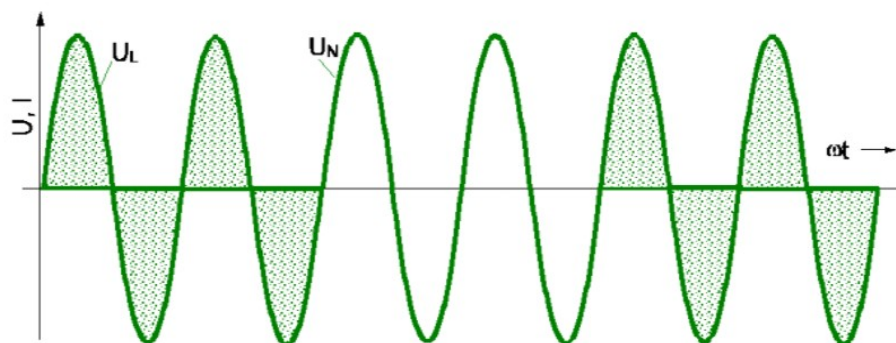
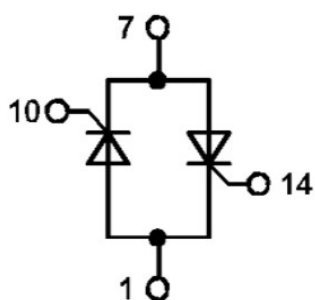
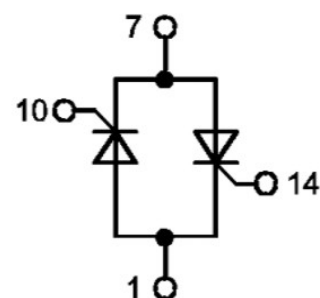
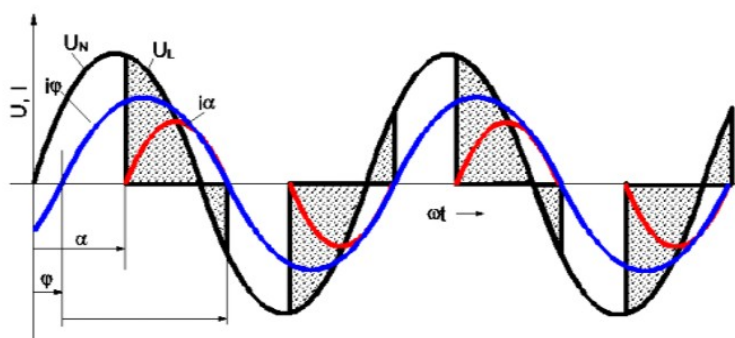


Regolatori di potenza a tiristori

Progettazione e utilizzo



REO ITALIA SRL
Via Tre Ponti, 29
25086 Rezzato (BS)
Tel. 030 2793883
Fax 030 2490600
<http://www.reoitalia.it>
E-mail: info@reoitalia.it

Premessa

Questo documento è stato scritto allo scopo di rendere familiare all'utilizzatore l'argomento regolatori di potenza senza addentrarsi eccessivamente negli aspetti teorici e di costituire un riferimento per poter effettuare con certezza la scelta del tipo di regolatore di potenza corretto. Il documento si basa su domande che si presentano nella pratica e vuole essere un supporto efficace in fase di progettazione e di messa in servizio.

