

POWER NEWS nr 5

Akademia Mocy BENNING

W tym numerze

- 1 Akademia Mocy BENNING
- 2 Modułowość
- 3 Dostępność
- 4 Niezawodność
- 6 Skalowalność
- 9 Elastyczność
- 12 Serwisowalność
- 15 Kompensacja mocy biernej

W prowadzeniu działalności gospodarczej znaczącą rolę odgrywa koszt energii elektrycznej. W praktyce rozumiemy przez to zużycie energii i koszty jej dostawy. Okazuje się iż bardzo istotnym składnikiem opłat za energię elektryczną jest tzw. „pobór mocy biernej”, który w szczególnych przypadkach bardzo znacznie może przekroczyć koszty zużycia energii czynnej. O wpływie na koszty decyduje także wybór technologii zasilania.

Modułowa ochrona zasilania oraz technologia konwersji, szczególnie w urządzeniach UPS, jest od dawna stosowana w aplikacjach komercyjnych. Relatywnie powoli rozwija się jej udział w obszarze zastosowań przemysłowych. Dlaczego tak się dzieje?

Za każdym razem, gdy ktoś opisuje korzyści "modułowego" systemu zasilania, niezmiennie poruszane są takie tematy jak: "Dostępność", "Niezawodność", "Skalowalność", "Elastyczność" i "Obsługiwalność". Co dokładnie, znaczy jednak każda ta "-ność" i dlaczego są tak istotne?

Tematy te poruszane są podczas organizowanych przez nas Akademii mocy BENNING.

Modułowość

Modułowa ochrona zasilania i modułowa technologia konwersji energii, są używane w komercyjnych aplikacjach od wielu lat. Korzyści jakie one dają są dobrze zrozumiane i w pełni akceptowane. Korzyści te obejmują m.in.: dostępność, skalowalność, elastyczność, obsługiwalność. Z powodu tych korzyści, modułowe, trójfazowe systemy UPS są najszybciej rozwijającym się sektorem na rynku UPS.

Ponieważ modułowa ochrona zasilania okazała się skuteczna w aplikacjach komercyjnych, obecnie również konserwatywni inżynierowie, coraz częściej szukają drogi do wykorzystania tej technologii w aplikacjach przemysłowych. Problemem jest jednak to, że terminologia związana z tą technologią może być myląca.

Trójfazowe systemy UPS, które są powszechnie znane, jako "prawdziwie" modułowe, są stosowane od 2001 roku w sektorze komercyjnym. Technologia ta dopiero zaczyna być akceptowana na rynkach przemysłowych. Wynika to głównie z różnic, pomiędzy priorytetami użytkowników komercyjnych i przemysłowych, jak również presji i wymagań dotyczących tych urządzeń.

Centrum Danych (Data center), jako przykład, jest bardzo dynamicznym środowiskiem, które nieustannie zmienia się i reaguje na wymagania, takie jak: zapotrzebowania na większą gęstość energii i wzrost wydajności systemu IT. Aby utrzymać konkurencyjność, typowe Centrum Danych, musi aktualizować swój sprzęt IT co trzy do czterech lat. Dla odmiany, elektrownia jest relatywnie stabilna i raz zainstalowane systemy kontroli, zarządzania i telemetrii, są przewidziane do pracy w okresie 20-25 lat. Tak duże różnice w wymaganiach komercyjnych i przemysłowych, wyraźnie wymagają dwóch zupełnie różnych sposobów podejścia do wprowadzenia "nowej technologii".

"Modułowość"

"Dostępność"

"Niezawodność"

"Skalowalność"

"Elastyczność"

"Obsługiwalność"

**Co dokładnie, znaczy
każda ta "-ność" i
dlaczego są one tak
istotne?**



Rysunek 1 Jednostka UPS z indywidualnie montowanymi elementami PCB i aparatami elektrycznymi



Rysunek 2 Modułowo-blokowy system UPS z indywidualnym modułem prostownika i falownika

Czym jest "Modułowość"?

"Modułowość" oznacza "posiadanie charakteru modułowego". "Modułowy" oznacza natomiast "związany i oparty na modułach". Główne pytanie brzmi zatem, czym właściwie jest "moduł"?

Choć nie ma powszechnie przyjętej definicji "Modułu", większość inżynierów zgodzi się, że "Moduł" jest "samodzielnym urządzeniem, wykonującym określoną funkcję", więc to jest definicja, którą powinniśmy przyjąć w naszych rozważaniach.

Bądźmy jednak świadomi, że dział marketingowe producentów, często zacierają granice między różnymi technologiami i topologiami. Tym bardziej ważne jest, aby zrozumieć czym dana technologia/topologia jest naprawdę, a nie czym jest tylko z nazwy.

Topologie modułowe

Modułowa topologia UPS, rozwinięta się w trzech odrębnych etapach związanych z:

- postępowaniem w projektowaniu komponentów elektrycznych i elektronicznych,
- wprowadzeniem technologii tranzystorów IGBT
- wynalezieniem UPS-ów beztransformatorowych, które pozwoliły rozwinąć topologię modułową UPS (od tradycyjnych systemów monoblokowych w latach 80. poprzez architekturę bloków modułowych z lat 90. do "rackowych" systemów modułowych, które widzimy obecnie.)

Tradycyjny monoblok

Zwykle myślimy o tradycyjnym monobloku, opisując system UPS. Technologia ta jest stosowana przez ostatnie ponad 50 lat. Pojedynczy, wolnostojący system, zawiera wszystkie komponenty niezbędne do pracy UPS-a. Obwody drukowane PCB, aparaty przełączające oraz elementy biernie, są odseparowane, zatem pojedyncze komponenty muszą być usunięte i wymienione w celu dokonania naprawy. Takie naprawy są często czasochłonne, UPS podczas naprawy jest nieaktywny, a odbiory narażone na niestabilne zasilanie sieciowe.

Ponadto, jeśli jest wymagana dodatkowa pojemność, lub redundancja w zainstalowanym już systemie, to taki upgrade (skalowalność) będzie drogi. Zakładając oczywiście, że jest dostępna niezbędna powierzchnia oraz infrastruktura elektryczna, pozwalająca pomieścić dodatkową jednostkę UPS-a.

Sprytna strategia marketingowa, może argumentować, że pomimo swojej wielkości i wagi, każda jednostka UPS jest modułem, zatem cały system UPS jest modułowy. Jednak, jak możemy zobaczyć poniżej, takie UPS-y nie tworzą prawdziwej, modułowej topologii.

Architektura bloków modułowych

Rzeczywisty rozwój technologii UPS, pozwolił ewoluować metodom konstrukcji systemów. Zaczęły się pojawiać blokowe systemy modułowe. W tym typie systemu, każdy wolnostojący system UPS, zawiera wszystkie komponenty w pojedynczej obudowie. Główne elementy są zgrupowane razem. Mogą być rozpatrywane jako niezależny moduł. Dla przykładu, każdy UPS, posiada prostownik, falownik oraz mechaniczny bypass. W blokowym systemie UPS, moduły prostownika, moduły falownika i moduły bypass są samowystarczalne i mogą być indywidualnie usunięte lub dodane do systemu.

Główne korzyści wynikające z modułowo-blokowej topologii to wzrost dostępności i obsługiwalności systemu. Na przykład, znacznie łatwiej jest wymienić uszkodzony moduł prostownika, niż naprawić go na miejscu. Niestety architektura bloków modułowych, również cierpi na brak skalowalności, który widzieliśmy już w przypadku systemów monoblokowych. Pomimo tego, że topologia bloków modułowych jest znacznie bardziej "modułowa", niż tradycyjne monobloki omówione wcześniej, oraz tego, że jest to doskonałe rozwiązanie do niektórych specjalistycznych aplikacji, dalej nie mamy do czynienia z technologią prawdziwie "modułową".

Modułowe systemy kasetowe

W tej topologii, każdy system UPS zawiera równolegle połączone, niezależne moduły UPS, tworzące kompletny system. Każdy moduł jest niezależną i kompletną jednostką UPS, która może być usunięta lub dodana do systemu, bez konieczności przerwania zasilania odbiorów krytycznych. Możliwość szybkiego usunięcia lub dołożenia modułów do w pełni funkcjonującego systemu UPS, jest często określana jako "wymiana na gorąco" ("hot swap"), lub "bezpieczna wymiana" i jest jedną z cech identyfikujących tą topologię.

Ponieważ moduł UPS może być bardzo szybko i bezpiecznie wymieniony, dodany lub usunięty z systemu, topologia ta maksymalizuje dostępność systemu, ulepszając jednocześnie skalowalność i elastyczność systemu. Ta topologia pozwala zredukować koszty początkowej inwestycji oraz obniżyć koszty eksploatacyjne skonfigurowanego odpowiednio systemu.

CPA czy DPA?

Wyróżniamy dwie powszechne topologie modułowych systemów, znane jako Scentralizowana Architektura Pracy Równoległej (CPA) oraz Rozproszona Architektura Pracy Równoległej (DPA). Jeżeli którykolwiek z modułów w systemie, dzieli wspólne komponenty (to znaczy wszystkie zasilają ten sam przetwornik, lub używają tego samego modułu logiki/sterownika), to są one CPA. Jeżeli wszystkie moduły są w pełni przystosowane do niezależnej pracy (czyli nie mają żadnych punktów wspólnych), tworzą DPA.

Rozróżnienie pomiędzy CPA oraz DPA jest ważne, ponieważ podczas gdy systemy w architekturze CPA są tańsze, ich pojedyncze punkty awarii mogą nie być akceptowalne w niektórych aplikacjach.

Wnioski

Funkcjonalne i marketingowe korzyści, prawdziwej modułowej technologii UPS, są zbyt ważne aby je zignorować. Modułowa topologia zmieni przemysłowe systemy zasilania w ten sam sposób, jak zmieniła komercyjne systemy zasilania.

