

Adam KRETEK
Instytut Elektroniki
Politechnika Śląska

ZASILACZE BEZPRZERWOWE (UPS-y) – przeznaczenie, budowa, podstawowe parametry

Streszczenie. W pracy przedstawiono zagadnienia związane z niekorzystnym wpływem zjawisk występujących w sieci energetycznej na zasilane z niej urządzenia oraz rolę spełnianą przez, poprawiające jakość zasilania, zasilacze bezprzerwowe – UPS-y.

Omówiono różne struktury (STAND-BY, ON-LINE, ...) produkowanych obecnie zasilaczy, różne kształty wytwarzanego przez nie napięcia wyjściowego oraz podstawowe parametry związane z ich eksploatacją.

Uninterruptible Power Supplies (UPS) – destination, construction, basic specifications

Summary. Problems connected with some adverse phenomena appearing in electric power system and their influence on powered equipment are presented in the paper. The role played by the Uninterruptible Power Supplies (UPS) and different UPS structures offered by different manufacturers are described. Possible output voltage waveforms and basic specifications are discussed.

Unterbrechungsfreie Stromversorgungen (USV) – Bestimmung, verschiedene Strukturen, grundsätzliche technische Daten

Zusammenfassung. In diesem Bericht wurden die ungünstigen Phänomene im energietechnischen Netz und ihre negative Einwirkung auf die netzversorgten Geräte dargestellt.

Weiter sind die Bestimmung der Unterbrechungsfreien Stromversorgungen (USV), ihre verschiedenen Strukturen, die möglichen Wellenformen der Ausgangsspannungen und die grundsätzlichen technischen Daten beschrieben.

1. WSTĘP

W obecnych czasach powszechnie stosowane są urządzenia elektryczne zasilane z sieci energetycznej. Od prawidłowego działania wielu z nich zależy ludzkie życie lub normalne funkcjonowanie niektórych instytucji (m.in. szpitali, banków). Jedną z przyczyn niewłaściwej pracy urządzeń są problemy związane z jakością napięcia sieci energetycznej – nie zawsze aż tak drastyczne, że występuje zupełny zanik napięcia (wtedy częściowym środkiem zaradczym jest stosowanie dwóch niezależnych źródeł zasilania). Często natomiast występują: obniżone

napięcie zasilania oraz zakłócenia impulsowe mogące spowodować nieprawidłową pracę zasilanych urządzeń. Dlatego w tym miejscu warto sklasyfikować różne zjawiska „psujące” zasilanie. Przedstawione przy tej okazji procentowe udziały różnych zjawisk zaczerpnięte zostały z prezentowanych w [1] wyników badań amerykańskiej sieci energetycznej przeprowadzonych w laboratoriach firmy Bell.

Tabela 1

Jakość zasilania z sieci energetycznej

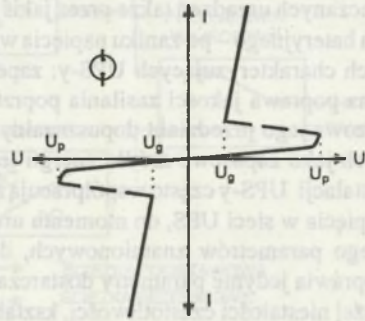
lp.	zjawisko	określenie w jęz. angielskim	udział [%]	podstawa przyczyna występowania	skutki
1.	długotrwałe spadki napięcia	BROWNOUT	87	przeciążenie linii energetycznej	wskutek spadku napięcia poniżej wartości, z którą radzi sobie zasilacz komputera, niemożliwa staje się dalsza praca
	krótkotrwałe spadki napięcia	SAGS		włączanie odbiorników dużej mocy (głównie indukcyjnych) np. silnika windy, lodówki, pralki	może doprowadzić do „zawieszenia się” komputera
2.	zanik napięcia	BLACKOUT	4.7	znaczne przeciążenie lub uszkodzenie linii zasilającej	utrata wyników pracy i niemożliwa dalsza praca
3.	gwałtowne impulsy elektryczne (udary)	SURGES	7.4	wyładowania elektryczne, uderzenia pioruna w sieć lub raptowne odciążenie wskutek zerwania części sieci zasilającej	zniszczenie sprzętu, utrata danych
	krótkotrwałe przepięcia (np. <1/100 sek.)	SPIKES		wyłączenie obciążenia indukcyjnego (silników) dużej mocy	uszkodzenie sprzętu
4.	podwyższone napięcie zasilania	OVERVOLTAGE	0.7	dołączenie blisko transformatora energetycznego (nie występują spadki na doprowadzeniach – napięcie w gniazdku np. 230V) lub błąd ekipy zakładu energetycznego (np. w gniazdku napięcie międzyprzewodowe 380V)	większe straty energii w zasilaczu lub jego uszkodzenie
5.	szumy w.cz. (zakłócenia elektromagnetyczne EMI lub zakłócenia o częstotliwościach radiowych RFI)	NOISE		zbyt mała odporność sprzętu na tego typu zakłócenia (ekranowanie, filtry) oraz niewłaściwe redukcowanie emitowanych zakłóceń w miejscu ich powstawania	błędy w odczycie i transmisji danych

Z powyższego zestawienia widać, że w sieci najczęściej występują krótkotrwałe (ang. SAGS) i przewlekłe (ang. BROWNOUTS) spadki napięcia. Dlatego też zasilacze sprzętu elektronicznego powinny być projektowane tak, by zapewniały prawidłową pracę urządzeń przy napięciu wejściowym zmieniającym się w pewnym przedziale (najczęściej +10%-15%) względem nominalnego oraz by poprzez stosowanie elementów gromadzących energię (kondensatorów o odpowiednio zwiększonej pojemności) były uodpornione na krótkotrwałe – trwające kilka okresów – przerwy w zasilaniu sieciowym. Aby ułatwić pracę zasilaczom, niektórzy producenci oferują urządzenia dopasowujące, działające na zasadzie sterowanego autotransformatora. Przy zmianach napięcia sieciowego np. w przedziale 182V-287V układy te, poprzez podłączenie

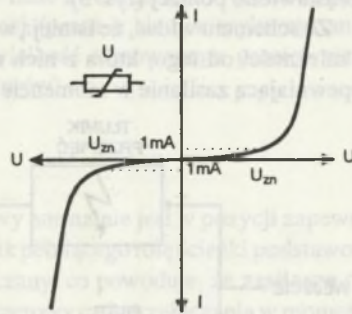
wyjścia do odpowiedniego odczepu transformatora, potrafią utrzymać na wyjściu napięcie w przedziale 219V-242V. Przykładem takich urządzeń są wyroby firmy APC o firmowej nazwie LINE-R i mocach znamionowych 600VA oraz 1250VA, charakteryzujące się sprawnością większą niż 93%. Tego typu układy stanowią też czasami fragment zasilaczy bezprzerwowych.