Indice

1	Generalità sui tiristori	2
1.1	Generalità sul funzionamento e utilizzo dei convertitori di potenza a tiristori	2
1.2	Modi di funzionamento	2
1.2.1	Controllo a parzializzazione di fase	2
1.2.2	Controllo a treni d'onda	3
1.3	Modi di regolazione	4
1.3.1	Regolazione di tensione	4
1.3.2	Regolazione di corrente	5
1.3.3	Regolazione di potenza	5
1.3.4	Funzionamento a valori imposti senza funzioni di regolazione	5
1.4	Ingressi, uscite e funzioni di controllo	6
1.4.1	Ingresso valore di riferimento	6
1.4.2	Uscite valori istantanei	6
1.4.3	Ingresso di abilitazione	6
1.4.4	Relais segnalazione anomalia / Relais di pronto per l'esercizio	6
1.4.5	Avviamento graduale	6
1.5	Interfacce	7
2	Suggerimenti per la progettazione	8
2.1	Determinazione del campo di regolazione e adattamento al carico	8
2.1.1	Casi particolari di apparecchiature di controllo con segnali dei valori istantanei esterni	8
2.1.2	Punti di misura dei valori istantanei	8
2.2	Carico induttivo (trasformatore)	9
2.3	Filtro di rete e soppressione dei radiodisturbi	9
2.4	Versioni	9
2.5	Dimensionamento dei regolatori di potenza nelle reti monofase e trifase	10
2.5.1	Funzionamento nelle reti monofase	10
2.5.2	Funzionamento nelle reti trifase	11
3	Avvertenze per l'installazione dei regolatori di potenza a tiristori	13
3.1	Protezioni	13
3.2	Dispositivi di interruzione in ingresso	13
3.3	Dispositivi di interruzione in uscita	13
3.4	Posizione di montaggio e condizioni climatiche	13
3.5	Linee di segnale	13
3.5.1	Valore di riferimento	13
3.5.2	Ingressi di controllo	13
3.5.3	Linee di controllo	14
4	Immunità ai disturbi	14
4.1	Messa a terra	14
4.2	Protezione contro i disturbi provenienti da altri componenti esterni e apparecchiature	14
5	Provvedimenti generali per la messa in servizio	15
5.1	Avvertenze per la sicurezza	15
5.1.1	Correnti di dispersione	15
5.1.2	Sequenza di accensione	15
5.2	Misurazioni e operazioni di impostazione	15
5.2.1	Messa in servizio in assenza di carico reale	15
5.2.2	Impostazione dei valori "Min / Max"	15
6	Definizioni	16

1 Generalità sui tiristori

Il tiristore è l'organo di regolazione intrinseco in un regolatore di potenza a tiristori e lavora in linea di principio come interruttore elettronico che adempie un processo di commutazione in ogni semionda della rete di alimentazione. Come nel caso dei diodi anche nel caso dei tiristori il flusso di corrente è possibile in una sola direzione (senso diretto dall'anodo al catodo). Contrariamente ai diodi, che conducono immediatamente in presenza di tensione U_{AK} positiva, i tiristori bloccano la corrente in senso diretto fintantoché non vengono fatti commutare o, come si dice, non vengono "innescati" attraverso un impulso di comando al gate. Una volta innescati, la corrente I fluisce fino a quando il suo valore non va sotto al valore della corrente di mantenimento (holding current), cosa che nei circuiti a corrente alternata corrisponde al passaggio per lo zero di una delle due semionde della rete. Per poter alimentare un carico in corrente alternata con tiristori, sono sempre necessari due tiristori per fase (uno per la semionda positiva, l'altro per la semionda negativa) collegati in antiparallelo.