Konieczne jest, aby właściwie zrozumieć, co oznaczają pojęcia modułowość/modułowy/moduł, ponieważ nie wszystkie "moduły" są naprawdę "modułowe" oraz nie wszystkie posiadają zalety technologii modułowej jak zdolności "hot swap" i Zdecentralizowaną Architekturę Pracy Równoległej (DPA).



Rysunek 3 Kasetowo-modułowy system UPS z indywidualnymi modułami UPS

Dostępność

Dostępność a Niezawodność

Zanim zaczniemy dyskusję na temat podobieństw i różnic pomiędzy dostępnością i niezawodnością, zdefiniujemy je następująco:

Niezawodność jest to prawdopodobieństwo, że system nie zgłosi awarii.

Dostępność jest to prawdopodobieństwo, że system pracuje, gdy jest to wymagane.

Pomimo intuicyjnego odczucia, niezawodność nie jest najważniejszym czynnikiem przy projektowaniu systemu zasilania gwarantowanego. Ochrona zasilania musi być zapewniona w każdej chwili, każdego dnia, a tym samym maksymalizacja dostępności systemu jest nadrzędnym celem przy projektowaniu jakiejkolwiek technologii i konfiguracji systemu zasilania.

Niezawodność

Każdy mechaniczny, czy elektryczny system, jaki kiedykolwiek wynaleziono, jeśli pracuje odpowiednio długo, ulegnie w pewnym momencie awarii i przestanie działać poprawnie. Prawdopodobieństwo wystąpienia tejże awarii, jest określane jako wskaźnik awaryjności systemu i oznaczane symbolem λ (lambda).

Jeżeli λ jest prawdopodobieństwem, że system ulegnie awarii, to prawdopodobieństwo, że system nie ulegnie awarii wyraża $1/\lambda$. Ponieważ każdy system przestanie kiedyś działać, λ nigdy nie będzie wynosić 0%, a niezawodność systemu, nigdy nie będzie wynosić 100%.

Wskaźniki procentowe są trudniejsze do zrozumienia niż pojęcie czasu (przynajmniej dla większości z nas). Znacznie bardziej powszechne jest rozważanie niezawodności systemu jako średniej liczby godzin do wystąpienia awarii. Taka miara niezawodności jest określana jako średni czas do wystąpienia awarii - Mean Time Between Failure (MTBF).

Zatem:

$$MTBF = 1/\lambda.$$

Jednakże używanie wyłącznie wskaźnika MTBF do oszacowania, jak długo system będzie pracował bez awarii może być mylące. Dla przykładu statystyczna tabela umieralności z 2013 roku, informowała, że 30-letni mężczyzna (u nas system) miał 0,1467% prawdopodobieństwo śmierci (u nas awarii), w ciągu jednego roku. Stosując ten wskaźnik awaryjności (λ) do powyższego równania na MTBF otrzymujemy:

$$MTBF = 1/\lambda = 1/0,001467 = 681 \text{ lat}$$

Powyższe wyliczenie, że 30-letni mężczyzna powinien oczekiwać życia przez 681 lat wyraźnie pokazuje, że nie możemy bazować wyłącznie na statystykach niezawodności, ponieważ mogą wprowadzać w błąd.

Dostępność

Jeżeli dostępność jest prawdopodobieństwem, że system pracuje, gdy jest to wymagane, musimy również wziąć pod uwagę, jak długo potrwa przywrócenie systemu do pełnej sprawności po wystąpieniu awarii, tj. jak długo potrwa naprawa systemu. Ten "czas naprawy" jest zwykle określany jako średni czas do naprawy - Mean Time To Repair (MTTR) i daje nam następujące równanie na dostępność:

$$\text{Dostępność} = MTBF/(MTBF + MTTR)$$

Z tego równania wynika, że jeżeli MTTR systemu wynosi 0 godzin, to jego dostępność będzie wynosiła 100%, niezależnie od jego MTBF. Oczywiście jest zatem, że w celu zmaksymalizowania dostępności systemu, niezbędne jest zminimalizowanie jego średniego czasu do naprawy MTTR.

Nie znaczy to, że można całkowicie pominąć MTBF systemu (niezawodność), ponieważ system z wysokim MTBF będzie bardziej dostępny, niż system z niskim MTBF, jeżeli czasy MTTR systemów są takie same. Oznacza to, że niski MTTR powoduje wzrost dostępności niezawodnych systemów.

Kilka przykładów Dostępność vs. Niezawodność

W artykule z tej serii pt. "Modułowość", omówiliśmy trzy modułowe topologie UPS: "tradycyjny monoblok", "bloki modułowe", "kasetowe systemy modułowe". Będziemy teraz rozpatrywać czasy MTBF oraz MTTR dla tych topologii, aby przeanalizować wpływ różnych topologii na niezawodność systemu, a co ważniejsze na jego dostępność.

W celu zmaksymalizowania poziomu ochrony zasilania odbiorów krytycznych załóżmy iż:

1. Wszystkie moduły UPS są wysokiej jakości, wykonanie przemysłowe.
2. Systemy są użytkowane prawidłowo, zgodnie z zaleceniami producenta.
3. We wszystkich trzech przykładach, moc odbiorów wynosi 120 kVA.
4. Wszystkie systemy są redundantne (N+1).

*Oczekuje się, że systemy
UPS stosowane do
ochrony odbiorników
przemysłowych mają
charakteryzować się
żywością na poziomie
20-25 lat. Aby to osiągnąć
systemy UPS muszą być
poprawnie
zaprojektowane i
obliczone już na etapie
instalacji.*

Tradycyjny monoblok

W tej topologii, równoległy i redundantny system UPS obejmuje dwie oddzielne jednostki, które zasilają odbiory (czyli $N+1 = 1+1$). Liczba komponentów systemu jest zatem podwójna w porównaniu do pojedynczego UPS. Wynika z tego, że im większa jest liczba komponentów w systemie, tym większe jest prawdopodobieństwo wystąpienia awarii. Jednakże, ponieważ system jest redundantny, awaria komponentu w jednej z szaf UPS, nie narazi odbiorów na brak zasilania i tym samym nie spowoduje awarii całego systemu. Mamy zatem wysoce niezawodny system i dla celów tego przykładu, przyjmijmy jego MTBF jako 800 000 godzin.

Komponenty systemu (elementy PCB, IGBT itd.) w tej topologii są oddzielnie umieszczone w szafach UPS, muszą być zatem oddzielnie usuwane lub oddzielnie dodawane do systemu na obiekcie. Oznacza to, że MTTR w tej architekturze jest najwyższy spośród trzech omawianych i dla celów przykładu przyjmijmy, że jest to 8 godzin.

Zatem:

$$\text{Dostępność Systemu} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

$$= 800\,000 / (800\,000 + 8)$$

$$= 800\,000 / (800\,008)$$

$$= 99.999\% \text{ (dostępność określana często jako "pięć dziewiątek")}$$

Architektura bloków modułowych

Podobnie jak w przypadku tradycyjnych monobloków, ta konfiguracja również obejmuje dwie równoległe połączone, redundantne jednostki, składające się na cały system UPS i zasilające odbiory (czyli $N+1 = 1+1$). Liczba komponentów systemu jest zatem podwójna w porównaniu do pojedynczego UPS. Przyjmijmy więc jego MTBF taki sam, czyli 800 000 godzin.

Komponenty (elementy PCB, IGBT itd.) w modułowo-blokowym systemie są zgrupowane jako podzespoły i mogą być wymieniane w całości (nie jako oddzielne elementy, jak w przypadku monobloków), zatem czas MTTR jest mniejszy. Przyjmijmy go jako 4 godziny.

$$\begin{aligned} \text{Dostępność Systemu:} &= \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR}) \\ &= 800\,000 / (800\,000 + 4) \\ &= 800\,000 / (800\,004) \\ &= 99.9995\% \end{aligned}$$

Moduły "rackowe" (kasetowe)

W tej topologii, z powodów które zostaną wyjaśnione w następnych paragrafach tj. "Skalowalność", "Elastyczność" i "Obsługiwalność", zdecydowaliśmy się użyć czterech redundantnych, równoległe połączonych modułów zasilających odbiory (czyli $N+1 = 3+1$). Ponieważ liczba komponentów systemu, jest teraz czterokrotnością pojedynczego systemu UPS, zatem czas do wystąpienia awarii jest mniejszy w porównaniu z poprzednimi i przyjmijmy go, jako 500 000 godzin.

Jednakże, ponieważ każdy moduł UPS w tej technologii jest w pełni kompletnym i funkcjonalnym zasilaczem, który może być dowolnie wymieniany (patrz artykuł "Modułowość") w czasie poniżej 10 minut, przyjmujemy czas do naprawy na potrzeby naszych obliczeń jako 0,17 godziny.

Zatem:

$$\text{Dostępność Systemu} = \text{MTBF} / (\text{MTBF} + \text{MTTR})$$

$$= 500\,000 / (500\,000 + 0,17)$$

$$= 500\,000 / (500\,000,17)$$

$$= 99.99996\% \text{ (dostępność określana często jako "sześć dziewiątek")}$$

Widzimy teraz, że znacznie poprawiona jest dostępność systemu gdy zminimalizowany jest MTTR, niezależnie od obniżenia MTBF

Wnioski

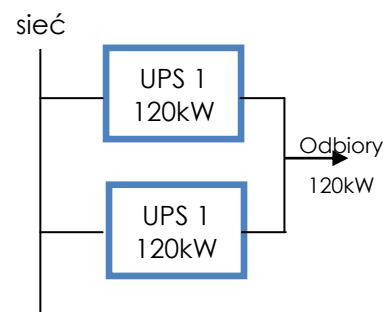
Najważniejszą cechą dla każdego systemu zasilania, jest jego dostępność.

Wysoko niezawodne moduły są ważną częścią składową systemu o wysokiej dostępności ale ważniejsza jest konfiguracja modułów w systemie i jego topologia.