Kolejną klasę zakłóceń występujących w sieci zasilającej stanowią krótkotrwałe przepięcia (ang. SPIKES) oraz gwałtowne udary napięciowe (ang. SURGES), których niekorzystny wpływ minimalizuje się stosując tzw. tłumiki napięć (ang. SURGE SUPRESSOR). Zapewniają one skuteczne ich zniwelowanie, ale tylko w przypadku, gdy zakłócenia te mają ograniczoną (np. do 320J) energię. Występujące w sieci zasilającej przepięcia mają bardzo różne amplitudy: od występujących bardzo często – powodowanych wyłączaniem obciążeń indukcyjnych – przepięć kilkudziesięciowoltowych, do występujących sporadycznie – powodowanych wyładowaniami atmosferycznymi – udarów o amplitudach 1000 i więcej woltów. Dla ochrony przed tymi drugimi stosowane są odgromniki (ang. SURGE ARRESTER) zwane czasami także zwiernikami przepięć. Ich charakterystyka napięciowo-prądowa (rys.1) określona jest dwoma napięciami: napięciem przeskoku U_p , po przekroczeniu którego odgromnik przechodzi w stan małej impedancji oraz napięciem gaszenia U_g – powrotu odgromnika w stan wysokiej impedancji. Napięcie gaszenia powinno być wyższe od napięcia pracy chronionego układu.

Aby urządzenie było zabezpieczone także przed najczęstszymi przepięciami kilkudziesięciowoltowymi łącznie z odgromnikami, a najczęściej samodzielnie, stosowane są elementy pełniące rolę ograniczników przepięć. Najczęściej zadanie to spełniają warystory MOV (Metal Oxide Varistors) lub diody lawinowe włączane równolegle do chronionego obwodu. Elementy te, o charakterystykach I-U podobnych do przedstawionych na rys. 2, przystosowane są do określonego napięcia pracy – U_{zn} (spotykane w zakresie kilka V do kilku KV) określanego najczęściej przy prądzie 1mA. Pozostałe istotne parametry warystorów to także: maksymalna energia, jaka może się w nich wydzielić – kilkaset, a dla niektórych nawet kilka tysięcy dżuli oraz maksymalny prąd impulsu przepięciowego ($\leq 20ms$) sięgający nawet kilkudziesięciu kA. Rolę ograniczników przepięć częściowo spełniają także stosowane filtry przeciwzakłóceńowe tłumiące składowe napięcia o częstotliwościach wyższych od znamionowych 50Hz. Wykonywane jako filtry LC z odpowiednich elementów zapewniają tłumienie różnicowych i sumacyjnych zakłóceń elektromagnetycznych EMI (electromagnetic interference) oraz zakłóceń o częstotliwościach radiowych RFI (radio frequency interference) docierających poprzez przewody zasilające lub mogących się wydostać z danego urządzenia. W handlu dostępne są układy wykonane w formie przedłużacza-rozdzielnika (o



Rys. 1. Symbol i charakterystyka odgromnika
Fig. 1. Graphic symbol and characteristic of a surge arrester



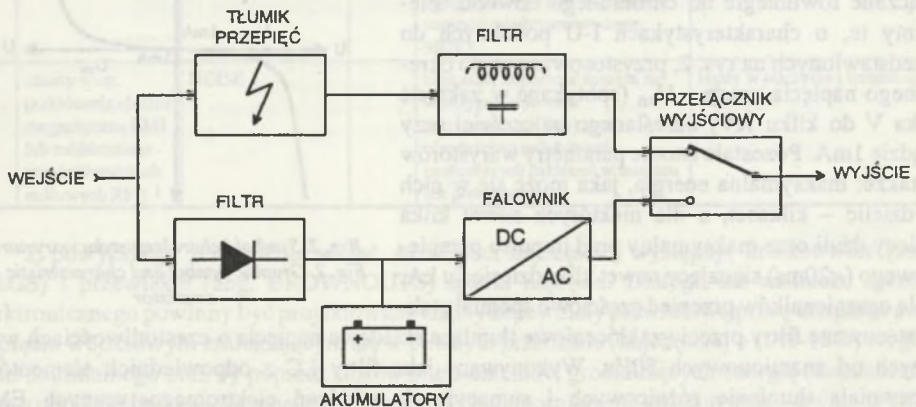
Rys. 2. Symbol i charakterystyka warystora
Fig. 2. Graphic symbol and characteristic of a varistor

prądzie wyjściowym np. 10A) zawierające wewnątrz filtr przeciwzakłóceńowy i ewentualnie warystor zapewniający ochronę przeciwprzebiegową.

2. UPS-y – PRZEZNACZENIE I ICH PODSTAWOWE STRUKTURY

Z najobszerniejszą grupą wśród niekorzystnych zjawisk związanych z zasilaniem radzą sobie zasilacze bezprzerwowe (zasilacze awaryjne, buforowe; ang. UPS – Uninterruptible Power Supplies, niem. Unterbrechungsfreie Stromversorgungen) zapewniające zasilanie zabezpieczanych urządzeń także przez jakiś okres – zwany czasem autonomii lub czasem podtrzymania baterijnego – po zaniku napięcia w sieci energetycznej. Jest to jedna z dwóch podstawowych cech charakteryzujących UPS-y: zapewnienie nadmiarowego (rezerwowego) źródła zasilania oraz poprawa jakości zasilania poprzez utrzymywanie napięcia wyjściowego wewnątrz sprecyzowanego przedziału dopuszczalnych zmian. Ponieważ pojemność akumulatorów stosowanych jako zapasowe źródło energii jest ograniczona, dlatego w przypadkach poważniejszych instalacji UPS-y często współpracują z dołączonym generatorem dieslowskim. Wtedy po zaniku napięcia w sieci UPS, do momentu uruchomienia generatora dieslowskiego i osiągnięcia przez niego parametrów znamionowych, dostarcza energii ze swoich akumulatorów, a następnie poprawia jedynie parametry dostarczanego z agregatu prądotwórczego napięcia – zazwyczaj o dużej niestałości częstotliwości, kształtu i amplitudy. Jest to realizowane poprzez przetwarzanie energii wewnątrz zasilacza awaryjnego. W ten sam sposób, w czasie normalnej pracy z sieci energetycznej, jest realizowane drugie z zadań UPS-ów, czyli poprawa jakości zasilania dołączonych urządzeń. Schemat blokowy uogólnionego UPS-a spełniającego powyższe wymogi przedstawiono poniżej (rys. 3).

