższych mocach.
- Zapewnia stabilizację częstotliwości sygnału wyjściowego, a nawet możliwość „konwersji” z częstotliwości 50 Hz na 60 Hz i na odwrót.

Za *zaletę* topologii on-line można by także uznać precyzyjną stabilizację napięcia wyjściowego. Jednak zasilacze impulsowe nie wymagają tak dokładnie stabilizowanego sygnału zasilającego ze względu na regulację napięcia wykonywaną przez nie same, jak to opisano wcześniej w tym dokumencie.

#### Na co zwrócić uwagę:

- Zasilacz on-line z podwójną konwersją zawiera więcej elementów pracujących w sposób ciągły przy wyższych temperaturach i, gdy wszystkie inne czynniki są takie same, mających krótszy czas eksploatacji niż analogiczne elementy w jednostce o topologii „line interactive”.
- Zasilacz on-line z podwójną konwersją zużywa więcej energii elektrycznej niż model o topologii „line interactive”, ponieważ bez przerwy dokonuje konwersji wejściowego sygnału na wyjściowy, gdy na wejściu obecne jest zasilanie.
- Zasilacz on-line z podwójną konwersją wytwarza więcej ciepła uwalnianego do środowiska IT. To ciepło musi zostać sprawnie usunięte, aby ograniczyć negatywny wpływ na trwałość innych systemów, a także na akumulatory samego zasilacza.

### Uwagi dotyczące niezawodności

W przypadku obydwu topologii, pewne aspekty ich konstrukcji teoretycznie zwiększają lub zmniejszają czas eksploatacji i niezawodność. W przypadku topologii „line interactive”, zarówno mała liczba elementów, jak i niższe straty energii, a zatem i temperatura wewnątrz podczas normalnego trybu pracy, *zwiększają* niezawodność i czas eksploatacji. Natomiast ciągła praca i wyższe temperatury w modelach on-line z podwójną konwersją, *zmniejszają* niezawodność i czas eksploatacji.

Jednak w praktyce niezawodność zależy od jakości projektu i wykonania zasilacza przez producenta oraz od jakości użytych elementów, bez względu na topologię. Ponieważ jakość ta zależy od producenta, można napotkać zarówno wysokiej jakości konstrukcje on-line z podwójną konwersją, jak i słabo wykonane modele o topologii „line interactive”, i na odwrót.

### Mit a rzeczywistość

**MIT:** Bardziej precyzyjna stabilizacja napięcia zwiększa wydajność i niezawodność urządzeń IT.

**RZECZYWISTOŚĆ:** Wszystkie zasilacze impulsowe przekształcają wejściowe napięcie zmienne (wraz ze skokami i zniekształceniami tegoż) w napięcie stałe. To napięcie stałe służy następnie do wytworzenia ustabilizowanego sygnału wyjściowego zasilającego podłączone urządzenia IT. Warunki panujące na wejściu, w zakresie tolerancji, NIE mają wpływu na jakość wyjścia zasilacza impulsowego i wydajność urządzeń IT. Inaczej, po co specyfikowana byłaby dla zasilacza impulsowego tolerancja napięcia?

## Podsumowanie porównawcze

W poniższej tabeli zestawiono najistotniejsze zalety i wady topologii zasilaczy UPS „line interactive” oraz on-line z podwójną konwersją.

**Tabela 1** — Porównanie topologii „line interactive” i on-line z podwójną konwersją

TOPOLOGIA	Niezawodność	Całkowity koszt eksploatacji	Zasilanie	Wyjście	Rozmiar / waga
<b>Line-interactive</b>	<p><b>+</b></p> <p>Mniej części</p> <p>Niższa temperatura pracy</p>	<p><b>+</b></p> <p>Niższy koszt początkowy (mniej części)</p> <p>Niższy koszt eksploatacji (mniej energii elektrycznej)</p>	<p><b>-</b></p> <p>Bez konwersji PFC</p> <p>Duże zniekształcenia napięcia mogą wymagać częstego korzystania z akumulatorów</p>	<p><b>+ / -</b></p> <p>Częstotliwość wyjścia zmienia się wraz ze zmianami w sieci</p>	<p><b>-</b></p> <p>Na ogół większe / cięższe</p>
<b>On-line z podwójną konwersją</b>	<p><b>-</b></p> <p>Wiele części</p> <p>Wyższa temperatura pracy</p>	<p><b>-</b></p> <p>Wyższy koszt początkowy (więcej części)</p> <p>Wyższy koszt eksploatacji (energia elektryczna i chłodzenie)</p>	<p><b>+</b></p> <p>Korekta PFC</p> <p>Dopuszcza duże zniekształcenia napięcia bez używania akumulatorów</p>	<p><b>+</b></p> <p>Sygnal wyjściowy zsynchronizowany z siecią lub o stałej, konfigurowalnej częstotliwości (opcja)</p>	<p><b>+</b></p> <p>Na ogół mniejsze / lżejsze, zwłaszcza przy wyższych poziomach mocy</p>



## Wnioski

W przedziale mocy od 750 do 5000 VA oba typy zasilaczy UPS właściwie chronią urządzenia IT przed zakłóceniami zasilania, więc decyzja o wyborze używanej topologii zależy od specyfiki instalacji klienta.

Ponieważ początkowy koszt, koszty eksploatacyjne, wytwarzanie ciepła i niezawodność są głównymi zagadnieniami w każdej instalacji, mogłoby się wydawać, że domyślnym wyborem powinna być topologia „line interactive”. Stała się ona w istocie wydajnym i niezawodnym koniem pociągowym typowego środowiska IT.

W pewnym warunkach jednak, typ on-line z podwójną konwersją może być lepszym wyborem. W szczególności, w rejonach geograficznych, gdzie sygnał z sieci elektrycznej cechuje się silnymi zniekształceniami i / lub bardzo dużymi wahaniami napięcia, zasilacz UPS tego typu będzie rzadziej korzystał z akumulatorów, by zapewnić właściwy sygnał wyjściowy. Mniejsze zużycie akumulatorów pozwala zachować ich większą pojemność na wypadek dłuższej przerwy w zasilaniu i osiągnąć przewidywany okres eksploatacji akumulatorów. Ponadto zmniejszenie kosztów wymiany akumulatorów może zrekompensować wyższe niż w przypadku zasilaczy UPS o topologii „line interactive” koszty początkowe i eksploatacyjne. Inne, rzadsze sytuacje, w których może wystąpić potrzeba zastosowania zasilaczy UPS on-line z podwójną konwersją, to takie, które wymagają korekcji współczynnika mocy (PFC), małego rozmiaru lub konwersji częstotliwości, jak w przypadku niektórych rodzajów sprzętu lub oprzyrządowania medycznego.

### O autorach

**Jeffrey Samstad** jest głównym inżynierem linii produktów Smart-UPS RT w firmie American Power Conversion. Uzyskał tytuł inżyniera o specjalności elektrotechnika i ma 14 lat doświadczenia w kierowaniu zespołami projektującymi zasilacze UPS i w pracy z różnymi architekturami tych zasilaczy.

**Michael Hoff** posiada tytuł magistra o specjalności elektrotechnika systemów zasilania uzyskany na uniwersytecie Northeastern University i kieruje zespołem do badań nowych technologii w firmie American Power Conversion. Podczas swojej 16-letniej pracy dla firmy APC opracowywał zasilacze UPS i architektury zasilaczy, a także kierował projektami, zespołami i grupami projektującymi nowe produkty w USA i za granicą.