Równoległa, redundantna konfiguracja modułów zwiększa niezawodność i dostępność zasilania odbiorów krytycznych, więc powinna być stosowana wszędzie tam gdzie jest to możliwe.

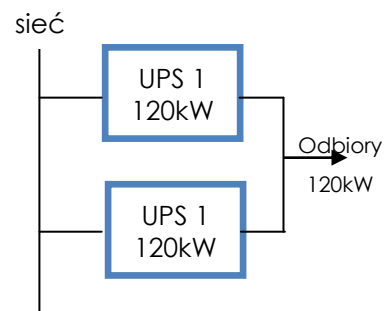
Topologia kasetowo-modułowa pozwala osiągnąć maksymalną dostępność systemu.

Tradycyjny monoblok



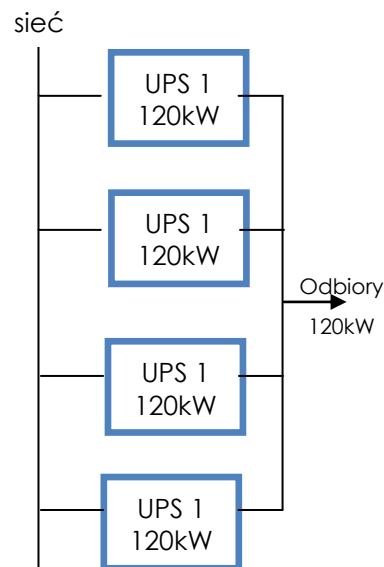
Konfiguracja równoległa redundantna 1+1

Architektura modułowa blokowa



Konfiguracja równoległa redundantna 1+1

System modułowy kasetowy



Konfiguracja równoległa redundantna 3+1

Skalowalność

Oczekuje się, że systemy UPS stosowane do ochrony odbiorników przemysłowych mają charakteryzować się żywotnością na poziomie 20-25 lat. Aby to osiągnąć systemy UPS muszą być poprawnie zaprojektowane i obliczone już na etapie instalacji.

Jeśli zainstalowany system UPS okaże się zbyt mały t.j. „niedoszacowany” na etapie projektu to w pewnym momencie jego życia operacyjnego będzie konieczna jego rozbudowa polegająca często na wymianie systemu UPS. Wiąza się z tym faktem dodatkowe (duże) wydatki na nową inwestycję tzw. CAPEX. Natomiast w przypadku gdy zainstalowany system okaże się zbyt duży t.j. „przewymiarowany”, wtedy początkowe nakłady inwestycyjne okazałyby się marnotrawstwem. Wówczas system UPS nie pracuje z optymalną sprawnością i efektywnością a koszty utrzymania „Opex” będą wyższe i mogą mieć znaczący wpływ na całkowity koszt eksploatacji.

Ciągle zmieniające się technologie infrastruktury zasilanej z UPS oraz trudność z określeniem potrzeb energetycznych obiektu w funkcji długiego czasu życia obiektu np. 20-25 lat sprawiają, że właściwe zaprojektowanie /np. pod kątem mocy/ systemu UPS chroniącego odbiorniki jest często niemożliwe.

Dla uniknięcia ponoszenia dodatkowych „po latach” kosztów inwestycyjnych systemy zasilania gwarantowanego są często „przewymiarowywane” na etapie projektowania i instalacji. To jest dobra wiadomość dla Dostawcy/Producenta systemu UPS ale jest złą wieścią dla Operatora/Użytkownika systemu. Wydatki zarówno po stronie CAPEX jak i OPEX będą zdecydowanie zawyżone.

Jedynym sposobem, aby upewnić się, że nakłady CAPEX i OPEX są zoptymalizowane, a tym samym całkowity koszt utrzymania osiąga minimum jest zapewnienie, że system UPS jest „właściwej wielkości”. Temu służyć ma funkcjonalność UPS jaką jest jego „skalowalność”

Całkowity koszt utrzymania i eksploatacji.

Jest rzeczą oczywistą, że Operator/Użytkownik systemu UPS dąży do zminimalizowania całkowitego kosztu utrzymania i eksploatacji systemu. Aby to osiągnąć konieczne jest zrozumienie jakie są najważniejsze elementy wpływające na całkowity koszt utrzymania i eksploatacji. Następnie, określenie w jaki sposób mogą być one zoptymalizowane przy zakładanej ponad 20 letniej żywotności systemu i zakładanej zmienności zapotrzebowania na moc gwarantowaną z UPS. Wyróżnia się trzy główne elementy wpływające na koszty eksploatacji i utrzymania:

1. Koszt zakupu systemu zasilania gwarantowanego/ bezprzerwowego
2. Straty mocy (w funkcji sprawności systemu)
3. Bieżące koszty utrzymania

Problem polega na tym, że te trzy elementy są ze sobą połączone i równowaga musi być zachowana między wszystkimi trzema elementami, jeśli najniższy całkowity koszt ma być osiągnięty.

Rozpatrzmy po kolei każdy element:

Koszty zakupu systemu

Jeśli cena systemu w momencie zakupu jest możliwie najniższa, to wydaje się że osiągnięto cel polegający na minimalizacji kosztów inwestycyjnych. Jednakże, jeśli okaże się, że system jest technologicznie starszy, o niższej sprawności i technicznej efektywności, wtedy dodatkowe koszty mogą być wyższe niż jest to konieczne. Ponadto, system o najniższej cenie zakupu może charakteryzować się wysokimi kosztami eksploatacyjnymi, ponieważ prawdopodobnie wykorzystuje niskiej jakości (tj tanie) elementy.

Straty mocy i energii

Jeśli obciążenie odbiorników krytycznych zasilanych z UPS jest na poziomie 100kW, to każdy 1% zmniejszenia sprawności operacyjnej będzie odpowiadał dodatkowej 1kWh traconej (bezpowrotnie) energii. Ponieważ system UPS pracuje 24 godziny / dobę /365 dni / rok energia tracona każdego dnia wynosi 24kWh, tracona w ciągu roku wynosi 8.760kWh, w okresie zakładanych 20 lat eksploatacji wynosi 175,200kWh. Jeśli cena za 1 kWh wynosi 0,5 PLN to całkowity koszt energii (w okresie 20lat) wynosi 87.600 PLN za każdy 1% zmniejszenia sprawności operacyjnej systemu UPS

Mając to na uwadze:

1. Należy upewnić się, że system UPS został właściwie zwymiarowany i że działa w optymalnym punkcie na krzywej sprawności
2. Sprawność operacyjna systemu jest często ważniejszym czynnikiem wpływającym na całkowity koszt niż sam inwestycyjny koszt zakupu systemu UPS

Prawie wszystkie nowoczesne UPS "beztransformatorem" mają krzywą wydajności, która jest stosunkowo płaska. Na Rysunku 1, widzimy, że sprawność operacyjną > 95% uzyskuje się już dla obciążeń powyżej 17% a optymalną sprawność (> 96%) uzyskuje się, gdy obciążenie wynosi pomiędzy 35% a 60%.

Koszty bieżącej eksploatacji

Wszystkie systemy UPS zawierają elementy elektryczne i mechaniczne, które mają ograniczoną żywotność pracy i wymagają okresowej konserwacji i wymiany jeśli mają osiągnąć wymagany poziom dostępności w ciągu 20 lat życia operacyjnego.

Jeżeli, jak napisano powyżej, najniższy koszt zakupu systemu oznacza najniższy koszt komponentów systemu (a więc zapewne najniższą ich jakość) to oznacza, że koszt utrzymania systemu w ciągu okresu eksploatacji będzie prawdopodobnie wyższy ze względu na częstszą konieczność naprawy/wymiany podzespołów systemu.

Mając to na uwadze, warto zawsze zapytać dostawcę systemu UPS jakie są zalecenia konserwacyjne i jaki jest ich koszt wraz z komponentami przed zakupem systemu.

System "szyty na miarę"

W dalszej części artykułu będziemy się odnosić do przykładu systemu UPS wspomnianego w poprzednich paragrafach o „dostępności” i o „niezawodności”. Dla porządku będziemy zakładać, że obciążenie krytyczne projektowanego systemu UPS wynosi 120kW i wymagana jest równoległa redundancja (N + 1). Ponieważ nie jest dobrą praktyką, aby system UPS był obciążony 100% w sposób ciągły, będziemy zakładać obciążenie użytkowe wynoszące 80% (tj 96kW).

Przykład 1: 120kW, 1+1 równoległy, redundantny system w układzie dwóch modułowych jednostek.

W tym przykładzie używamy dwóch jednostek (modułów) UPS o mocy 120kW. Jeśli obciążenie krytyczne wynosi 96kW wówczas obciążenie każdej jednostki UPS wynosi 40% (48kW). System będzie właściwej wielkości "szyty na miarę" i będzie działał w optymalnym zakresie charakterystyki sprawności. Zarówno nakłady inwestycyjne Capex jak i Opex są zoptymalizowane.

Jeśli jednak krytyczne obciążenie zmniejszymy do 60kW wówczas obciążenie każdej jednostki UPS wyniesie 25% (30kW). Taki system UPS będzie już zbyt duży (przewymiarowany). Nakłady inwestycyjne Capex zostaną zmarnowane na zakup zbyt dużego (droższego) systemu. Również koszty po stronie Opex będą nieoptymalne ze względu na pracę systemu w punkcie charakterystyki o niższej sprawności.



Rysunek 7 1+1 równoległa nadmiarowa konfiguracja systemu UPS

Jeżeli obciążenie krytyczne nagle musi wzrosnąć np. do 125kW wówczas system zostanie przeciążony bo redundancja równoległa N+1 zostanie utracona. W tej sytuacji należy system doposażyć w kolejną jednostkę UPS o mocy 120kW (zakładając, że infrastruktura na miejscu umożliwia rozbudowę systemu). W najgorszym przypadku system UPS będzie musiał zostać zastąpiony innym systemem o większej mocy.