Ze schematu widać, że istnieją w nim dwie możliwe ścieżki zasilania z sieci energetycznej. W zależności od tego, która z nich zostanie wybrana na podstawową, a która na rezerwową (zapewniającą zasilanie w momencie uszkodzenia jakiegokolwiek podzespołu ścieżki pierwot-

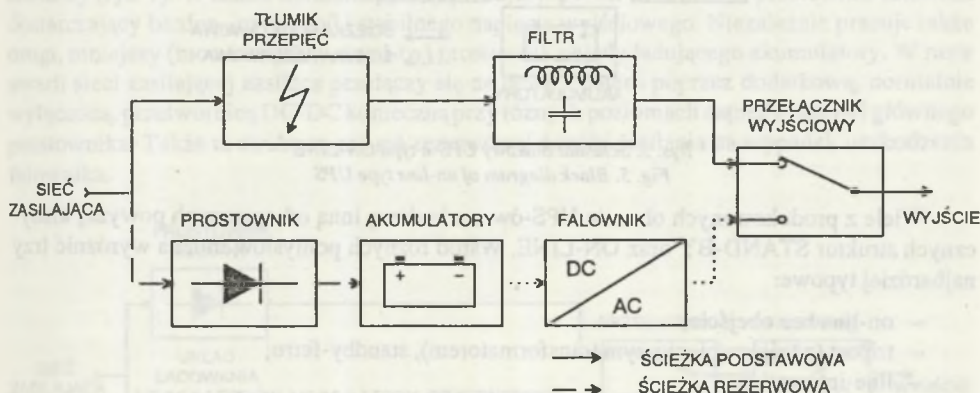


Rys. 3. Schemat blokowy uogólnionego zasilacza awaryjnego (UPS-a)
Fig.3 Block diagram of general UPS

nej) możemy wyróżnić dwa zasadnicze typy zasilaczy awaryjnych: STAND-BY (OFF-LINE) oraz ON-LINE.

STAND-BY

Zasilacze typu STAND-BY (rys. 4) normalnie podają na wyjście filtrowane napięcie



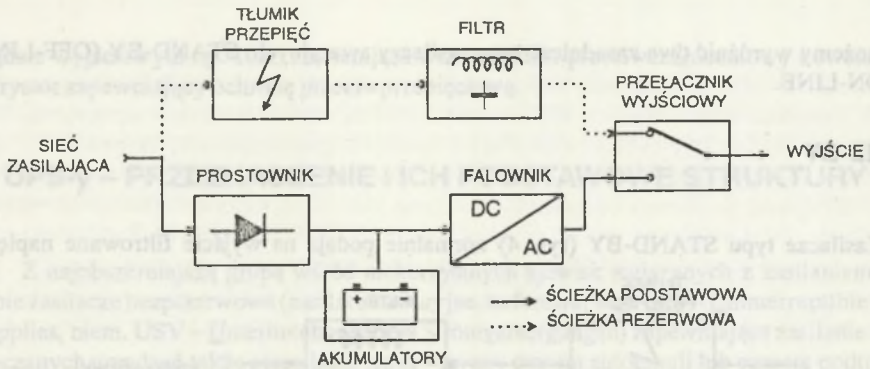
Rys. 4. Schemat blokowy UPS-a typu STAND-BY (OFF-LINE)

Fig. 4. Block diagram of stand-by (off-line) type UPS

wejściowe i przełączają się na pracę bateryjną jedynie w razie awarii zasilania sieciowego lub uszkodzenia któregoś z elementów ścieżki pierwotnej (praca z sieci z wykorzystaniem ścieżki rezerwowej nie jest możliwa ze względu na wielkość stosowanego prostownika – służącego jedynie do ładowania wewnętrznych akumulatorów).

ON-LINE

W UPS-ach typu ON-LINE (rys. 5) łącznik wyjściowy normalnie jest w pozycji zapewniającej zasilanie z zestawu prostownik-akumulatory-falownik pełniącego rolę ścieżki podstawowej i w razie awarii sieci energetycznej nie musi być przełączany, co powoduje, że zasilacze o tej strukturze – w przeciwieństwie do OFF-LINE – wykazują zerowy czas przełączania w momencie zaniku zasilania sieciowego. Przełączenie na pracę wprost z sieci dla struktury ON-LINE następuje jedynie w momencie uszkodzenia któregoś z bloków ścieżki podstawowej lub np. w momencie nadmiernego wzrostu obciążenia wyjścia – przeciążenia falownika UPS-a. Konsekwencją pracy w trybie ON-LINE jest wymóg większego – w porównaniu do struktury STAND-BY – prostownika sieciowego, który musi dostarczyć oprócz prądu ładującego akumulatory także pełnej mocy podawanej na wyjście. Skutkiem tego są większe straty ciepłe w układzie i związana z tym trochę mniejsza sprawność całego zasilacza o strukturze ON-LINE.



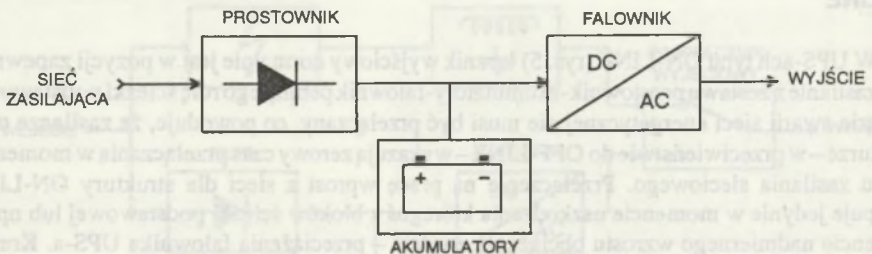
Rys. 5. Schemat blokowy UPS-a typu ON-LINE
Fig. 5. Block diagram of on-line type UPS

Wiele z produkowanych obecnie UPS-ów ma budowę inną od opisanych powyżej klasycznych struktur STAND-BY oraz ON-LINE. Wśród różnych pomysłów można wyróżnić trzy najbardziej typowe:

- on-line bez obejścia;
- triport (z trójzwojowym transformatorem), standby-ferro;
- line-interactive.

Wiele z takich zasilaczy jest czasami niewłaściwie klasyfikowanych jako ON-LINE lub STAND-BY, co prowadzi do niewłaściwej oceny stopnia ochrony gwarantowanej przez dany model UPS-a. Zwłaszcza myląca jest klasyfikacja jako ON-LINE tylko ze względu na realizowaną filtrację plus ewentualne przełączanie odczepów wewnętrznego transformatora, umożliwiające uzyskanie w miarę stabilnego, sinusoidalnego napięcia wyjściowego.

ON-LINE bez obejścia

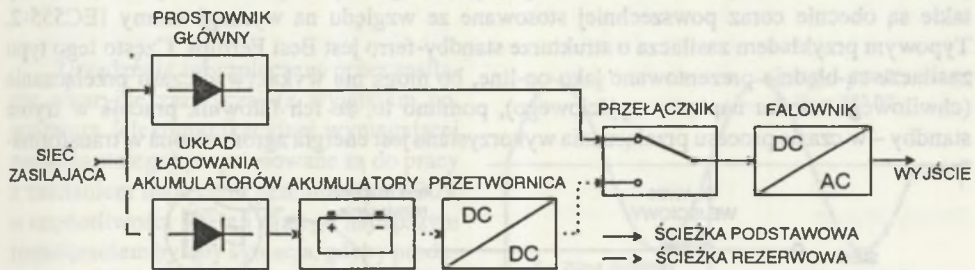


Rys. 6. Schemat blokowy UPS-a typu ON-LINE bez obejścia
Fig. 6. Block diagram of on-line no-bypass UPS

