



Funzionamento e prestazioni di un sistema UPS
(gruppo di continuità) basato su flywheel

Libro bianco 108

2128 W. Braker Lane, BK12

Austin, Texas 78758-4028

www.activepower.com

OBIETTIVO

Questo documento descrive il funzionamento, la configurazione e le prestazioni dei sistemi UPS basati su flywheel integrato. Questa linea di prodotti è priva di batterie e vanta un design modulare che agevola l'espansione della potenza sul campo e la ridondanza interna.

CONFIGURAZIONE

Il sistema CleanSource UPS si basa su stadi di potenza che non richiedono l'uso di batterie, come illustrato nella figura 1. I principali componenti dello stadio di potenza sono:

- Contattore d'ingresso
- Sezionatore statico
- Induttore lineare
- Contatore di uscita
- Gruppo flywheel-motore-generatore integrato
- Convertitore flywheel bidirezionale
- Convertitore flywheel di rete
- Filtro convertitore impianto
- Azionamenti della bobina di eccitazione del flywheel

Il sistema ha una potenza nominale di 300 kVA nei sistemi a 480 Volt e di 250 kVA nei sistemi a 400 Volt (380 V, 400 V, 415 V). Uno o più di questi stadi di potenza sono abbinati a un bypass automatico, un trasformatore di neutro e, per completare il modulo UPS, ad altre opzioni quali un bypass del commutatore statico e un bypass di manutenzione. I moduli UPS sono configurati sia come sistemi monomodulo (SPS) che come sistemi multimodulo (MPS). Il sistema SPS illustrato nella figura 1 include un solo stadio di potenza e non può subire alcuna espansione sul campo. I componenti del sistema come il bypass automatico, il bypass del commutatore automatico e il trasformatore di uscita, sono tutti realizzati per un solo stadio di potenza.