Jeżeli infrastruktura na obiekcie umożliwia rozbudowę systemu UPS o kolejną jednostkę 120kW, otrzymujemy system równoległo-redundantny w konfiguracji (2+1). Jeśli obciążenie odbiorów krytycznych wyniesie 125kW to będzie oznaczać, że każda jednostka UPS przejmie 34% (41.6kW) całkowitego obciążenia. Tak skonfigurowany system będzie zbyt duży, podnosząc znacząco nakłady Capex ze względu na przewymiarowanie systemu i nakłady Opex na pracę w nie optymalnym punkcie charakterystyki sprawności.

Przykład 2: 120kW, 3+1 równoległo-redundantny system UPS w technologii rack'owej modułowej.

W tym przypadku wykorzystano obudowę mieszczącą 4 moduły UPS o mocy 40kW każdy z możliwością rozbudowy do 5 modułów (dodatkowe „zapasowe” gniazdo do ewentualnej rozbudowy systemu w przyszłości). Jeśli obciążenie krytyczne wynosi np. 96kW to każdy z 4 modułów przejmie 60% (24kW) obciążenia. System będzie właściwej wielkości „szyty na miarę”, i będzie działał w optymalnym zakresie charakterystyki sprawności. Zarówno nakłady inwestycyjne Capex jak i Opex są zoptymalizowane.

Jeśli jednak krytyczne obciążenie systemu wynosi 60kW wtedy każdy moduł UPS będzie obciążony 37% (15kW). W tym przypadku system jest przewymiarowany i nie optymalny pod względem nakładów na Capex. Natomiast Opex nadal będzie w granicach optimum ze względu na korzystny punkt pracy na charakterystyce sprawności w funkcji obciążenia.

Ponieważ system UPS składa się z paneli modułów wymiennych operator systemu ma dwie opcje:

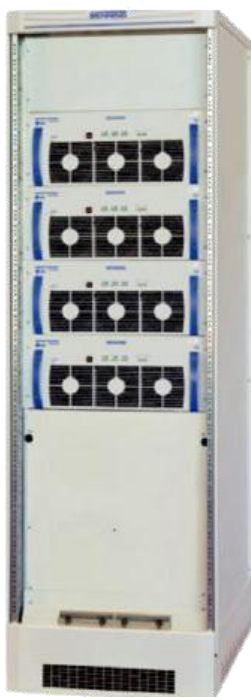
1. Kontynuowanie eksploatacji systemu ze wszystkimi 4 modułami i korzystanie z redundancji na poziomie N+2 – wyższej niezawodności systemu
2. Usunięcie jednego z modułów z systemu (poprzez wyłączenie lub fizyczne wyjęcie). W ten sposób uzyskuje się drugie „zapasowe” gniazdo. W tym przypadku każdy (z 3 modułów) pracuje z obciążeniem 50% (20kW), co oznacza pracę z jeszcze lepszą sprawnością całkowitą systemu UPS

Jeżeli obciążenie krytyczne nagle musi wzrosnąć np. do 125kW wówczas system zostanie przeciążony bo redundancja równoległa N+1 zostanie utracona. Musi być wtedy zainstalowany dodatkowy moduł UPS - 40kW. Ponieważ konfiguracja systemu została prawidłowo wymiarowana na etapie projektowania i instalacji oraz posiada „wolne” gniazdo na dodatkowy moduł UPS w technologii rack'owej, możliwy jest elastyczny dobór modułów w „obrębie” systemu zasilania UPS. Dzięki modułowej i panelowej technologii systemu UPS instalacja modułu jest szybka, łatwa i stosunkowo niedroga. Tym samym nakłady CAPEX jak i OPEX mogą być łatwo zoptymalizowane.

System UPS, który jest idealnie dobrany do obciążenia od dnia uruchomienia oraz może zwiększyć lub zmniejszyć swoją wydajność mocową do aktualnego obciążenia odbiorców krytycznych może osiągnąć najniższy całkowity koszt (TCO) systemu w całym okresie „życia” operacyjnego systemu.

Koszt zakupu systemu, choć jest ważny, nie jest jednak najważniejszym elementem w TCO. Sprawność systemu UPS oraz bieżące koszty utrzymania znacząco wpływają na całkowite koszty. Wszystkie trzy wymienione elementy wpływające na TCO muszą być rozpatrywane jednocześnie.

Zastosowanie modułowego systemu UPS w wersji rack'owej z jednym lub większą liczbą „wolnych” gniazd (na etapie instalacji) pod rozbudowę systemu w przyszłości umożliwia zoptymalizowanie nakładów CAPEX i OPEX w całym okresie „życia” operacyjnego systemu UPS.



Rysunek 8

3 + 1 Konfiguracja równoległo-redundantna

Elastyczność

Firma Benning definiuje elastyczność w kontekście coraz ważniejszej i popularniejszej technologii modułowej i przedstawia jak bardzo, elastyczne systemy pozwalają projektantom od systemów zasilania gwarantowanego dostosować UPS-y do potencjalnie zmieniających się potrzeb klienta w zakresie miejsca instalacji i zapewnienia ciągłości zasilania obciążenia krytycznego.

Powyżej zdefiniowano modułowość i zastanawiano się, jak systemy modułowe UPS może być zaprojektowane tak, aby zwiększyć dostępność systemu lub zminimalizować całkowity koszt posiadania (TCO). Musimy teraz zastanowić się, jak możemy zaprojektować jeden system który jest wystarczająco elastyczny, aby mieć najwyższą dostępność lub najniższy TCO ze zdolnością do wybierania między nimi w zależności od panujących potrzeb po stronie obciążenia krytycznego.

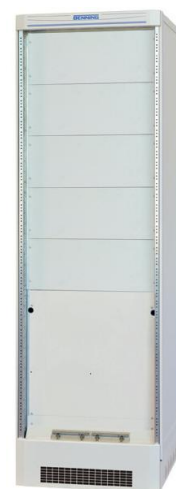
Na początkowym etapie projektowania systemu zasilania gwarantowanego projektant powinien ustalić priorytety najważniejszych aspektów dotyczących wymagań danego systemu i określić najprawdopodobniej kompromis w sprawie innych aspektów projektu. Na przykład, jeżeli obciążenie jest uważane za krytyczne to dla biznesu priorytetem projektanta będzie dostępność zamiast TCO. Taki priorytet nie jest problemem, jeśli potrzeby miejsca zainstalowania i / lub obciążenia krytycznego, nie ulegają zmianie przez cały okres pracy systemu (zwykle 20-25 lat). Jednak żyjemy w ciągle zmieniającym się świecie i taka stałość jest rzadko spotykana. Prawdopodobieństwo zatem, że system, który był początkowo zaprojektowany, aby spełniać wymagania będzie nieodpowiedni w innym miejscu jest znaczne, zwłaszcza w przypadku wzrostu obciążenia krytycznego. Jeśli taka sytuacja wystąpi może stanowić kosztowny problem do rozwiązania.

W idealnym świecie system może być zaprojektowany i posiadać zdolność do szybkiego i łatwego dostosowywania się do potrzeb występujących w miejscu instalacji i mocy obciążenia krytycznego. Taki system mógłby być zwiększony lub zmniejszony (patrz broszura "skalowalność") w celu optymalizacji TCO lub wyposażony w celu wprowadzenia równoległej redundancji (np. N + n) aby zmaksymalizować dostępność systemu. Pozwoliłoby to także na podział systemu, aby część mocy mogła być przeniesiona z systemu do systemu, jeśli potrzeby z obciążenia krytycznego uległy zmianie.

W powyższym "idealnym świecie" możemy zdefiniować "elastyczność" jako zdolność systemu do dostosowywania się do ciągle zmieniających się potrzeb miejsca zainstalowania oraz obciążenia krytycznego. Wysoki poziom elastyczności systemu pomaga projektantom zaprojektować przyszłościowe konstrukcje przystosowane do elastycznej rozbudowy. Poniżej rozważymy praktyczny przykład w celu ilustracji jak elastyczność UPS-ów modułowych pomaga rozbudować przyszłościowy system, a tym samym uzyskać liczne korzyści finansowe i eksploatacyjne dla operatora systemu komputerowego.

Przykład bardzo elastycznego systemu zasilania gwarantowanego

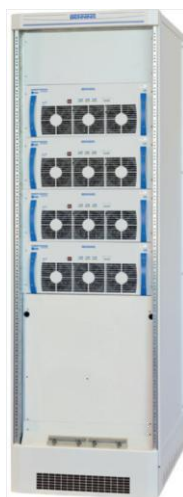
Założmy, że firma farmaceutyczna postanawia uruchomić eksperymentalną linię produkcyjną, który potrzebuje UPS o mocy 60kW. Z powodu możliwości fiaska przedsięwzięcia dyrektorzy naszej fikcyjnej firmy ograniczają maksymalnie budżet. Nie posiadają linii produkcyjnej. Zakup systemu UPS nie jest traktowany jako parametr krytyczny powodzenia biznesu. Całkowity i jak najniższy koszt posiadania UPS-a jest zdecydowanie ważniejszy niż pełna dostępność systemu. Aby zrealizować ten projekt zapada decyzja o zakupie najbardziej ekonomicznego i najlepiej dopasowanego rozwiązania modułowego składającego się z dwóch modułów 40 kW. (patrz rysunek 9).



Rysunek 9 UPS modułowy 2 x 40kW



Rysunek 10



Rysunek 11



Rysunek 12

Przy założeniu, że produkcja eksperymentalna firmy okazuje się sukcesem, dyrektorzy dochodzą do wniosku, że należy szybko powiększyć zdolności produkcyjne o 50%. Zapotrzebowanie mocy linii produkcyjnej wzrasta o 30kW: od 60kW do 90kW. Wyzwaniu temu można sprostać dodając jeden dodatkowy moduł 40kW do posiadanego UPS-a modułowego. System (patrz rysunek 10) dostosowuje się do zwiększonego obciążenia oraz nadal spełnia wymagania konstrukcji o najniższym całkowitym koszcie posiadania.

