

Corso di ELETTRONICA INDUSTRIALE

“Introduzione al Corso”

L'elettronica nei processi industriali

Perchè è così importante?

- È un componente chiave nel controllo dei processi industriali moderni, causa aumento della produttività e miglioramento della qualità dei prodotti
- Gioca un ruolo importante nei sistemi di generazione dell'energia distribuiti e nell'integrazione delle sorgenti di energia rinnovabili
- Consente significativi risparmi energetici

- I processi di conversione dell'energia sono ad alta efficienza
- Le apparecchiature sono caratterizzate da basso costo, alta affidabilità e densità di volume e lunga vita

Elettronica industriale

La funzione dell'elettronica nei processi industriali è quella della conversione e del controllo della potenza elettrica, infatti nella maggioranza dei processi e azionamenti industriali è necessario fornire tensione elettrica caratterizzata da ampiezza e frequenza diverse da quelle rese disponibili dalla rete e regolabili.

Gli azionamenti a velocità variabile in particolare sono diventati sempre più frequenti perchè consentono un significativo risparmio di energia.

L'elettronica industriale è una materia interdisciplinare molto vasta che comprende l'elettronica di potenza, "motor drives", automazione, tecniche di controllo....

Questo corso tratta delle principali topologie circuitali e relativi componenti di base e delle strategie di controllo per la conversione di energia elettrica.

Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione elettrica, alimentatori regolati in continua e alternata

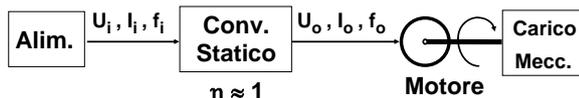


- Le grandezze elettriche erogate al carico hanno caratteristiche di ampiezza e frequenza diverse da quelle dell'alimentazione
- Il convertitore statico ha rendimento molto alto poiché è realizzato con componenti a basse perdite

Elettronica Industriale

Conversione di energia

- Conversione elettrica
- Conversione elettro-meccanica → Azionamenti



- La grandezza di uscita è meccanica (coppia, velocità, posizione)
- Il convertitore statico eroga le tensioni e le correnti opportune (in ampiezza, fase e frequenza) per controllare il motore

Elettronica Industriale

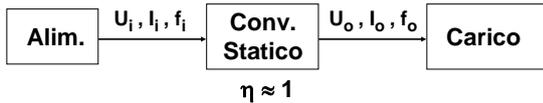
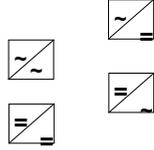
Conversione di energia

- Conversione elettrica
- Conversione elettro-meccanica
- Altre conversioni:
 - elettro-termica (trattamenti termici: fusione, tempratura, ecc.)
 - elettro-chimica (processi elettrochimici: elettrolisi, elettrodeposizione, ecc.)
 - elettro-luminosa (regolazione luminosa, alimentazione di lampade fluorescenti, ecc.)

Tipi di convertitori

- Per le conversioni di energia si usano prevalentemente convertitori statici:

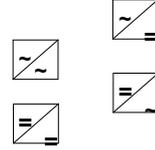
- ca/cc → raddrizzatori
- ca/ca
- cc/ca → invertitori
- cc/cc



Tipi di convertitori

- Per le conversioni di energia si usano prevalentemente convertitori statici:

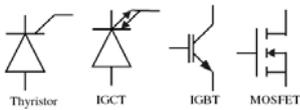
- ca/cc → raddrizzatori
- ca/ca
- cc/ca → invertitori
- cc/cc



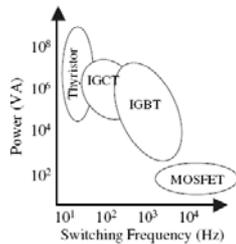
- Tutti i convertitori impiegano interruttori elettronici che consentono elevata velocità di operazione e buon rendimento energetico

Semiconduttori di potenza

Principali semiconduttori di potenza



Prestazioni



Settori di innovazione tecnologica

Negli anni recenti vi sono state molte innovazioni nel campo dei:

- SEMICONDUTTORI DI POTENZA VELOCI
- TECNICHE DI CONTROLLO "REAL TIME"
- topologie circuitali di sistemi di convertitori dell'energia
- tecniche di analisi e di simulazione numerica
- macchine elettriche e drives



Queste innovazioni hanno prodotto un grande sviluppo della tecnologia dell'elettronica di potenza e "motor drives"



Grande proliferazione delle applicazioni di elettronica di potenza in tutti i settori: industriale, commerciale, residenziale, energetico, aerospaziale, militare, trasporti...