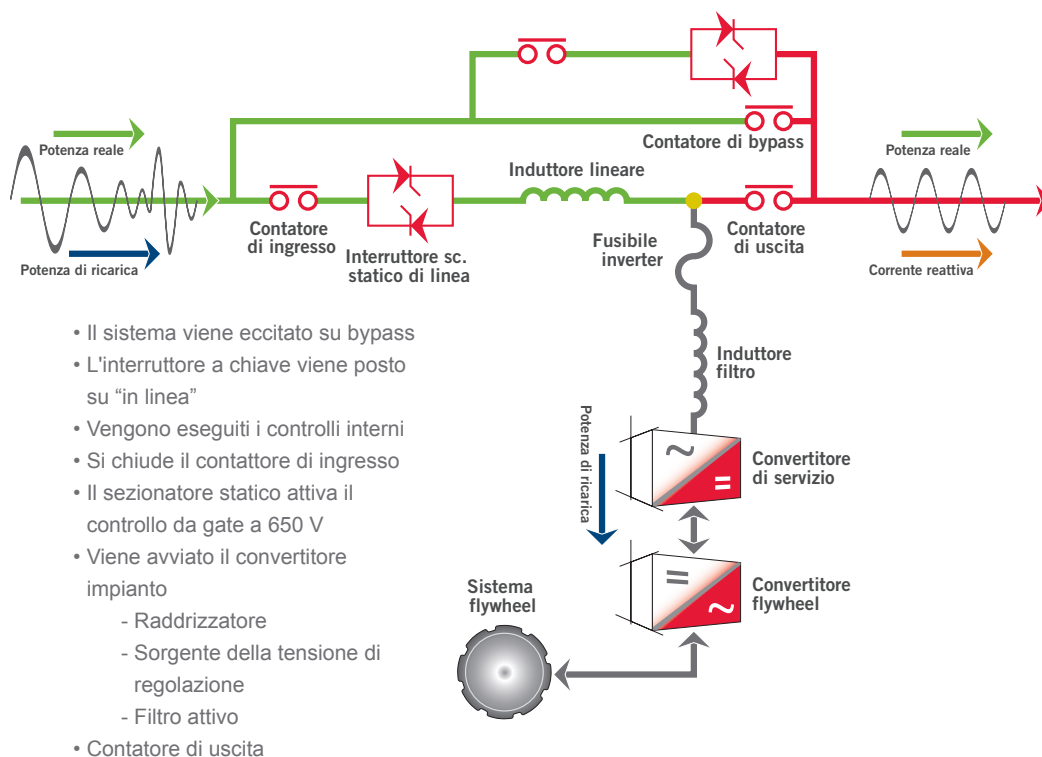


FIGURA 1: SCHEMA UNIFILARE SEMPLIFICATO DELL'UNITÀ CLEANSOURCE UPS

Un sistema MPS può invece comprendere da uno a tre stadi di potenza per garantire la capacità, e uno stadio di potenza supplementare per assicurare la ridondanza. Il sistema MPS a 400 Volt può comprendere da uno a quattro stadi di potenza per garantire la potenza di uscita, e da uno a tre stadi di potenza supplementari per assicurare la ridondanza. Le potenze nominali del sistema a 480 Volt sono 300 kVA, 600 kVA e 900 kVA. Le potenze nominali del sistema a 400 Volt sono 250 kVA, 500 kVA, 750 kVA e 1000 kVA. I componenti del sistema utilizzati per integrare gli stadi di potenza in un modulo UPS completo sono sempre realizzati per una potenza massima di 900 kVA per i sistemi a 480 Volt, oppure di 1000 kVA per i sistemi da 400 Volt. La figura 2 mostra un modulo MPS da 900 kVA.



FIGURA 2: SISTEMA CLEANSOURCE UPS 750/900 kVA

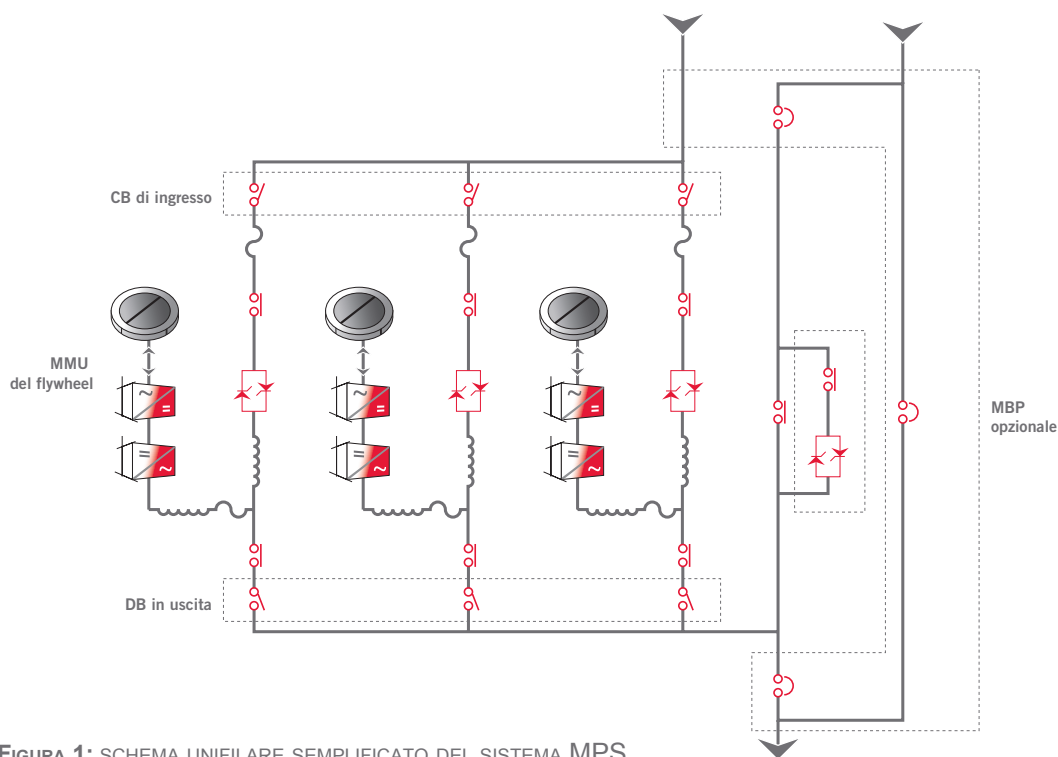


FIGURA 1: SCHEMA UNIFILARE SEMPLIFICATO DEL SISTEMA MPS

MODALITÀ OPERATIVE

Per illustrare le varie modalità operative del sistema verrà utilizzata un'unità UPS SPS come quella mostrata nella figura 1. Nei sistemi MPS (in figura 3), tutti gli stadi di potenza sono in parallelo e operano in maniera identica, tranne per lo stadio di potenza ridondante nei sistemi programmati per funzionare in modalità N+1. A seguire verrà esaminata anche la modalità N+1.