W tej strukturze (rys. 6), w porównaniu z klasycznym ON-LINE, została usunięta rezerwowa ścieżka zasilania. W związku z tym niemożliwe jest przejście w bypass, gdy uszkodzeniu ulegnie np. falownik, co powoduje, że w tego typu zasilaczach nie jest spełniona jedna istotna

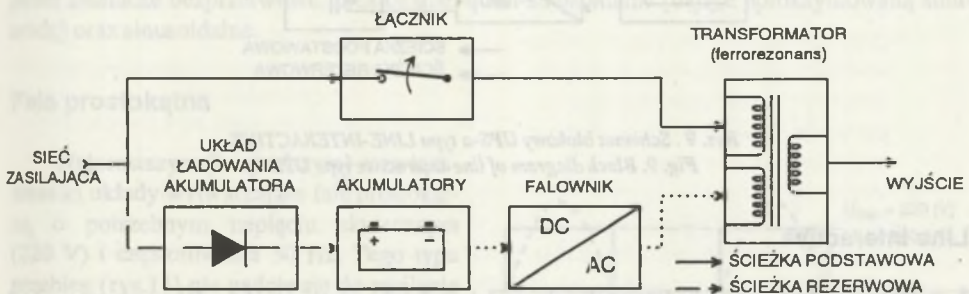
cecha UPS-ów – nadmiarowość struktury. Czas przejścia z pracy normalnej na baterijną, tak samo jak w klasycznej strukturze ON-LINE, jest zerowy, co czasami jest przyczyną utożsamiania ich w celach reklamowych ze strukturą klasyczną. Ścieżka rezerwowa została w nich usunięta w celu obniżenia kosztów – dlatego taka struktura stosowana jest jedynie w niektórych UPS-ach małej mocy, nigdy w poważniejszych zasilaczach, zwłaszcza o dużej mocy wyjściowej.

Odmianą struktury on-line bez obejścia jest konstrukcja określana jako hybryda on-line i stand-by (rys. 7). W czasie normalnej pracy pracuje, jak w on-line, zestaw prostownik-falownik dostarczający bardzo „czystego” i stabilnego napięcia wyjściowego. Niezależnie pracuje także drugi, mniejszy (moc taka jak w stand-by) prostownik układu ładującego akumulatory. W razie awarii sieci zasilającej zasilacz przełączy się na pracę z baterii poprzez dodatkową, normalnie wyłączoną, przetwornicę DC-DC konieczną przy różnych poziomach napięć z baterii i głównego prostownika. Także ta struktura nie ma rezerwowej ścieżki zasilania na wypadek uszkodzenia falownika.



Rys. 7. Schemat blokowy UPS-a będącego hybrydą struktur ON-LINE i STAND-BY
Fig. 7. Block diagram of stand-by on-line hybrid structure of UPS

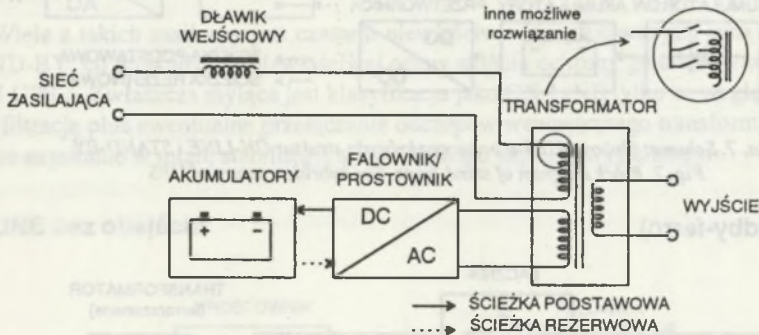
Triport (standby-ferro)



Rys. 8. Schemat blokowy UPS-a typu STAND-BY FERRO
Fig. 8. Block diagram of standby-ferro type UPS

Ta struktura UPS-a (rys. 8) oparta jest na zastosowaniu posiadającego trzy uzwojenia (dwa wejściowe i jedno wyjściowe) transformatora pełniącego rolę łącznika wyjściowego. Główna ścieżka zasilania biegnie od wejścia przez przełącznik i transformator do wyjścia. Falownik

znajduje się wtedy w stanie oczekiwania (stand-by) i jest uruchamiany w momencie awarii sieci zasilającej równocześnie z otwarciem klucza łączącego sieć z transformatorem. Układ ładujący akumulatory musi dostarczać stosunkowo niedużej mocy – jak w klasycznej strukturze standby. Ze względu na konstrukcję transformatora mogącego pełnić oprócz roli filtru wyjściowego także funkcję układu stabilizującego napięcie (efekt ferorezonansu) – ale tylko w zasilaczach o małej (kilkaset VA) mocy wyjściowej – ta struktura jest znana także jako STANDBY-FERRO. Zasilacze o tej strukturze charakteryzują się bardzo dobrą filtracją napięcia sieciowego, dobrze radzą sobie przy zmianach napięcia wejściowego, ale sam transformator wprowadza wtedy zniekształcenia napięcia wyjściowego. W czasie pracy tego typu zasilacze wydzielają znaczne ilości ciepła (straty w transformatorze – zobacz fragment dotyczący kształtowania napięcia wyjściowego UPS-ów), co powoduje ich dużo niższą – w porównaniu z innymi strukturami – sprawność. Istotną rzeczą, na którą warto zwrócić uwagę, jest niestabilne napięcie wyjściowe, gdy zabezpieczane przez UPS-a o strukturze standby-ferro urządzenie wyposażone jest w zasilacz z elektronicznym układem korekcji wejściowego współczynnika mocy $\cos \phi$. Układy takie są obecnie coraz powszechniej stosowane ze względu na wymogi normy IEC555-2. Typowym przykładem zasilacza o strukturze standby-ferro jest Best Ferrups. Często tego typu zasilacze są błędnie prezentowane jako on-line, bo mogą nie wykazywać czasu przełączania (chwilowego zaniku napięcia wyjściowego), pomimo to, że ich falownik pracuje w trybie standby – w czasie procesu przełączania wykorzystana jest energia zgromadzona w transformatorze.



Rys. 9. Schemat blokowy UPS-a typu LINE-INTERACTIVE
Fig. 9. Block diagram of line-interactive type UPS