Dyrektorzy - którzy są zadowoleni z wyników produkcji linii eksperymentalnej - podejmują decyzję o włączeniu jej do prawdziwej linii produkcyjnej i rozpoczynają produkcję seryjną nowego leku. Decyzja ta zmienia się fundamentalnie podejście do systemu zasilania gwarantowanego. Brak zasilania może spowodować, że linia produkcyjna będzie zatrzymana w połowie partii. Cała partia leku musi być utylizowana, co kosztuje firmę farmaceutyczną kilkaset tysięcy złotych.

Najważniejszym parametrem jest obecnie maksymalna dostępność i niezawodność systemu UPS. Aby tego dokonać wystarczy zastosować jeden dodatkowy moduł 40kW, który zostanie dodany do istniejących modułów w posiadanym UPS-ie. (patrz rysunek 11). W ten prosty sposób dajemy równoległą redundancję, która zapewnia pewne zasilanie nawet w przypadku awarii jednego z modułów.

W wyniku rosnącej sprzedaży, firma farmaceutyczna otwiera nowy zakład produkcyjny w mieście, które jest oddalone 30 minut jazdy od obecnego zakładu i decyduje się przenieść nowy lek na nową linię produkcyjną w nowym zakładzie produkcyjnym. Obecnie zainstalowany UPS modułowy na eksperymentalnej linii produkcyjnej ma zaledwie 3 lata. Zamiast inwestować w zupełnie nowy system UPS dyrektorzy decydują się przenieść go do nowego obiektu. Jednak przestój na linii produkcyjnej należy zminimalizować a czas potrzebny do likwidacji, de-instalacji, fizycznej przeprowadzki i ponownej instalacji należy maksymalnie zminimalizować. Uruchomienie istniejącego UPS-a w nowej lokalizacji będzie trwało zbyt długo. Rozwiązaniem jest zainstalowanie pustej szafy UPS w nowym zakładzie produkcyjnym (patrz rysunek 12).

Gdy linia produkcyjna została wyłączona w starym obiekcie cztery moduły UPS są po prostu wyłączone i wysuwane z oryginalnej modułowej obudowy UPS. Następnie są przewożone samochodem do nowego zakładu produkcyjnego wyposażonego w nową szafę modułową UPS i włączane (patrz rysunek 13). Nowy zakład produkcyjny był w odległości około 30 minut jazdy, cały proces trwał mniej niż 90 minut.

Firma farmaceutyczna postanawia obecnie uruchomić kolejną eksperymentalną linię produkcyjną w starym zakładzie i przewiduje zapotrzebowanie mocy 30kW. Jeszcze raz - ze względu na swój charakter eksperymentalny - dyrektorzy muszą ograniczyć budżet projektu. Nie jest to prawdziwa linia produkcyjna i najważniejszym parametrem krytycznym biznesu jest TCO a nie pełna dostępność systemu.

Aby zrealizować ten nowy projekt zostaje zastosowany pojedynczy moduł 40kW, który będzie zainstalowany w oryginalnej szafie modułowej UPS-a i cała eksperymentalna linia produkcyjna rozpoczyna swój cykl życia od nowa.

Powyższy przykład pokazuje pełną elastyczność prawdziwego modułowego systemu UPS. W tym przykładzie widzieliśmy proste, efektywne kosztowo:

1. zwiększenie wydajności systemu
2. konwersję priorytetów: maksymalne TCO lub maksymalna dostępność
3. przeniesienie UPS-a do nowej siedziby
4. zmniejszenie wydajności systemu i powrót do maksymalizacji TCO

Wbudowana inteligencja prawdziwej elastyczności

Powyższy przykład pokazuje jak firma farmaceutyczna podejmowała decyzje i działania w celu dostosowania systemu UPS do zmieniających się warunków miejsca instalacji i wzrostu zapotrzebowania mocy. W większości przypadków instalacji UPS-ów byłoby bardzo korzystne, gdyby system UPS sam był wystarczająco inteligentny, aby dawać możliwość wyboru pomiędzy maksymalizacją dostępności systemu lub zminimalizowaniu TCO. Oczywiście, taka możliwość konfiguracji systemu musi być podejmowana przez użytkownika, aby zapewnić, że użytkownik UPS-a zachowuje pełną kontrolę nad zasilaniem gwarantowanym, w którym wbudowana inteligencja przyczyni się do dalszego zwiększenia elastyczności systemu. Systemy modułowe UPS zabudowane inteligentnymi modułami do pracy równoległej (np. $N + 1$), zapewniające nadmiarowość mocy gdzie zabudowujemy jeden dodatkowy moduł lub zapewniające pełną obciążalność (np. $N + 0$). Przełączenie odbywa się w czasie rzeczywistym co zapewnia, że ochrona obciążenia krytycznego jest zawsze na najwyższym możliwym poziomie.

Ta funkcjonalność automatycznie maksymalizuje dostępność systemu.

Podobnie, systemy modułowe UPS budowane z modułów, które mają wbudowaną inteligencję używają tylko wymaganej liczby modułów niezbędnej do zasilania obciążenia krytycznego poprzez wprowadzenie "nadmiarowych" modułów w "tryb uśpienia". System automatycznie korzysta z modułów „uśpionych” w przypadku wzrostu mocy przy jednoczesnym zapewnieniu, że obciążenie krytyczne nadal otrzymuje wymagany poziom ochrony. Jeśli obciążenie krytyczne wzrasta moduł "uśpiony" zostanie automatycznie przywrócony do pełnej mocy. Jeśli dodatkowo obciążenie krytyczne zmniejsza się drugi moduł zostanie automatycznie przestawiony w stan czuwania. Ta funkcjonalność systemu automatycznie optymalizuje TCO.

W przypadku przemysłowych systemów ochrony zasilania o projektowanej trwałości powyżej 20 lat jednym z największych wyzwań stojących przed projektantami jest przyszłościowe dopasowanie konstrukcji UPS-a umożliwiające jej dostosowanie do zmieniających się potrzeb potencjalnego miejsca instalacji i obciążenia krytycznego.

Modułowe systemy UPS mogą być szybko montowane i łatwo przekonfigurowywane, aby system ochrony zasilania był dostosowany do zmian lokalizacji i krytycznych zmian obciążenia. Cały czas przy zachowaniu priorytetu najwyższej dostępności lub najniższego TCO w zależności od panujących potrzeb w miejscu instalacji i całkowitego obciążenia krytycznego.

Łatwo montowalne moduły UPS z wbudowaną konfigurowalną inteligencją automatycznie zwiększają elastyczność systemu przy zachowaniu pełnej kontroli przez operatora systemu.

Poniżej omówiona zostanie kwestia konserwacji wraz z wyborem właściwej topologii UPS pozwalającej zmniejszyć koszty obsługi, minimalizować koszt części zamiennych i umożliwiając szybkie usuwanie usterek. Te wszystkie właściwości będą docelowo zwiększać dostępność systemu i zminimalizować całkowite koszty posiadania.



Rysunek 13

Serwisowalność

Firmy kupują UPS-y ponieważ ich odbiorniki energii elektrycznej wymagają zasilania „czystą” energią elektryczną w sposób ciągły bez względu na zastosowaną technologię UPS-a.

UPS musi być stale w pełni sprawny. UPS-y zbudowane są zarówno z części elektrycznych jak i mechanicznych o określonej statystycznej niezawodności a zatem o określonej, statystycznej możliwości wystąpienia awarii. Muszą zatem przechodzić przewencyjne, okresowe przeglądy serwisowe. Niektóre elementy np. kondensatory, wentylatory, baterie mają znaną skończoną użyteczną żywotność i jest wymagana ich przewencyjna wymiana, jeśli dostępność i niezawodność systemu UPS ma być maksymalna.

Maksymalną dostępność systemu uzyskamy gdy niezawodność (MTBF) jest największa i czas naprawy (MTTR) jest minimalny. Aby to osiągnąć każdy system UPS musi być:

1. Prawidłowo utrzymany, aby zminimalizować prawdopodobieństwo wystąpienia niespodziewanej awarii (czyli maksymalizacja MTBF).
2. Szybko naprawiany w przypadku wystąpienia nieoczekiwanej awarii (tzn minimalizacja MTTR).

Mając powyższe na uwadze, możemy zdefiniować serwisowalność systemu UPS jako łatwość serwisowania bez zagrożenia dla obciążenia krytycznego i szybkości odzyskiwania przez system pełnej sprawności po awarii.

Różne poziomy serwisowania

Istnieją zasadniczo trzy różne poziomy serwisowania, utrzymania systemów. Są one często określane jako poziom pierwszy, drugi i trzeci,

1. Pierwszy poziom ("codzienne " rutynowe kontrole)

Ten poziom utrzymania jest typowo wizualny. Warunki pracy, takie jak stany alarmowe i praca wentylatorów chłodzenia itp są odnotowane i zgłoszone. Pierwszy poziom utrzymania może i powinien być rutynowo wykonywany przez miejscowych serwisantów. W zależności od reżimu systemu utrzymania, konserwacja pierwszego poziomu powinna odbywać się codziennie, co tydzień lub co miesiąc.

Niektóre systemy posiadają alarmy włączone w budynkowe systemy zarządzania(BMS) lub podobne. Taki zdalny monitoring poprawia skuteczność serwisu tego poziomu. Wymagania odnośnie serwisowalności na tym poziomie są niezależne od topologii systemu UPS. Wymagany jest jednak dostęp pracowników serwisu do specjalistycznego wsparcia w razie wystąpienia stanu awarii.