Avviamento

Non appena si applica potenza al sistema, l'uscita dell'UPS viene eccitata su bypass. L'UPS viene quindi avviato tramite un processo completamente automatizzato. Il processo di avviamento ha inizio con il posizionamento dell'interruttore a chiave posto sul display della macchina, sulla posizione in linea. L'UPS esegue una serie di verifiche interne per garantire che tutte le funzioni di controllo e di monitoraggio siano operative, quindi il contattore d'ingresso si chiude.

Il sezionatore statico si attiva e l'angolo di conduzione subisce un rapido incremento da zero fino all'angolazione in cui la tensione del bus in CC tra convertitore impianto e convertitore del flywheel si attesta all'incirca sui 650 Volt, mediante l'azione raddrizzante dei diodi presenti all'interno del convertitore impianto. Non appena raggiunto questo valore in CC, il sezionatore statico si attiva completamente.

L'IGBT (transistor bipolare con gate isolato) del convertitore impianto si aziona, consentendo al convertitore di agire contemporaneamente da raddrizzatore, fonte di regolazione di tensione e filtro attivo. La tensione d'esercizio del bus in CC viene aumentata fino a raggiungere il normale valore di funzionamento di circa 800 Volt e il bus di uscita viene trasferito dal bypass all'uscita dello stadio di potenza. Il trasferimento viene completato chiudendo il contattore di uscita e aprendo il bypass con la tecnica "make-before-break" (ovvero attiva prima di interrompere).

L'innescò del tiristore (SCR) nel sezionatore statico viene commutato, in modo che lo SCR in ogni fase viene attivato solo per mezzo ciclo, consentendo alla potenza reale di passare dalla rete all'UPS. Lo schema di innescò impedisce alla potenza proveniente dal flywheel di ritornare verso la rete e garantisce la disponibilità dell'energia del flywheel per sostenere il carico.

Subito dopo aver trasferito l'uscita dal bypass allo stadio di potenza, il campo del flywheel viene eccitato in modo da generare un sollevamento magnetico del volano per scaricare i cuscinetti. L'inverter del flywheel viene quindi attivato aumentandone gradualmente la frequenza a una velocità costante e accelerando il flywheel fino a una velocità di circa 60 giri al minuto. Una volta raggiunti i 60 giri/min, l'inverter del flywheel assume il controllo dell'accelerazione per mantenere la corrente al di sotto delle impostazioni dei valori massimi di carico e di ingresso. Quando il flywheel raggiunge i 4.000 giri/min, l'UPS è pienamente funzionante e in grado di sostenere il carico durante un'interruzione di rete. L'accelerazione continua fino a quando il flywheel non raggiunge la piena carica a 7.700 giri/min. Il tempo totale per completare la sequenza di avviamento è inferiore a cinque minuti.

Esercizio normale

Una volta che il sistema si è avviato e il flywheel ha superato i 4.000 giri/min, l'UPS funziona regolarmente. In questa modalità operativa, l'UPS regola la tensione d'uscita e alimenta il carico con le correnti reattive e armoniche necessarie. Allo stesso tempo, annulla l'effetto delle armoniche di corrente del carico sulla tensione d'uscita dell'UPS. Analizzando i componenti della corrente d'ingresso e della corrente d'uscita, come mostrato nella figura 1, è possibile comprendere il regolare funzionamento di un'unità UPS.

Una componente della corrente d'ingresso è la corrente reale che alimenta il carico. La corrente reale è una corrente in fase con la tensione di alimentazione e che alimenta il carico con la potenza reale (kW). Nell'attraversare l'induttore lineare, questa componente della corrente d'ingresso provoca uno sfasamento nell'induttore lineare, invece di aumentare o ridurre la tensione. L'impedenza dell'induttore lineare viene scelta per limitare lo sfasamento a meno di 10 gradi a pieno carico. Limitando in questo modo lo sfasamento, essa fa sì che l'UPS possa commutare su bypass istantaneamente e senza applicare transienti di tensione o di fase insostenibili per il carico.