Line interactive

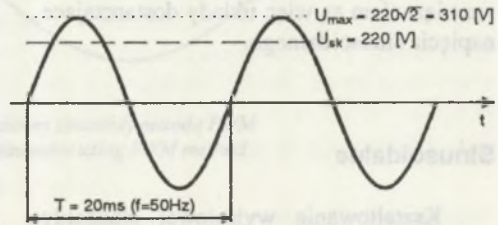
W tej strukturze (rys.9) falownik cały czas jest dołączony do wyjścia. W czasie normalnej pracy, gdy wyjście jest zasilane z sieci, falownik pracuje jako prostownik ładujący akumulatory (w niektórych wykonaniach zapewniając równocześnie stabilizację napięcia wyjściowego). W razie awarii sieci zasilającej falownik natychmiast przechodzi w swój normalny tryb pracy - przekształcania napięcia stałego z baterii na przemiennie napięcie wyjściowe - tak że moment przełączenia jest prawie niezauważalny. Falownik w ramach stabilizacji i filtracji napięcia sieciowego zapewnia także korygowanie (w pewnym zakresie) jego spadków, które w przypadku

klasycznych UPS-ów typu standby prowadziłyby do przejścia na pracę z baterii. W konstrukcjach zasilaczy o mniejszej mocy wyjściowej może to być realizowane poprzez przepinanie odczepów transformatora. Takie zachowanie pozwala na pracę chronionych urządzeń także przy chronicznie obniżonym napięciu w sieci. Rezerwowa ścieżka zasilania w tego typu zasilaczach może być realizowana dwojako: albo falownik jest zbudowany w taki sposób, że pomimo jego uszkodzenia zapewnia przepływ prądu do wyjścia, lub jest dodana dodatkowa, dołączana w razie potrzeby, gałąź (bypass) bocznikująca całość. Ze względu na swoją strukturę UPS-y typu LINE-INTERACTIVE charakteryzują się bardzo wysoką sprawnością (nawet 97%) przy mocach kilkadziesiąt kW, co jest istotne ze względu na koszt traconej energii elektrycznej.

Niezależnie od struktury wewnątrz UPS-a może się znajdować transformator zapewniający izolację galwaniczną między wejściem i wyjściem.

3. KSZTAŁT NAPIĘCIA WYJŚCIOWEGO

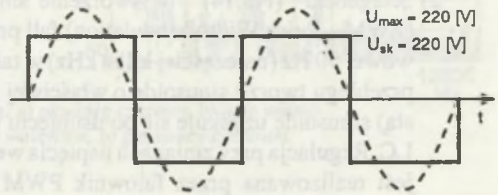
Urządzenia zabezpieczone przez zasilacze awaryjne zazwyczaj (z wyjątkiem np. aparatury telekomunikacyjnej wymagającej napięcia stałego) przystosowane są do pracy z zasilaniem napięciem przemiennym 220V o częstotliwości 50Hz i dlatego najlepszym rozwiązaniem byłaby sytuacja, gdyby produkowane UPS-y dawały na wyjściu przebieg sinusoidalny o odpowiednich parametrach (rys. 10). Jednakże realizacja tego nie jest sprawą prostą – zwłaszcza ze względu na koszty. Dlatego w praktyce spotyka się następujące kształty napięć wyjściowych wytwarzanych przez zasilacze bezprzerwowe: prostokątne, quasi-sinusoidalne (dające aproksymowaną sinusoidę) oraz sinusoidalne.



Rys. 10. Parametry napięcia sieci energetycznej
Fig. 10. Voltage parameters of electric power system

Fala prostokątna

Najprostszym (i najtańszym) rozwiązaniem są układy wytwarzające falę prostokątną o potrzebnym napięciu skutecznym (220 V) i częstotliwości 50 Hz. Tego typu przebieg (rys.11) nie nadaje się do zasilania urządzeń, w których zasilacz zawiera prostowniki z filtrami pojemnościowymi (detektorami szczytowymi), bo amplituda przebiegu jest równa jego wartości skutecznej, a powinna wynosić 1.41 (pierwiastek z dwóch) raza więcej – co uniemożliwia poprawną pra-

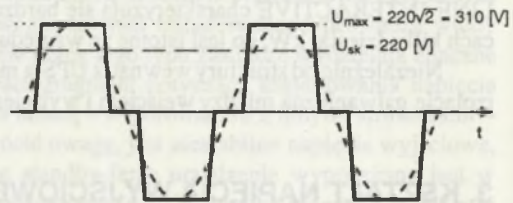


Rys. 11. Wyjściowa fala prostokątna
Fig. 11. UPS output square waveform

cę zasilanych układów. Układy takie (z przebiegiem prostokątnym) również nie nadają się do zasilania układów wyposażonych w wejściowe filtry pojemnościowe poprawiające ich wejściowe $\cos \phi$.

Przebiegi quasi-sinusoidalne

Kolejnym rozwiązaniem są układy dające nadal falę prostokątną, ale o współczynniku amplitudy (tzn. stosunku amplitudy do wartości skutecznej) takim jak dla przebiegu sinusoidalnego (rys.12) – przebiegi te nazywane są quasi-sinusoidalnymi lub aproksymowanymi krokowo. Taki kształt napięcia zapewnia poprawną pracę większości układów, ale charakteryzuje się znaczną zawartością wyższych harmonicznych. Najlepszym rozwiązaniem są więc układy dostarczające napięcia sinusoidalnego.

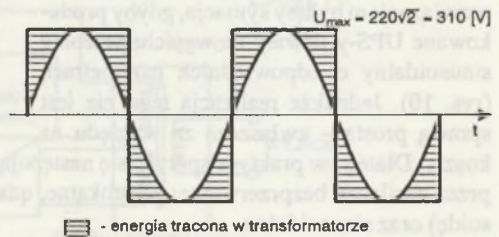


Rys. 12. Wyjściowy przebieg quasi-sinusoidalny
Fig. 12. Stepped approximation to a sine output wave

Sinusoidalne

Kształtowanie wyjściowej sinusoidy może być realizowane na dwa sposoby:

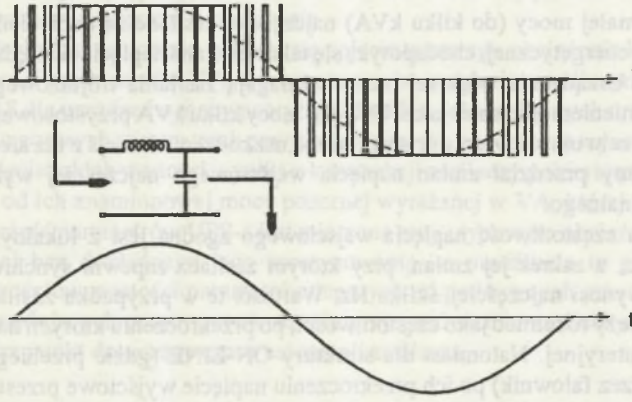
- 1) „brutalny” (rys.13) – poprzez wytworzenie fali prostokątnej o odpowiedniej amplitudzie, a następnie wytracenie zbędnej energii, tak by otrzymać sinus – tak jest to realizowane w transformatorze ferorezonansowym – stąd znaczne ilości ciepła wydzielanego przez zasilacze o strukturze standby-ferro;
- 2) „elegancki” (rys.14) – wytworzenie sinusa poprzez modulację szerokości impulsów (PWM – Pulse Width Modulation) fali prostokątnej o częstotliwości wyższej od podstawowej 50 Hz (najczęściej kilka kHz) w taki sposób, że chwilowa wartość średnia takiego przebiegu tworzy sinusoidę o właściwej amplitudzie i częstotliwości. Wyjściową (czystą) sinusoidę uzyskuje się po usunięciu wyższych harmonicznych w pasywnym filtrze LC. Regulacja przy zmianach napięcia wejściowego (baterii) i przy zmianach obciążenia jest realizowana przez falownik PWM poprzez dodatkową modyfikację szerokości impulsów wyjściowych. Przykładowy przebieg (wraz z jego widmem) zarejestrowany na wyjściu UPS-a tak realizującego sinusoidalny kształt napięcia wyjściowego przedstawiony został na rys. 15. Widać na nim, że częstotliwość kluczowania falownika i jej