2. Drugi poziom (rutynowa konserwacja zapobiegawcza)

Ten poziom utrzymania ma charakter przewencyjny i ma na celu zapobiec problemom (tj maksymalizacja MTBF). Niezależnie od topologii UPS, wszystkie rutynowe zapobiegawcze prace konserwacyjne muszą być wykonywane przez inżynierów firmy, wyszkolonych przy użyciu najnowszych procedur obsługi, oprogramowania serwisowego i instrukcji obsługi. Oprogramowanie systemu należy również zmodernizować w ramach konserwacji zapobiegawczej.

Niektóre rutynowe zapobiegawcze prace konserwacyjne mogą wymagać modyfikacji lub wymiany podzespołów. Gdy jest to konieczne, topologia modułowa UPS zapewnia znaczne korzyści.

Niezależnie od złożoności modyfikacji lub wymiany elementów, wszystkie prace mogą być szybko zakończone na miejscu po wymianie modułu bez konieczności odłączania UPS-a. Topologie niemodularne mogą wymagać aby UPS był odłączony przez kilka godzin, gdy takie roboty są przeprowadzane, co naraża odbiory krytyczne na wpływ bezpośredni sieci zasilającej.



3. Trzeci poziom serwisowalności (Awaria systemu / naprawa) topologie nie modułowe wymagają obecności doświadczonych inżynierów, przeszkolonych przez producenta do podjęcia wszelkich czynności kontrolnych i usuwania awarii. Inżynierowie muszą wykorzystywać najnowsze, dostarczone przez producenta instrukcje serwisowe i oprogramowanie i jednocześnie mieć dostęp do pełnego zestawu części zamiennych, dostarczonych przez producenta. Czas zgłoszenia, czas potrzebny do zdiagnozowania problemu w celu przeprowadzenia naprawy i powrót systemu do pełnej eksploatacji oznacza, że system może być wyłączony przez wielu godzin do kilku dni w zależności od dostępności serwisu i rodzaju usterki. Modułowe topologie systemów zasilania pozwalają na uproszczenie diagnostyki na tym poziomie i szybszą naprawę. Awarie mogą być usunięte przez prostą wymianę uszkodzonego modułu. Modułowe układy "Hot swap" w szczególności obecnie oferowane przez firmę Benning w ramach trzeciego poziomu serwisu mogą być wymienione przez osoby przeszkolone na miejscu przy wsparciu telefonicznym ekspertów producenta.

"hot swap" modułów oznacza, że uszkodzony moduł może być bezpiecznie usunięty z systemu UPS i zamieniony na nowy w ciągu kilku minut przy działającym systemie.

Ponadto, jeśli system UPS został prawidłowo zwymiarowany pod względem redundancji $N + 1$ (patrz Skalowalność), to system może zostać przywrócony do pełnej sprawności bez narażania odbiorów krytycznych na bezpośredni wpływ sieci zasilającej.

Szkolenie serwisowe na obiekcie

Jest pożądane, a w niektórych przypadkach niezbędne, aby na obiekcie znajdowali się przeszkoleni przedstawiciele producenta w celu przeprowadzenia niektórych czynności konserwacyjnych systemu. Jeśli na obiekcie znajduje się wiele urządzeń producenta to korzystnym może być utrzymanie stałej obsługi. Generuje to pewne problemy:

1. Szkolenia przez producenta są drogie
2. Wyszukani technicy mogą zmienić miejsce pracy.
3. Wyszukani technicy mogą być nieobecni w miejscu pracy z powodu wakacji lub choroby
4. Jeżeli serwisant nie pracuje regularnie z systemem szybko zapomina informacje ze szkolenia.
5. Dokumentacja systemu, status modyfikacji i procedury serwisowe dostępne w czasie treningu są najnowsze ale jest mało prawdopodobne, aby były aktualizowane w miarę upływu czasu
6. Serwisanci są typowo przygotowani „ogólnie” (to znaczy oczekuje się, że mają wystarczającą wiedzę o wielu różnych systemach)
7. UPS-y wymagają specjalistycznej wiedzy.

Jest bardzo istotna różnica w szkoleniu, a także w posiadaniu umiejętności i doświadczeniu potrzebnych do naprawy systemu przy użyciu funkcjonalności "hot swap" w technologii modułowej a innymi topologiami. Systemy modułowe "Hot Swap" mogą być szybko naprawione przez wymianę uszkodzonego modułu przez przeszkolonego serwisanta ze wsparciem telefonicznym. Systemy w topologii nie modułowej muszą być naprawione przez wysoko wykwalifikowanych i przeszkolonych serwisantów, zdolnych do wymiany komponentów i PCB w UPS-ie.

Takie kwalifikacje mają zwykle wyłącznie serwisanci producenta.



Części zamienne i rotacyjne wymiany modułu

Nie jest rzadkością w przypadku zakładów przemysłowych, że decydują się one na zakup i utrzymanie zestawu części zamiennych do swoich systemów UPS i ochrony zasilania. Jest to dobra praktyka, ponieważ gwarantuje, że części zamienne są łatwo dostępne na miejscu w przypadku wystąpienia kiedykolwiek awarii systemu. Jednakże może to nie być odpowiednie dla wszystkich komponentów. Na przykład:

1. kondensatory elektrolityczne mają skończoną trwałość i po dłuższym okresie przechowywania (na przykład dwa lata) powinny być wymienione. W przeciwnym razie mogą nie działać i mogą spowodować awarię systemu w chwili przyłożenia do nich napięcia. Płytki obwodu drukowanego i oprogramowanie, ze starego magazynu części zamiennych mogą już nie być zgodne z najnowszym stanem modyfikacji.

2. Jakie są gwarancje, że części zamienne, które przechowywane są na półce dłużej niż, powiedzmy, pięć lat będą nadal działać? Jako alternatywę do posiadania części zamiennych na miejscu, użytkownicy systemów o topologiach modułowych mają możliwość posiadania całych modułów na miejscu. Te "zapasowe" moduły mogą być wprowadzane do użytku, aby dodać redundancji w systemie lub mogą być umieszczone w magazynie części zamiennych i włączane do użytku jako części konserwacji rutynowej. Takie rutynowe wymiany-rotacje modułów zapasowych gwarantują iż wszystkie moduły na miejscu starzeją się podobnie. Zapobiega to uszkodzeniu podzespołów spowodowanego przez moduł magazynowany i nieużywany od kilku lat. Gwarantuje, że znana jest ilość sprawnych modułów. Potencjalną wadą włączenia modułu serwisowego do pracującego systemu jest to, że układ (patrz "Skalowalność") może nie działać w optymalnym punkcie na krzywej efektywności, która ma wpływ na całkowity koszt eksploatacji. Aby rozwiązać ten potencjalny problem niektóre systemy modułowe posiadają wbudowaną inteligencję (patrz "elastyczność"), która wprowadza w "tryb uśpienia" moduły przekraczające liczbę modułów, potrzebnych do ochrony odbiorów krytycznych.



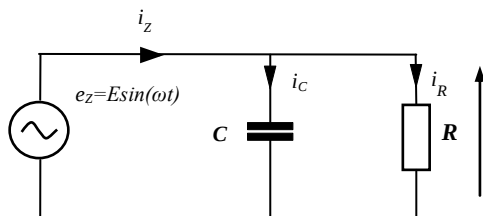
Wnioski

Wszystkie UPS i systemy ochrony zasilania muszą być odpowiednio utrzymywane, jeśli bliźniacze cele: wyższej dostępności i najniższego, całkowitego kosztu eksploatacji mają zostać osiągnięte. Niewłaściwe jest oszczędzanie na prawidłowym utrzymywaniu i serwisowaniu urządzeń zasilania gwarantowanego.

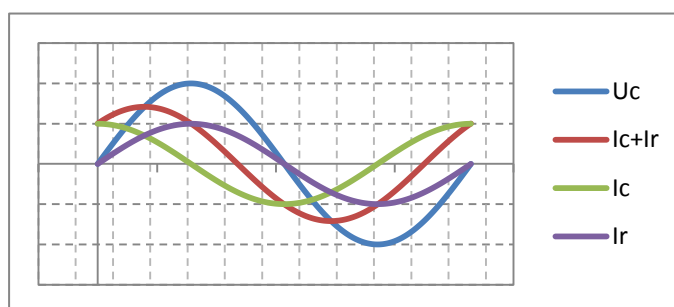
Pierwszy poziom serwisu, niezależnie od topologii systemu UPS powinien być wykonywany na miejscu instalacji. Dodatkowym wsparciem powinien być system zdalnego monitorowania w celu wczesnego wykrycia potencjalnych problemów. Rutynowy, drugi poziom serwisu, aktywna konserwacja zapobiegawcza zwiększa niezawodność systemu (MTBF). Niezależnie od topologii UPS musi być przeprowadzona przez wyszkolonych pracowników producenta, korzystających z najnowszych procedur obsługi, instrukcji technicznych i oprogramowania serwisowego. Jeśli używana jest topologia modułowa "hot swap" (trzeci poziom serwisowania) konserwacja i naprawa mogą być wykonywane przez przeszkolonych serwisantów klienta z dostępem do wsparcia telefonicznego producenta, jeśli zapasowe moduły są dostępne na miejscu. Minimalizuje to czas naprawy (MTTR) i maksymalizuje dostępność systemu. Jeśli używana jest nie modułowa topologia UPS, konserwacja i naprawy trzeciego poziomu serwisu muszą być wykonywane przez wysoko wykwalifikowanych techników przeszkolonych przez producenta. Zarówno szkolenie w miejscu pracy jak i przechowywanie części zapasowych są uproszczone, jeśli jest stosowana topologia modułowa "hot swap".