La seconda componente della corrente d'ingresso è la corrente reattiva che circola tra l'ingresso e il convertitore impianto per regolare la tensione d'uscita. La corrente reattiva in anticipo di 90 gradi rispetto alla tensione attraversa l'induttore lineare e provoca un aumento di tensione nell'induttore stesso, dall'ingresso all'uscita. Al contrario, la corrente reattiva in ritardo di 90 gradi rispetto alla tensione provoca una riduzione di voltaggio. Nel controllare il convertitore impianto per mantenere la tensione di uscita nominale, si consente un passaggio di corrente reattiva in anticipo o in ritardo nell'induttore lineare sufficiente per compensare in qualsiasi momento la differenza tra le tensioni nominali di ingresso e di uscita. La tensione d'ingresso viene campionata ogni 50 microsecondi per consentire al convertitore impianto di adeguarsi rapidamente ai transienti di tensione d'ingresso e alle fluttuazioni di tensione in condizione di regime.

La componente finale della corrente d'ingresso è la corrente reale utilizzata per mantenere la piena carica del flywheel o per ricaricarlo dopo una scarica. La potenza richiesta per conservare la piena carica è inferiore a 2 kW, con un conseguente minimo consumo di corrente nelle normali condizioni di funzionamento. Il convertitore impianto raddrizza la tensione CA e alimenta il convertitore del flywheel in CC. Gli IGBT del convertitore del flywheel sono controllati da un gate che invia piccoli impulsi di corrente di moto per mantenere il flywheel sotto carica.

Oltre alla corrente reale fornita dalla sorgente di ingresso, la corrente di carico conta due componenti aggiuntive: la corrente reattiva e la corrente armonica, entrambe fornite dall'inverter impianto. Poiché queste componenti non forniscono alcuna potenza alla corrente di carico totale, il flywheel non consuma alcuna energia per distribuirle. Esse circolano tra il convertitore impianto e il carico. I comandi dello stadio di potenza analizzano i requisiti della corrente armonica del carico, innescando gli IGBT per far sì che l'inverter impianto assuma il ruolo di sorgente d'impedenza molto bassa per le eventuali correnti armoniche presenti. Pertanto, il convertitore impianto fornisce quasi interamente correnti di carico altamente non lineari, influenzando minimamente sulla trasmissione delle correnti armoniche del carico all'ingresso dell'UPS. Qualora le correnti armoniche della corrente di carico subiscano un cambiamento, il gate del convertitore impianto viene commutato per fornire l'annullamento dinamico delle armoniche del carico variabile.

Poiché il convertitore impianto fornisce le componenti armonica e reattiva della corrente di carico, il fattore di potenza del carico influisce minimamente sul fattore di potenza di ingresso. La quantità di corrente reattiva sull'ingresso è determinato quasi interamente dalla differenza tra il valore quadratico medio (RMS) della tensione d'ingresso reale e l'RMS della tensione nominale. Alla tensione nominale, il fattore di potenza d'ingresso è un'unità, indipendentemente dal fattore di potenza del carico. Per correggere una data deviazione superiore o inferiore alla tensione nominale d'ingresso, è necessario che una quantità specifica di corrente (rispettivamente in ritardo o in anticipo) passi tra l'ingresso e il convertitore impianto. Poiché il fattore di potenza di ingresso è dato dal rapporto tra corrente reale e corrente totale, il fattore di potenza di

ingresso dipende dalle quantità di correnti reattiva e reale. Pertanto, il fattore di potenza di ingresso è una funzione della deviazione dalla tensione nominale d'ingresso e dalla potenza di carico (kW). Con carichi leggeri, per una data deviazione della tensione d'ingresso la corrente totale sarà inferiore mentre la corrente reattiva resta invariata. Pertanto, il fattore di potenza di ingresso ha una portata più ampia su carichi parziali, ma resta in anticipo per le basse tensioni e in ritardo per le alte tensioni. Queste caratteristiche del fattore di potenza di ingresso sono molto più desiderabili delle caratteristiche normali delle unità UPS a doppia conversione tradizionali, poiché non interferiscono con la regolazione della tensione dei gruppi di generatori. Di fatto esse sono utili per regolare la tensione nei gruppi di generatori. La corrente in anticipo aiuta il generatore ad aumentare la propria tensione quando è bassa, mentre la corrente in ritardo lo aiuta a ridurre la propria tensione quando è alta. A confronto, il tipico UPS a doppia conversione è caratterizzato da un fattore di potenza d'ingresso molto in anticipo sui carichi leggeri, indipendentemente da una tensione d'ingresso alta o bassa. Durante l'avviamento progressivo dell'UPS, dopo il trasferimento su potenza di standby la corrente in anticipo può provocare l'aumento oltre i livelli accettabili della tensione d'uscita del generatore e l'arresto dei generatori con motore.