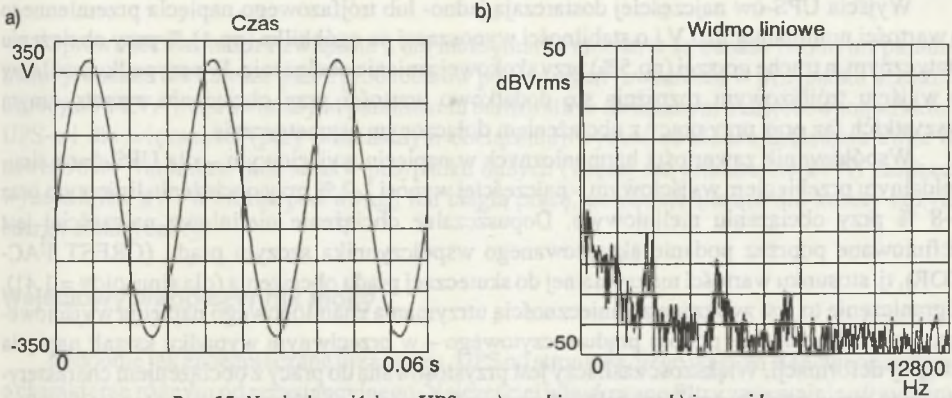
Rys. 13. Kształtowanie wyjściowej sinusoidy w UPS-ach typu standby ferro

Fig. 13. Shaping of sine output wave in standby-ferro type UPS

harmoniczne zostały stłumione o co najmniej 60 dB w stosunku do podstawowej częstotliwości wyjściowej – 50 Hz, tak że zniekształcenia napięcia wyjściowego wynoszą tylko 0.6%.



Rys. 14. Kształtowanie wyjściowej sinusoidy metodą PWM
Fig. 14. Shaping of output sine wave using PWM method



Rys. 15. Napięcie wyjściowe UPS-a: a) przebieg czasowy, b) jego widmo
Fig. 15. UPS output voltage: a) waveform, b) frequency spectrum

4. PODSTAWOWE PARAMETRY UPS-ów

Napięcie wejściowe

Zasilacze małej mocy (do kilku kVA) najczęściej zasilane są napięciem przewodowym jednej fazy sieci energetycznej, choć spotyka się także zasilanie napięciem międzyprzewodowym jednofazowym. Urządzenia większej mocy wymagają zasilania trójfazowego z przewodem zerowym i uziemieniem. Czasami także UPS-y o mocy kilku kVA przystosowane są do zasilania trójfazowego w celu umożliwienia pracy pomimo uszkodzenia którejs z faz sieci energetycznej.

Akceptowany przedział zmian napięcia wejściowego najczęściej wynosi $+10\%$ - 15% względem nominalnego.

Wymagana częstotliwość napięcia wejściowego zgodna jest z lokalnym standardem – w Polsce 50 Hz, a zakres jej zmian, przy którym zasilacz zapewni synchronizację z siecią energetyczną, wynosi najczęściej \pm kilka Hz. Wartości te w przypadku zasilaczy o strukturze STAND-BY należy rozumieć jako częstotliwości, po przekroczeniu których następuje przejście w tryb pracy bateryjnej. Natomiast dla struktury ON-LINE (gdzie przebieg wyjściowy jest kształtowany przez falownik) po ich przekroczeniu napięcie wyjściowe przestaje być synchronizowane z siecią, uniemożliwiając tym samym zachowanie ciągłości fazy przy ewentualnym przejściu UPS-a w bypass. Mimo braku synchronizacji falownika z siecią w zasilaczach ON-LINE energia nadal może być czerpana, poprzez prostownik, z sieci energetycznej.

Napięcie wyjściowe

Wyjścia UPS-ów najczęściej dostarczają jedno- lub trójfazowego napięcia przemiennego o wartości nominalnej 220 V i o stabilności wynoszącej na ogół kilka (np. 1) % przy obciążeniu statycznym, a trochę gorszej (np. 5%) przy skokowej zmianie obciążenia. W przypadku zasilaczy o wyjściu trójfazowym rozróżnia się dodatkowo wartości przy obciążeniu symetrycznym wszystkich faz oraz przy pracy z obciążeniem dołączonym asymetrycznie.

Współczynnik zawartości harmonicznych w napięciu wyjściowym – dla UPS-ów z sinusoidalnym przebiegiem wyjściowym – najczęściej wynosi 1-2 % przy obciążeniu liniowym oraz 5-8 % przy obciążeniu nieliniowym. Dopuszczalne obciążenie nieliniowe najczęściej jest definiowane poprzez podanie akceptowanego współczynnika szczytu prądu (CREST FACTOR), tj. stosunku wartości maksymalnej do skutecznej prądu obciążenia (dla sinusoidy = 1.41). Ograniczenie to jest związane z koniecznością utrzymania znamionowego napięcia wyjściowego, także w momencie poboru prądu szczytowego – w przeciwnym wypadku kształt napięcia uległby deformacji. Większość zasilaczy jest przystosowana do pracy z obciążeniem charakteryzującym się wartością współczynnika szczytu ≤ 3 przy obciążeniu mocą znamionową i odpowiednio większym przy częściowym obciążeniu (np. 8 przy 0.25 mocy maksymalnej).

Obciążenie jest także charakteryzowane przez podanie dopuszczalnego zakresu wartości jego $\cos \phi$ – najczęściej od 1 do 0.7 typu indukcyjnego.

Częstotliwość wyjściowa zasilaczy wynosi 50 Hz (opcjonalnie 60 Hz), a jej stałość dla większości modeli jest lepsza niż $\pm 0.5\%$.

Moc wyjściowa

Maksymalna moc wyjściowa podawana jest w kVA i W. Pierwsza – będąca mocą pozorną S – charakteryzuje przede wszystkim maksymalny prąd wyjściowy zasilacza, druga natomiast – maksymalną moc czynną P, jaką zasilacz potrafi wydać. Niektórzy producenci podają jedną z nich oraz dopuszczalny zakres $\cos \phi$ obciążenia.

W danych technicznych często pojawia się pojęcie typowego obciążenia komputerowego, które dla większości producentów UPS-ów oznacza m.in. przyjęcie współczynnika mocy obciążenia równego 0.8 dla urządzeń o mocy powyżej kilku kVA (dla mniejszych urządzeń, posiadających zasilacze o gorszych parametrach przyjmuje się często, że ich $\cos \phi$ wynosi 0.7, a czasami nawet 0.6). Przyjęcie takich wartości wynika z konstrukcji zasilaczy pobierających dużo mniejszą moc czynną od ich znamionowej mocy pozornej wyrażanej w VA, której musi dostarczyć UPS. Ponieważ część parametrów UPS-a jest mierzona przy „typowym obciążeniu komputerowym” najczęściej bez dokładnego jego sprecyzowania, to umożliwia to podawanie przez niektórych producentów wartości parametrów lepszych od podawanych przez konkurencyjne firmy, ale nie znajdujących potem potwierdzenia przy porównaniu zasilaczy w identycznych warunkach – patrz punkt dotyczący czasu autonomii zasilacza.