Settori di innovazione tecnologica SEMICONDUTTORI DI POTENZA



Settori di innovazione tecnologica

Orientamento e sviluppo dei semiconduttori di potenza

- Graduale obsolescenza dei dispositivi a controllo di fase (tiristori e triac)
- Dominio dei semiconduttori con controllo di gate isolato (IGBT, Power Mosfet)
- Graduale obsolescenza dei GTO (Sostituiti dagli IGBT - potenza inferiore ed IGCT - potenza superiore)
- Riduzione delle cadute di tensione in conduzione nei power mosfet ed IGBT
- Sviluppo di componenti silicon carbide (bassissima V_{on}) che causeranno una nuova rivoluzione nel settore

Settori di innovazione tecnologica

CONTROLLORI

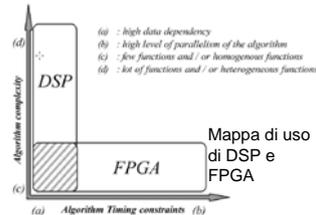
I progressi veloci delle tecnologie di integrazione su larga scala (VLSI) e delle tecniche di progettazione elettronica hanno consentito lo sviluppo di controllori complessi e di elevate performance per l'elettronica industriale.

Le prestazioni di velocità dei componenti elettronici e la flessibilità di programmazione consentono enormi opportunità di implementare tecniche di controllo digitale nei sistemi di controllo industriale.

Soluzioni software: microcontrollori o DSP (Digital Signal Processing)

Soluzioni hardware: Field Programmable Logic Arrays (FPGA)

Per il progetto di controllori per sistemi elettrici si possono in generale scegliere entrambe le soluzioni come indicato in figura dall'area tratteggiata in verde



Settori di impiego

• Alimentatori

- circuiti elettronici
- lampade
- riscaldamento elettrico
- impianti elettrochimici

Settori di impiego

- Alimentatori
- Interfacce di rete
 - rifasamento statico
 - correzione attiva del fattore di potenza
 - convertitori di frequenza
 - filtri attivi

Settori di impiego

- Alimentatori
- Interfacce di rete
- Azionamenti
 - applicazioni industriali
 - laminatoi
 - trafilati
 - continue per carta, plastica, tessuti, ...
 - macchine utensili (torni, frese, ecc.)
 - macchine operatrici (aspi, nastri trasportatori, fusi, ...)

Settori di impiego

- Alimentatori
- Interfacce di rete
- Azionamenti
 - applicazioni industriali
 - applicazioni civili
 - elettrodomestici (utensili, lavatrici, lavastoviglie, rasoi, phon, ecc.)
 - ambiente (ventilazione, condizionamento, riscaldamento, pompe, ecc.)
 - consumer (CD, registratori, telecamere, ecc.)

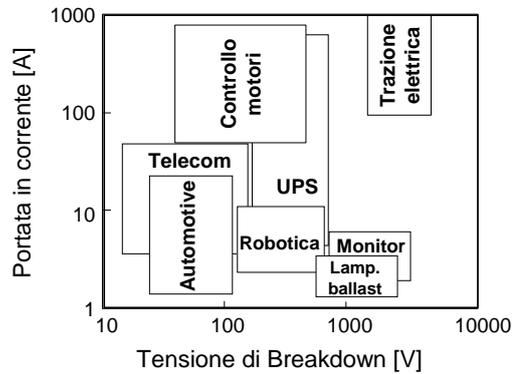
Settori di impiego

- Alimentatori
- Interfacce di rete
- Azionamenti
 - applicazioni industriali
 - applicazioni civili
 - applicazioni per trazione
 - treni, metropolitane, filobus
 - ascensori e montacarichi
 - carri ponte e gru
 - funivie, cabinovie, skilift
 - autoveicoli elettrici

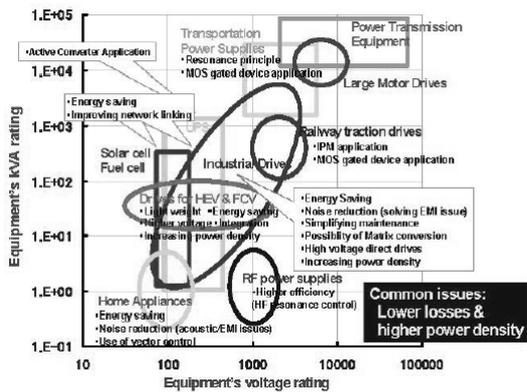
Settori di impiego

- Alimentatori
- Interfacce di rete
- Azionamenti
- Generazione, trasmissione e distribuzione dell'energia
 - Conversione fotovoltaica e celle a combustibile
 - Trasmissione dell'energia in continua ad altissima tensione (HVDC)
 - Integrazione di sorgenti di energia rinnovabile nella rete elettrica
 - Regolazione dell'energia nei motori ibridi