Kompensacja mocy biernej

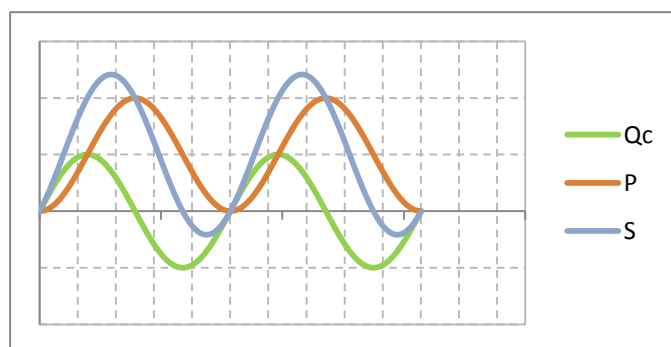
W rozwoju gospodarczym znaczącą rolę odgrywa koszt energii elektrycznej. W praktyce rozumiemy przez to zużycie energii i koszty jej dostawy. Okazuje się iż bardzo istotnym składnikiem opłat za energię elektryczną jest tzw. „pobór mocy biernej”, który w szczególnych przypadkach bardzo znacznie może przekroczyć koszty zużycia energii czynnej. Zwłaszcza w przypadku tzw. przekompensowania pojemnościowego, koszt mocy biernej jest drastycznie wysoki, nie mający związku z kosztami przesyłu energii.



Rys. 1 Liniowy układ RC zasilany ze źródła napięciowego



Rys. 2 Przebiegi wielkości elektrycznych w układzie z rys.1.



Rys. 3 Przebiegi mocy elektrycznych w układzie z rys.1.

Definicje mocy.

Podstawowymi wielkościami opisującymi zjawiska przesyłu i poboru energii w obwodach elektrycznych są: moc pozorna, czynna, bierna i moc deformacji oraz współczynnik mocy.

Wielkości zilustrowano na przykładzie bardzo prostego obwodu RC z sinusoidalnym wymuszeniem napięciowym

Wyróżnia się zwykle moc pozorną S , moc czynną P , bierną Q .

Moc pozorna:

$$(1) \quad S = \|U\| \cdot \|I\|$$

Moc czynna:

$$(2) \quad P = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t)dt = \|U_p\| \cdot \|I_p\|$$

Moc bierna:

$$(3) \quad Q = \|U_q\| \cdot \|I_q\|$$

Budeanu do wzoru na moc jako sumy P i Q dodał moc deformacji D. Spełniają one równanie bilansu mocy:

$$(4) \quad S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$$

Jednym z istotnych parametrów obwodu są

$$(5) \quad \operatorname{tg} \varphi = \frac{\sqrt{S^2 - P^2}}{P}; \cos \varphi = \frac{P}{S}$$

wpływające na opłaty za energię elektryczną.

Fizyczne wielkości mocy.

W literaturze iloczyn chwilowych wartości napięcia i prądu nazywany jest mocą chwilową. Odpowiednikiem tej wielkości w dziedzinie częstotliwości jest moc całkowita. Odpowiada ona energii przekształcanej w obwodzie elektrycznym. Jest ona zdefiniowana jako spłot wartości napięcia i prądu w dziedzinie częstotliwości. (wzór Borela)

$$(6) \quad S(s) = U(s) * I(s) \Big|_{s=j\omega} = U(\omega) * I(\omega) = U(n\omega) * I(n\omega)$$

Można dokonać podziału mocy całkowitej na część związaną z utratą energii przez układ i na część związaną z jej oscylacjami w obwodzie, spowodowanymi zmianami energii pola elektromagnetycznego zmagazynowanej przez elementy reaktancyjne. Podział taki ściśle odpowiada fizyce zjawisk w obwodzie. Przebieg w czasie iloczynu napięcia i prądu w obwodzie możemy przedstawić następująco:

$$(7) \quad s(t) = u(t) \cdot i(t) = s(t) = p(t) + q(t) = u_p(t) \cdot i_p(t) + u_q(t) \cdot i_q(t)$$

Bilans mocy, moc całkowita dana jest wzorem:

$$(8) \quad \begin{aligned} S(\omega) &= U(\omega) * I(\omega) = U_p(\omega) * I_p(\omega) + U_q(\omega) * I_q(\omega) = \\ &= P(\omega) + Q(\omega) \end{aligned}$$

Funkcja p(t) opisuje przebieg mocy związany z utratą energii w układzie. Funkcja q(t) opisuje zmianę energii (moc) w elementach reaktancyjnych obwodu. Podział mocy zgodnie ze wzorem 7) i 8) jest jednoznaczny. Przebieg p(t) odpowiada przebiegowi napięcia i prądu na elemencie rezystancyjnym a przebieg q(t), iloczynowi napięcia i prądu na elemencie reaktancyjnym (rys 3) i (rys.5). Podział na p(t) oraz q(t) nie jest „widoczny” po stronie źródła zasilania w przypadku obwodu komutowanego, w którym zachodzi zjawisko konwersji mocy (energii). Moc reaktancyjna to wyłącznie moc elementu reaktancyjnego, a moc bierna to moc dana wzorem 3).

Bilans mocy możemy, dla definicji mocy ze wzoru (7) przedstawić w postaci, wynikającej wprost ze wzoru Parsevala. Jeżeli za całkowany przebieg przyjmiemy przebieg mocy całkowitej:

$$(9) \quad \int_{-\infty}^{\infty} s^2(t) dt = S^2 = P^2 + Q^2 = \|U\|^2 \cdot \|I\|^2 = \|U\|_p^2 \cdot \|I\|_p^2 + \|U\|_q^2 \cdot \|I\|_q^2$$

Wielkość po lewej stronie wzoru to funkcja autokorelacji przebiegu mocy całkowitej, równa sumie autokorelacji przebiegu mocy czynnej i autokorelacji przebiegu mocy reaktancyjnej.

Zależności jest ilustracją zasadności wyróżnienia mocy całkowitej i odróżnienia jej od mocy pozornej.

Moc pozorna :

$$(10) \quad S = \sqrt{[S * S](0)} = \|U\| \cdot \|I\|$$

jest pierwiastkiem kwadratowym z wartości autokorelacji przebiegu mocy całkowitej. Jest wartością liczbową. Nie jest funkcją. Moc całkowita jest funkcją zmiennej zespolonej w dziedzinie częstotliwości lub bardziej ogólnie dystrybucją.

Zachodzą także związki :

$$(11) \quad \begin{aligned} \|u(t) \cdot i(t)\| &\leq \|u(t)\| \cdot \|i(t)\| \\ \|U(\omega) * I(\omega)\| &\leq \|U(\omega)\| \cdot \|I(\omega)\| \end{aligned}$$

zwane nierównościami Schwarz'a.

Wstawiając do nich zależności na moc całkowitą i moc pozorną otrzymamy:

$$(12) \quad \|U(\omega) * I(\omega)\| = S(0) = P \leq S = \sqrt{[S * S](0)} = \|U(\omega)\| \cdot \|I(\omega)\|$$

ilustrującą wzajemną relację obu pojęć.

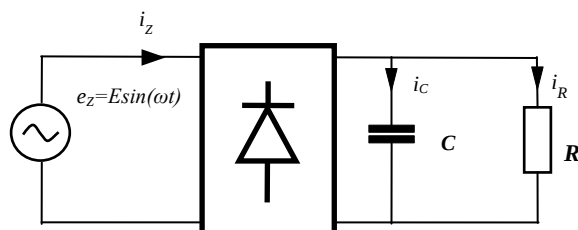
Zachodzi także:

$$(13) \quad \|U_p(\omega) * I_p(\omega)\| = P = \sqrt{[P * P](0)} = \|U_p(\omega)\| \cdot \|I_p(\omega)\|$$

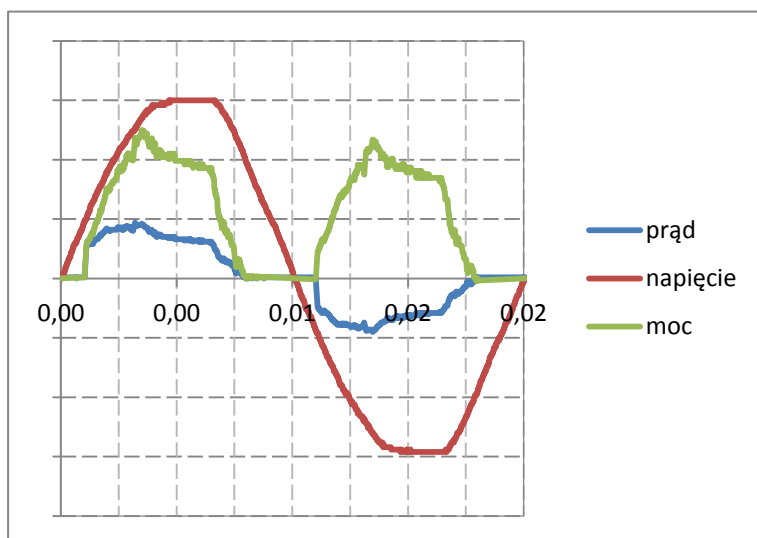
$$(14) \quad \|U_q(\omega) * I_q(\omega)\| = Q \quad (0) = 0 < \sqrt{[Q * Q](0)} = \|U_q(\omega)\| \cdot \|I_q(\omega)\|$$

Z ostatniej zależności wynika, iż moc bierna Q (wzór 3) to pierwiastek z wartości autokorelacji przebiegu $q(t)$. W rozporządzeniach ministerialnych ustalających taryfy opłat za energię elektryczną brak jest wyróżnienia mocy deformacji D . Wchodzi ona w wielkość opłat za pozostałe składniki mocy. Przy odkształconym prądzie pobieranym przez użytkownika klasyczne metody kompensacji mocy dodają do bilansu mocy kolejną wartość, która przy dotychczasowym definiowaniu mocy obniża bilans mocy ale nie musi poprawić jakości energii pobieranej przez odbiór.