Przeciążalność wyjścia

Najczęściej UPS-y dopuszczają obciążenie przez określony czas mocą większą od znamionowej – np. 125% przez 10 minut, 150% przez 60 sekund.

Sprawność, moc strat

Sprawność zasilacza i związana z nią maksymalna moc strat są bardzo istotnymi parametrami, jednakże nie zawsze przez producentów podawanymi (zwłaszcza w przypadku urządzeń o mocy do 1 kVA). Sprawność jest parametrem bardzo silnie związanym z zastosowaną strukturą UPS-a i dla większości (przy nominalnym obciążeniu) wynosi od siedemdziesięciu kilku do nawet 98%. Natomiast moc strat w przypadku dużych (więcej niż kilkanaście kVA) zasilaczy wynosi kilka kW, a biorąc pod uwagę ich ciągłą pracę, powoduje liczące się koszty zużytej energii elektrycznej.

Wejściowy współczynnik mocy

Podobnie jak zabezpieczone urządzenia, UPS od strony swojego wejścia stanowi obciążenie o charakterze różnym od rezystancyjnego. Najczęściej wbudowane filtry zapewniają utrzymanie wejściowego $\cos \phi$ na poziomie > 0.7 charakteru indukcyjnego (opcjonalnie – przy dodatkowym filtrze – nawet > 0.95). Niektóre (zwłaszcza bez obciążenia) pobierają także bardzo odkształcony prąd z sieci zasilającej.

Czas autonomii (czas podtrzymania bateryjnego)

Czas ten jest wyznaczany przy wartości $\cos \phi$ obciążenia typowym dla zasilaczy komputerów. Ponieważ pojęcie „typowości” może być (jak pokazano przy omawianiu mocy wyjściowej) różne, to prowadzi to do podawania, przez niektórych producentów, znacznie lepszych niż rzeczywiste parametrów. Przykładowo wyznaczenie czasu podtrzymania bateryjnego zasilacza 1000VA przy obciążeniu mocą nominalną „typowym obciążeniem komputerowym” prowadzi do pomiaru przy obciążeniu rzeczywistym wynoszącym 600 W ($\cos \phi=0.6$) i wyznaczenia czasu podtrzymania równego 25 minut, a przy 800 W ($\cos \phi=0.8$) – równego 17 minut. Tego typu pomiary powodują, że wartość czasu podtrzymania może być zawyżona od 20 do 35% w stosunku do podawanego przez inne firmy. Niezależnie jednak od sposobu jego definicji zasilacz powinien zapewnić co najmniej 5- minutowy czas podtrzymania, co powinno wystarczyć do zamknięcia wykonywanego zadania (shutdown systemu). Najczęściej przy nominalnym obciążeniu czas autonomii wynosi 6-15 minut, a przy obciążeniu mniejszą mocą jest odpowiednio dłuższy. Niektóre modele zasilaczy zapewniają także (poprzez opcjonalne dołączenie dodatkowych zestawów akumulatorów) nawet kilkukrotne jego przedłużenie.

Czas podtrzymania bateryjnego jest nieodłącznie związany z rodzajem zastosowanych akumulatorów – najczęściej są to bezobsługowe akumulatory kwasowo-ołowiowe o pojemnościach od kilku do stukilkudziesięciu Ah. Łączone są one w baterie o napięciach od 12 V do nawet 480 V. Czas ich ładowania określany jest najczęściej na 4 do 10 godzin, a typowa trwałość wynosi ok. 3 lat, choć niektóre gwarantują także 7- letni okres pracy bez konieczności ich wymiany. W niektórych modelach koszt dobrych akumulatorów może wynosić nawet połowę ceny UPS-a.

Poziom hałasu

Podczas pracy w zasilaczu wydzielane są znaczne ilości ciepła, co jest przyczyną stosowania wymuszonego chłodzenia. Stosowane w tym celu wentylatory są jednym ze źródeł (oprócz transformatora i falownika) wytwarzanego przez UPS-a hałasu. W przypadku zasilaczy dużej mocy poziom hałasu może być dosyć wysoki – mierzony w odległości 1 metra od urządzenia wynosi zazwyczaj ≤ 65 dBA (mierzony przyrządem z charakterystyką częstotliwościową skorygowaną wg czułości ucha ludzkiego – tzn. z filtrem A). Dla małych zasilaczy (do 2 kVA) najczęściej podawany poziom nie przekracza 45 dBA.

Konstrukcja, warunki środowiskowe

Wszystkie zasilacze powinny spełniać odpowiednie normy związane z zapewnieniem bezpieczeństwa ich obsługi. UPS-y mniejszej mocy (do kilku kVA) wykonywane są jako urządzenia klasy I wyposażone w przewód zasilający z wtyczką ze stykiem ochronnym. Urządzenia większej mocy łączone są trwale z siecią zasilającą i wyposażane są w dodatkowy zacisk do podłączenia uziemienia (zerowania) ochronnego. Także sama obudowa zapewnia odpowiedni stopień ochrony – najczęściej IP20 lub IP21 – tzn. części znajdujące się pod napięciem są zabezpieczone przed dotknięciem przez użytkownika oraz przy IP21 konstrukcja zabezpiecza przed padającą pionowo wodą.

UPS-y najczęściej przystosowane są do pracy w zakresie temperatur 0°C do +35°C, choć ze względu na trwałość akumulatorów zalecana jest temperatura ok. 20°C przy względnej wilgotności powietrza 0-90%.

Niektórzy producenci zasilaczy dużej mocy, uwzględniając spadek efektywności chłodzenia, podają także, o ile zmniejszy się znamionowa moc wyjściowa w przypadku instalacji UPS-a powyżej pewnej wysokości (np. przy instalacji powyżej 1000 m npm. spadek wynosi 1%/100m w zakresie 1000-2000 m npm.).

Konstrukcja powinna także zapewnić spełnienie normy określającej dopuszczalne poziomy zakłóceń radioelektrycznych emitowanych przez zasilacz.

Wymiary i masa zasilaczy zależą od nominalnej mocy wyjściowej i mieszczą się w zakresie: od urządzeń „stołowych” o masie kilku kg do urządzeń zajmujących kilka m² powierzchni i ważących kilka ton.