Modalità di scarica

L'UPS rileva eventuali deviazioni dalle tolleranze di tensione o frequenza programmate, e si scollega rapidamente dalla fonte di alimentazione disattivando il sezionatore statico e aprendo il contattore d'ingresso. Nella maggior parte dei casi l'UPS si scollega istantaneamente, e comunque sempre in meno di mezzo ciclo. Allo stesso tempo, il convertitore impianto comincia a distribuire potenza dal bus CC al conduttore, mentre il convertitore del flywheel modifica il punto d'innescio dei propri IGBT alla potenza distribuita dal convertitore impianto attraverso il bus CC. L'UPS mantiene la tensione d'uscita pulita per il carico. Il transiente di tensione d'uscita causato da perdita e ritorno di tensione d'ingresso è inferiore al 3 per cento a pieno carico.

L'UPS impiega diverse tecniche per rilevare rapidamente le interruzioni di rete. Il primo metodo consiste nell'identificare il valore quadratico medio (RMS) della tensione. A ogni quinto ciclo viene calcolato l'RMS della tensione di ingresso in base a 334 campioni prelevati durante un ciclo completo della tensione di ingresso. Se l'RMS della tensione di ingresso devia dal valore nominale oltre il limite programmato per l'UPS, questo si scollega dall'ingresso e attiva la modalità di scarica. Il rilevamento dell'RMS della tensione è efficace nel caso di variazioni relativamente lente della tensione di ingresso.

L'UPS rileva inoltre eventuali transienti della tensione di ingresso prelevando campioni di tale tensione ogni 50 microsecondi e confrontandoli con i punti corrispondenti di un'onda sinusoidale che ha un valore RMS pari alla precedente misurazione dell'RMS della tensione di ingresso. Se il campione si discosta dall'onda sinusoidale memorizzata di un valore superiore a quello programmato nell'UPS, questo si scollega dalla fonte d'ingresso e attiva la modalità di scarica. Il rilevamento dei transienti avviene molto velocemente. Il ritardo totale tra il prelievo dei campioni della tensione d'ingresso e il processo di scarica del flywheel è circa 500 microsecondi.

Il terzo metodo di rilevamento di un'interruzione di rete è la variazione nella tensione del bus CC. In alcuni casi, la tensione di ingresso sembra mantenersi nominale, ma l'UPS non riesce a essere alimentato dalla sorgente d'ingresso. In questi casi, la tensione del bus CC comincia a decadere immediatamente. Una riduzione della tensione CC superiore alla soglia preprogrammata innesca il trasferimento alla modalità di scarica. L'ultimo metodo per rilevare un guasto d'ingresso è costituito dal confronto tra frequenza d'ingresso e frequenza nominale.

La misurazione della frequenza e il confronto sono eseguiti a ogni ciclo, raffrontando il periodo intercorso tra gli attraversamenti dello zero con pendenza positiva e il periodo con frequenza nominale. Questa combinazione di metodi garantisce che l'UPS sia sempre in grado di rilevare un'interruzione della potenza d'ingresso, scaricando il flywheel prima che la tensione d'uscita subisca conseguenze.

Modalità di ricarica

Ripristinata la potenza d'ingresso a limiti accettabili, l'UPS sincronizza le tensioni d'uscita e d'ingresso, chiude il contattore d'ingresso e attiva il sezionatore statico. Il convertitore impianto trasferisce progressivamente la potenza dal flywheel alla sorgente d'ingresso, incrementando linearmente la corrente d'ingresso reale. Il tempo di aumento graduale è programmabile da uno a 15 secondi. Non appena la potenza di carico è stata completamente trasferita, il convertitore impianto e il convertitore del flywheel avviano la ricarica del flywheel e il ripristino alle normali condizioni di funzionamento. La potenza di ricarica è programmabile tra 33 kW e 70 kW. La potenza massima di ricarica causa un aumento di 85 ampere della corrente d'ingresso dell'UPS. Il processo di ricarica viene completato controllando i convertitori impianto e flywheel, similmente al metodo utilizzato per mantenere la piena carica in condizioni normali di funzionamento, ma i punti di controllo con gate degli IGBT vengono variati per incrementare la corrente nel flywheel.