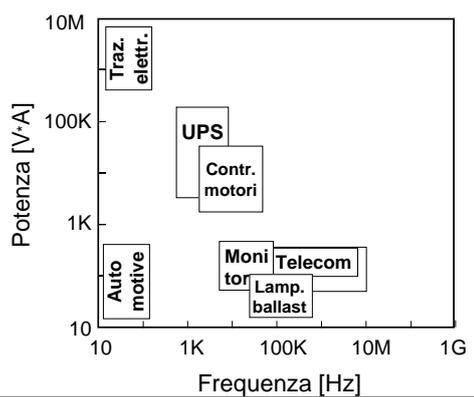
INTERVALLI DI TENSIONI E CORRENTI TIPICI DI ALCUNI SETTORI DI IMPIEGO



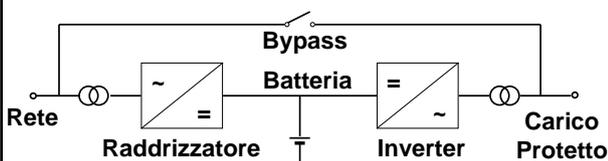
Mapa di applicazione di diverse apparecchiature di potenza e relativo dimensionamento in potenza (dati 2007)



INTERVALLI DI POTENZE E FREQUENZE TIPICI DI ALCUNI SETTORI DI IMPIEGO

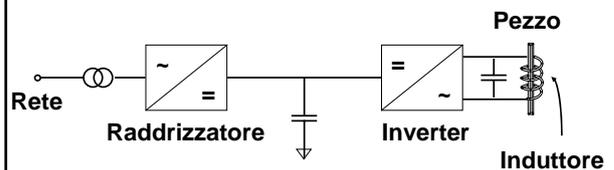


Esempio di applicazione: Gruppo di continuità (UPS, Uninterruptible Power Supply)



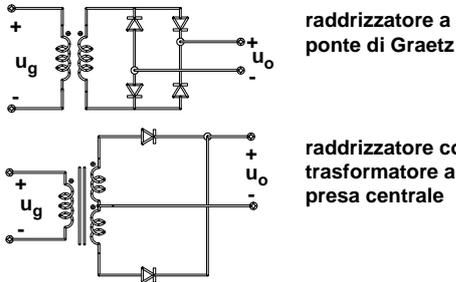
- Il carico viene alimentato anche in assenza di rete prelevando energia dalla batteria
- L'inverter fornisce tensioni molto stabili in frequenza, ampiezza e forma d'onda
- Il bypass consente l'alimentazione diretta dalla rete in caso di guasto dell'inverter o sovraccarico

Esempio di applicazione: Forno ad induzione

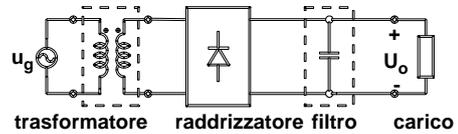


- L'inverter genera una corrente ad AF nell'induttore
- Il pezzo metallico viene riscaldato dalle correnti di Foucault
- Lo spessore del trattamento termico dipende dalla frequenza della corrente impressa nell'induttore
- Il carico induttivo viene rifasato capacitivamente (inverter con carico risonante)

**Struttura del raddrizzatore
(a doppia semionda)**



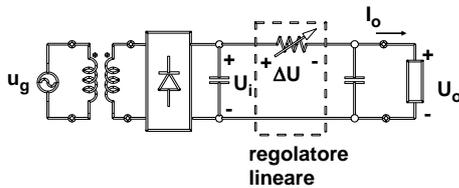
Schema generale di un alimentatore di tensione non regolato



Caratteristiche dell'alimentatore non regolato

- Rendimento elevato
- Tensione di uscita non regolata
 - varia se u_g varia (+10%, -20%)
 - dipende dal carico
- Corrente d'ingresso deformata
- Trasformatore a 50Hz (ingombrante e costoso)

Alimentatore di tensione con regolatore lineare



Caratteristiche

- Uscita stabilizzata ad un valore fisso
- Semplice ed economico (IC commerciali)
- Rendimento basso (regolatore dissipativo)
 - $\Delta U = U_i - U_o > 3V$
 - $P_d = \Delta U I_o$ é proporzionale a I_o
- Utilizzabile per piccole potenze di uscita