Wyposażenie kontrolno-sterujące

Większość zasilaczy jest wyposażona we wskaźniki informujące o stanie pracy. W zależności od modelu może to być od kilku diod LED, poprzez wyświetlacze semigraficzne, aż do lokalnych wyświetlaczy alfanumerycznych LCD, przekazujących informacje o stanie i podstawowych parametrach pracy UPS-a. W niektórych istnieje nawet możliwość wyboru języka komunikacji spośród m.in.: angielskiego, niemieckiego, polskiego. Sygnalizowane są także, najczęściej optycznie i akustycznie, ostrzeżenia o nieprawidłowej pracy. Wiele wyposażanych jest w lokalne klawiatury umożliwiające sterowanie głównymi blokami UPS-a, kontrolę podstawowych parametrów oraz przełączanie pomiędzy różnymi trybami pracy. W modelach dużej mocy najczęściej istnieją także: przycisk awaryjnego wyłączenia UPS-a oraz wewnętrzny, mechaniczny łącznik obejścia (bypassu) umożliwiający dołączenie zabezpieczonych urządzeń wprost do sieci energetycznej z pominięciem UPS-a. Wtedy – bez przerywania pracy dołączonych do wyjścia urządzeń – można wykonać ewentualną wymianę lub naprawę niesprawnych podzespołów zasilacza.

Interfejsy komunikacyjne

Zasilacze są także wyposażane w złącza, poprzez które przekazywane są informacje o aktualnym stanie ich pracy. Jednym ze standardów jest łącze alarmowe dla komputera serii AS400. Zawiera ono bezpotencjałowe styki informujące o trybie pracy, stanie baterii oraz awarii w sieci zasilającej. Czasami występują także niestandardowe złącza do podłączenia zdalnego panelu kontrolno-sterującego.

Drugim standardowym łączem komunikacyjnym jest port szeregowy RS232, poprzez który, z wykorzystaniem odpowiedniego protokołu komunikacyjnego – tzw. UPS CODE, może być kontrolowana praca zasilacza. Prawie każdy z producentów proponuje firmowe oprogramowanie korzystające z tego protokołu (np. EMERSON – AccuMon; APC – PowerDoctor, PowerChute; FISKARS – RS PowerLink, RS PowerManager). Oprogramowanie to pozwala na śledzenie informacji o stanie zasilacza, parametrach sieci energetycznej, wielkości dołączonego obciążenia, przybliżonego czasu autonomii przy aktualnym obciążeniu itp. Najczęściej możliwa jest także analiza prezentowanych graficznie czasowych zmian tych parametrów (przechowy-

wanych w aktualizowanych plikach). W razie awarii zasilania programy te umożliwiają automatyczne wykonanie, przygotowanej wcześniej, listy rozkazów dla zamknięcia (shutdown) systemu, a następnie wyłączenie UPS-a (oszczędzanie baterii). Niektóre zasilacze – np. serii SMART firmy APC – potrafią po określonym czasie od ich programowego wyłączenia ponownie podać napięcie na wyjście – umożliwiając skonfigurowanie systemu np. tak, by o 18⁰⁰ nastąpił shutdown, a o godzinie 7³⁰ następnego dnia automatyczne re-bootowanie systemu – przygotowanie do pracy w stanie, w jakim go zostawiono. Gdy UPS zabezpiecza komputery pracujące w sieci, to dostarczone oprogramowanie umożliwia wykonanie odpowiednich czynności w każdej ze stacji roboczych. Jeżeli UPS zostanie wyposażony w kartę SNMP (Simple Network Management Protocol) – oferowaną jako wyposażenie opcjonalne przez niektórych producentów – to stanie się on węzłem w zabezpieczanej sieci i poprzez odpowiednie oprogramowanie stanie się możliwe kontrolowanie jego pracy z dowolnego (pracującego w tej sieci) komputera. Czasami dodatkowo są oferowane przystawki (dołączane do karty UPS-a) umożliwiające kontrolę także temperatury, wilgotności, lokalnych instalacji alarmowych (przeciwpożarowej i przeciw włamaniowej) w miejscu instalacji UPS-a.

5. PODSUMOWANIE

W artykule zostały przedstawione główne zagadnienia związane z zapewnieniem prawidłowej pracy urządzeń zasilanych z sieci energetycznej i roli spełnianej w tym zakresie przez zasilacze bezprzerwowe – UPS-y. Obecnie urządzenia te są oferowane przez bardzo wielu producentów, a dostępne modele pokrywają zakresy mocy wyjściowej od kilkudziesięciu W do kilkuset kW, niektóre stanowiąc przy tym jedynie fragment większego urządzenia. Oferowane UPS-y różnią się między sobą konstrukcją, parametrami, cenami oraz warunkami serwisu gwarantowanego przez producenta i dystrybutorów. W momencie decydowania o zakupie przyszły użytkownik staje przed problemem wyboru konkretnego modelu najlepiej dostosowanego do swoich potrzeb, wymagań i możliwości finansowych. Materiały informacyjne dostarczane przez dystrybutorów, na podstawie których podjęta zostaje ostateczna decyzja, zawierają mogą wiele niezrozumiałych początkowo parametrów i określeń. Dlatego niniejsze opracowanie może stanowić pierwszy krok pomocny w wyborze najwłaściwszego modelu UPS-a.

LITERATURA

- [1] Line-R: High performance power conditioning, American Power Conversion, 9/92.
- [2] The different types of UPS systems, Technical Note, American Power Conversion 1991.
- [3] Norma IEC146-4 – Semiconductor convertors, method of specifying the performance and test requirements of uninterruptible power systems.

- [4] Publikacje VPEC (Virginia Power Electronic Center) poświęcone współczesnej technice przekształtnikowej:
vol.1 High-Frequency Resonant, Quasi-Resonant and Multi-Resonant Converters,
vol.2 Modeling, Analysis and Design of PWM Converters.
- [5] Materiały informacyjne zasilaczy firm: SILCON, EMERSON, VICTRON, FIS-KARS, INVERTOMATIC, American Power Conversion, Best Power Technology, Philips, E-A Elektro-Automatik, International Power Machines.

Wpłynęło do Redakcji w czerwcu 1994 r.

Abstract

In the introduction adverse phenomena appearing in electric power systems are classified. The causes of each group of effects and their undesirable influence on the powered equipment as well as devices used to neutralize these phenomena are presented.

The paper describes some further problems connected with Uninterruptible Power Supplies (UPS), which are the only supply systems that ensure normal operation also after voltage failure in electric power line. Various UPS structures (stand-by, on-line,...) offered by different manufacturers, various modes of operation, possible output voltage waveforms - from square wave, through stepped approximation to pure sinewave are also presented.

Basic specifications and their typical value for available models are discussed.

Ein Rechnergestützter Statokinestezjometer für Diagnostische Zwecke in der Psychologie und Medizin

Zusammenfassung: Ein Vektor-Winkel-Messgerät zur Messung der Winkelbewegung (Statokinestezjometer) wird beschrieben, das zur Diagnostik von Störungen im Gleichgewichtssystem eingesetzt werden kann. Das Gerät ist zur Registrierung der Schwingungswinkel über einen definierten Messbereich konstruiert und wurde mit Visualisierungs- und Datenerfassungssoftware für die Personal-Computer-Systeme (MS-DOS) entwickelt. Die Messergebnisse werden in Form von Diagrammen und Tabellen dargestellt. Es wird die Möglichkeit einer statistischen Auswertung der Messergebnisse diskutiert.