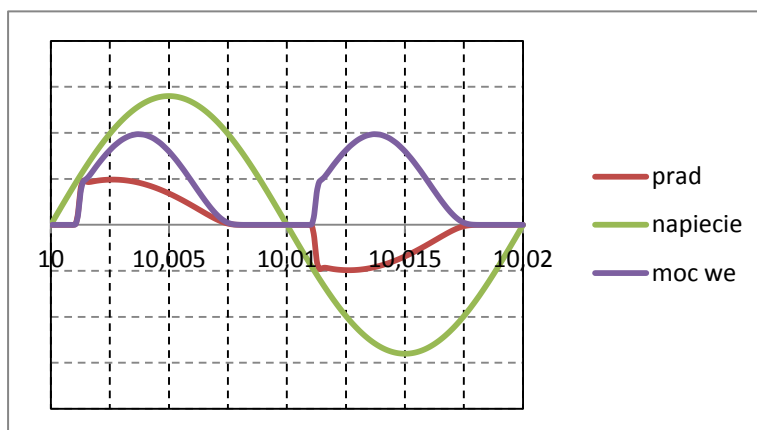
Nowoczesne odbiorniki energii elektrycznej to już nie tylko układy liniowe, rezystancyjno-indukcyjne, które były podstawowym rodzajem obciążenia dla sieci zasilającej w przeszłości, ale przede wszystkim układy komutowane z elementami półprzewodnikowymi. Nowoczesne napędy o charakterze indukcyjnym zasilane są poprzez przekształtniki energoelektroniczne. Zmieniają one zasadniczo wpływ takich obciążeń na sieć zasilającą. Są to zwykle złożone układy z wejściowym zasilaczem o charakterze pojemnościowym. Na rys.4. przedstawiono schemat układu składającego się z obciążenia czynnego zasilanego poprzez prostownik sieciowy ze źródła e_Z



Rys. 4. Nieliniowy obwód RC z prostownikiem diodowym (wprowadzana jest tutaj tzw. moc deformacji).

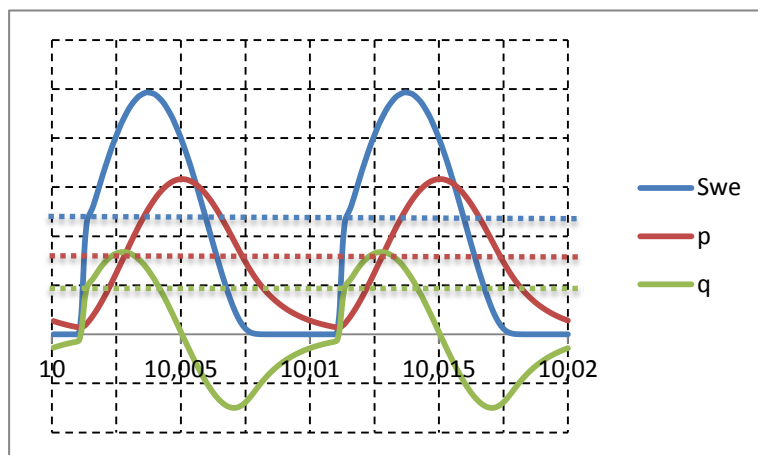


Rys. 5 Przebiegi wielkości elektrycznych w układzie rzeczywistym z odbiornikiem z rys.4.



Rys. 6 Przebiegi wielkości elektrycznych w układzie z odbiornikiem R z rys.4.

Przebiegom z rys.6. odpowiadają wielkości mocy fizycznych p-starty na rezystorze, q-moc reaktancyjna, oscylacja energii w pojemności, swe-moc całkowita (pozorna) obwodu. Ilustruje to rys.7



Rys. 7 Przebiegi wielkości mocy fizycznych w układzie z odbiornikiem R z rys.4.

Na rys.7. linie przerywane oznaczają wielkości mocy pozornej Q (linia niebieska), mocy czynnej P (linia brązowa), mocy biernej Q (linia zielona). **Przy obecnie obowiązujących opłatach (karach) za „pobór „ mocy biernej pojemnościowej, wynoszący trzykrotną wartość wielkości Q całkowite opłaty za odbiór o takim charakterze pojemnościowym przekroczą ponad trzykrotnie rzeczywiste zużycie energii przez urządzenia.**

Powyższy przykład jest ilustracją problematyki z jaką należy się mierzyć podejmując decyzje o wyborze nowoczesnych technologii zasilania i przekształcania energii. Problem jest nietrywialny jeśli uwzględnimy iż większość nowoczesnych układów napędowych, oświetleniowych, szeroko rozumianych zasilających przemysłowych, serwerowni zmienia swój charakter dzięki pośredniczącym obwodom przekształtnikowym. Przeoczenie problemu energii biernej może skutkować opłatami za tzw. „pobór mocy biernej”. Wybór rozwiązania o wysokiej sprawności energetycznej nie jest jednoznaczny z redukcją opłat za energię elektryczną.

Duża konkurencja na rynku dostawców układów zasilania pozwala wybrać rozwiązanie „na każdą kieszeń”. Redukcja kosztów wytwarzania tych urządzeń wielu producentów skłoniła do uproszczeń konstrukcyjnych, takich jak np. wyeliminowanie układów poprawiających kształt prądu wejściowego. Na rynku dostępne są wszakże urządzenia profesjonalne dla klientów najbardziej wymagających. Wbrew ogólnym trendom produkty te wyposażone są w funkcjonalności poprawiające jakość sieci zasilającej w miejscu ich zainstalowania. Takim produktem jest Enertronic Modular SE produkcji Benning.

UPS-y kompensacyjne to „nowa generacja profesjonalnych” urządzeń zasilania bezprzerwowego. Urządzenia zasilania bezprzerwowego są niezbędnym elementem układów zasilania wrażliwych odbiorów, procesów technologicznych, zasilania centrów danych i układów automatyki. Na podkreślenie zasługuje fakt iż zaniki napięcia zasilania na poziomie pojedynczych minut nie są uwzględniane jako parametr obniżający jakość dostarczanej energii elektrycznej przez OSD. Odbiorca może się zatem spodziewać całego szeregu zdarzeń, wymuszających na nim stosowanie urządzeń UPS, głównie dla poprawy jakości dostarczanej z sieci energii elektrycznej. Odbiorca musi wszakże uważać na dodatkowy aspekt korzystania z energii elektrycznej.

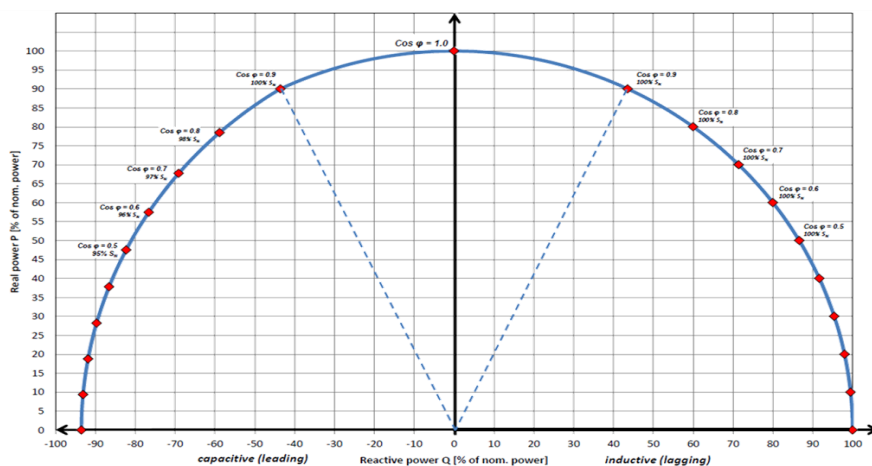
Są nimi opłaty a raczej kary za ponad umowny tzw. „pobór mocy biernej” związany z przekroczeniem umownego $\tan\phi$. Tangens kąta ϕ (kąt mocy) związany jest ze zwiększonym prądem płynącym do obciążenia gdy występuje przesunięcie pomiędzy przebiegiem napięcia i prądu.

Wprowadzono pojęcie tzw. „poboru” mocy biernej, indukcyjnej i pojemnościowej za który obciążany jest odbiorca komercyjny.

Sposobem uniknięcia tych kar jest stosowanie odbiorników o charakterze rezystancyjnym lub kompensowanie odbiorów układami kompensatorów. Firma Benning obydwie te sposoby realizuje w nowej generacji UPS-ów serii Enertronic modular SE. W urządzeniu można sterować zmianą wejściowego kąta ϕ tak by urządzenie mogło kompensować grupę odbiorów zarówno o charakterze pojemnościowym jak i indukcyjnym. W zakresie zmian wejściowego $\cos\phi = -0.9$ do 0.9 urządzenie dysponuje pełną wyjściową mocą czynną.



Rys. 9 Wielomodułowy UPS 200kW z modułami Enertronic modular SE



Rys. 10 Wejściowa charakterystyka $\cos\phi$ Enertronic modular SE

UPS Enertronic modular SE potrafi także oddać do sieci zasilającej, energię zgromadzoną w baterii. Do wyjątkowych właściwości tego urządzenia należy współpraca z bateriami. Każdy moduł UPS-a będący w pełni niezależnym UPS-em z własnym układem kompensacji, z własnym układem obejściowym, można połączyć z niezależną baterią lub kilkoma łańcuchami baterii. W zależności od producenta baterii, w systemie 1MW, zbudowanym z modułów 40kW (25 x 40kW x 10bat) do 250 łańcuchów baterii. Urządzenie może współpracować z bateriami ołowowymi, niklo-kadmowymi i litowo-jonowymi.

Wymienione wyżej właściwości Enertronic Modular SE czynią go prekursorem nowej generacji profesjonalnych urządzeń UPS-ów kompensacyjnych dla klientów komercyjnych.

Notatki:

Benning Power Electronics Sp. z o.o.
Ul. Korczunkowa 30
05-503 Głusków
Tel. 22 757 84 53
Fax. 22 757 84 52
Email: biuro@benning.biz

Więcej informacji o naszych produktach i ofercie na: www.benning.pl