Esempio

Specifiche:

$$U_g = 220V_{rms} \pm 20\%$$

$$U_o = 12V$$

$$I_o = 1A$$

Esempio

Scelta del rapporto spire $\frac{N_1}{N_2}$ del trasformatore

$$U_{imin} = U_o + \Delta U_{min} = 12 + 3 = 15 V$$

$$U_{imin} \cong \sqrt{2} \cdot U_{gmin} \cdot \frac{N_2}{N_1}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{\sqrt{2} \cdot 0.8 \cdot 220}{15} \longrightarrow \frac{N_1}{N_2} = 16$$

Esempio

$$U_i \cong U_g \cdot \sqrt{2} \cdot \frac{N_2}{N_1} = 19V \pm 20\% \cong 15 \div 23 V$$

$$\Delta U = U_i - U_o = 3 \div 11V$$

$$P_d = \Delta U \cdot I_o = 3 \div 11W$$

$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_d} = 77 \div 54\%$$

Limitazione della temperatura dei componenti

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

R_{th} dipende da

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

R_{th} dipende da $\begin{cases} \nearrow \text{ contenitore} \\ \rightarrow \end{cases}$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

R_{th} dipende da $\begin{cases} \nearrow \text{ contenitore} \\ \rightarrow \text{ dissipatore} \end{cases}$

Limitazione della temperatura dei componenti

$$P_d \cdot R_{th} = \Delta T$$

P_d = potenza dissipata

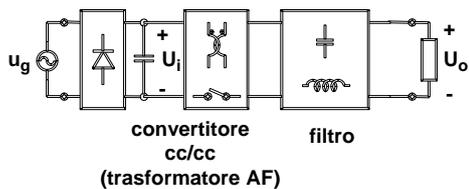
R_{th} = resistenza termica

ΔT = sovratemperatura = $T_{componente} - T_{ambiente}$

$$T_{componente} \leq T_{max} (125 - 150 \text{ } ^\circ\text{C})$$

R_{th} dipende da $\begin{cases} \nearrow \text{ contenitore} \\ \rightarrow \text{ dissipatore} \\ \searrow \text{ refrigerazione} \end{cases}$

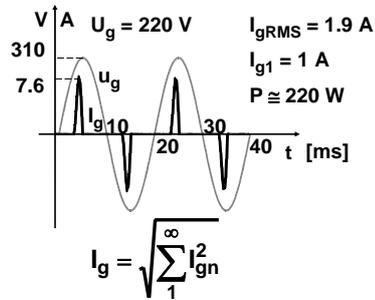
Alimentatore con regolatore switching
(Switched Mode Power Supply, SMPS)



Caratteristiche

- Manca il trasformatore a 50Hz
- Tensione d'uscita stabilizzata e regolabile
- Rendimento elevato
- Trasformatore ad AF (piccolo ed economico)
- Un solo convertitore cc/cc può fornire più uscite isolate
- Utilizzabile per potenze anche elevate
- Circuito complesso

Forme d'onda tipiche dei raddrizzatori a diodi



Impatto sulla rete

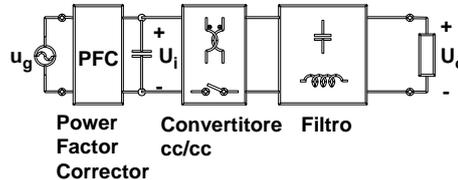
Distorsione armonica totale (Total Harmonic Distortion, THD)

$$THD = \frac{I_{g\text{armoniche}}}{I_{g1}} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} I_{gn}^2}}{I_{g1}} = 1.61$$

Fattore di potenza (Power Factor, PF)

$$PF = \frac{\text{potenza attiva}}{\text{potenza apparente}} = \frac{U_g \cdot I_{g1} \cdot \cos\phi_1}{U_g \cdot I_g} = 0.53$$

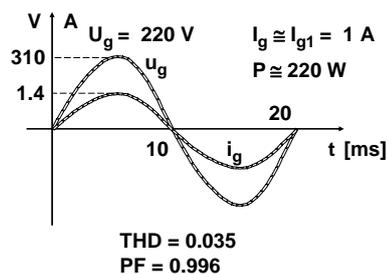
Alimentatore con Power Factor Corrector



Caratteristiche del PFC

- Migliora il comportamento lato rete
 - riduce la distorsione armonica
 - aumenta il fattore di potenza
- Richiede uno stadio switching anche in ingresso
 - abbassa il rendimento
 - complica il circuito
- Può essere necessario per garantire la conformità alle normative che limitano l'emissione armonica

Forme d'onda tipiche dei Power Factor Corrector



Conclusioni

Principali problematiche degli alimentatori elettronici

- Rendimento e dissipazione di potenza
- Ingombro e peso
- Impatto sulla rete di alimentazione
- Impatto sull'ambiente (EMC)
- Costo
- Costo
- Costo