MESSA IN PARALLELO DEGLI STATI DI POTENZA

I moduli MPS utilizzano più stadi di potenza che operano in parallelo, come mostrato nella figura 3. Ciascuno stadio di potenza contiene una serie completa di controlli in parallelo, mentre le comunicazioni tra stadi vengono instradate attraverso bus seriali ridondanti. In condizioni normali di funzionamento, la potenza reale viene condivisa tra gli stadi grazie al semplice accorgimento di costruire tutti gli induttori lineari nello stesso modo. La corrente reattiva viene condivisa monitorando la corrente CA del convertitore impianto in ciascun stadio di potenza e abbinando ogni corrente alla media di tutti gli stadi. Lo sbilanciamento massimo consentito tra gli stadi di potenza è inferiore al 5 per cento.

In modalità di scarica, gli angoli e le ampiezze di fase di tutti i convertitori impianto sono abbinati al valore medio, e ciò permette di bilanciare le correnti reale e reattiva tra gli stadi di potenza e di garantire che la frequenza di uscita resti costante.

RIDONDANZA N+1

Tutti i moduli MPS possono essere equipaggiati con uno stadio di potenza ridondante. Tra un sistema MPS N+1 e un sistema non ridondante di dimensioni superiori non esiste alcuna differenza hardware. Ad esempio, un UPS N+1 da 300 kVA e un UPS di piena potenza da 600 kVA impiegano hardware identici. In una configurazione N+1, uno degli stadi di potenza opera diversamente dagli altri. Se gli stadi di potenza di un sistema N+1 avessero tutti le stesse modalità operative, l'UPS si comporterebbe come un modulo UPS di capacità superiore che opera a carico ridotto. La corrente reattiva dovrebbe essere fornita attraverso tutti gli induttori lineari N+1 per regolare la tensione del carico. La corrente supplementare che passa attraverso l'induttore lineare aggiuntivo ha effetti sull'efficienza, la corrente d'ingresso e il fattore di potenza di ingresso. Per evitare questi effetti, lo stadio di potenza ridondante viene utilizzato con il sezionatore statico aperto. Pertanto, per l'assenza di flusso di corrente attraverso l'induttore

lineare dello stadio di potenza ridondante, non è necessario fornire alcuna corrente aggiuntiva per regolare la tensione attraverso l'induttore stesso. Il flywheel ridondante viene caricato come gli altri utilizzando la potenza proveniente dal bus di potenza d'uscita, invece del sezionatore statico e dell'induttore di linea in dotazione.

Il flywheel ridondante viene scaricato all'unisono con gli altri, condividendo la potenza equamente e proporzionalmente ed estendendo il tempo di superamento dell'UPS. Il convertitore impianto ridondante condivide la corrente reattiva con gli altri stadi e fornisce la corrente di regolazione della tensione attraverso gli induttori lineari degli altri stadi e le correnti reattiva e armonica del carico. Ciò riduce proporzionalmente la quantità di corrente che deve essere fornita dagli altri stadi di potenza. Infatti, l'intero stadio di potenza ridondante funziona come gli altri stadi di potenza, tranne per il sezionatore statico che resta aperto.

In caso di guasto di un qualsiasi stadio di potenza, lo stadio ridondante interviene in meno di 500 microsecondi attivando il proprio sezionatore statico. Al fine di garantire che l'unità ridondante sia sempre in grado di operare come stadio di potenza principale, gli stadi di potenza si avvicendano periodicamente nel ruolo di ridondante secondo un ordine preprogrammato. Il trasferimento dello stato di ridondanza da uno stadio di potenza all'altro viene eseguito in modalità a prova di guasto, chiudendo il commutatore statico dell'unità ridondante e monitorando la correttezza della funzionalità principale prima di cedere il ruolo a un altro stadio di potenza.

CONCLUSIONE

Le unità CleanSource UPS senza batterie offrono prestazioni UPS superiori e un'elevata reattività basandosi sulla tecnologia Line Interactive ad alta efficienza. L'unità UPS:

- Mantiene una potenza d'uscita di qualità eccellente per carichi non lineari e tradizionali, garantendo al contempo un basso livello di armoniche nella corrente d'ingresso
- Elimina la necessità di disporre di filtri d'ingresso
- Offre un fattore di potenza d'ingresso che contribuisce a regolare la tensione di rete a monte
- Si integra facilmente con i generatori con motore e si ricarica rapidamente

L'unità CleanSource UPS ha una struttura modulare facile da installare e mantenere, con possibilità di espansione sul campo e di ridondanza interna degli UPS economicamente vantaggiosa.