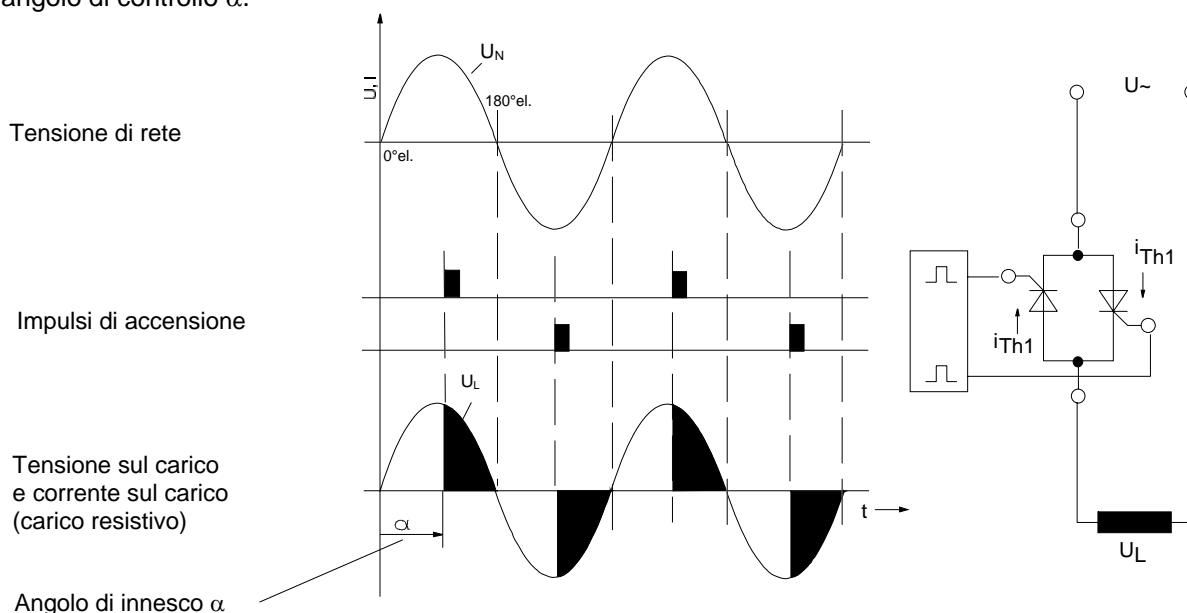
1.1 Generalità sul funzionamento e utilizzo dei convertitori di potenza a tiristori

1.2 Modi di funzionamento

Ci sono fondamentalmente due procedimenti per poter variare la potenza fornita a un utilizzatore in corrente alternata. Si differenzia qui tra il principio del controllo a parzializzazione di fase (o a taglio di fase) e il principio del controllo a treni d'onda (o a ciclo d'onda completo). La scelta del modo di funzionamento dipende essenzialmente dal tipo di carico e dalla dinamica di regolazione del sistema. A titolo di esempio il controllo a parzializzazione di fase viene impiegato dove sono richiesti processi di regolazione veloci come ad esempio negli azionamenti per ventilatori /pompe, regolatori di flusso luminoso ma anche nei processi termotecnici con elevata dinamica termica o elementi scaldanti con grandi variazioni del rapporto R_{freddo} / R_{caldo} . Per contro, il controllo a treni d'onda è adatto all'impiego in presenza di costanti di tempo termiche di valore elevato come ad esempio nel caso dei forni di fusione, forni industriali, etc. (costanti di tempo di temperatura elevate).

1.2.1 Controllo a parzializzazione di fase

Nel controllo a parzializzazione di fase il tiristore corrispondente viene nuovamente innescato in ogni semionda della rete per mezzo di un impulso di comando. La corrente attraverso ciascun tiristore scorre da questo istante di accensione fino al passaggio per lo zero naturale di ciascuna semionda sinusoidale. Spostando questo impulso di comando all'interno della semionda di tensione è possibile variare la tensione sul carico in modo praticamente continuo e in questo modo viene regolata la potenza trasferita al carico. Il campo di impostazione, nel quale l'impulso di tensione può essere spostato, si trova fra 0° el. e 180° el., dove 0° el. corrispondono al grado di pilotaggio massimo cioè alla piena tensione. Il punto di innesco (angolo di innesco) viene chiamato angolo di parzializzazione α o angolo di controllo α .



Andamento della tensione e della corrente nel pilotaggio con controllo a parzializzazione di fase

Questo modo di funzionamento è ugualmente adatto per l'impiego con carichi ohmici, ohmici-induttivi e induttivi.

I vantaggi di questo modo di funzionamento consistono nell'impostabilità in modo continuo, nella possibilità di dosaggio fine e nel rapido tempo di reazione del trasferimento di energia al carico.

Una limitazione dinamica della corrente è possibile solo con questo modo di funzionamento.

Gli svantaggi del controllo a parzializzazione di fase consistono nei rapidi fronti di salita delle semionde di rete tagliate e nei disturbi ad alta frequenza associati risultanti dalle armoniche che si presentano. Svantaggioso è anche l'insorgere di una potenza reattiva anche nel caso di carichi ohmici.

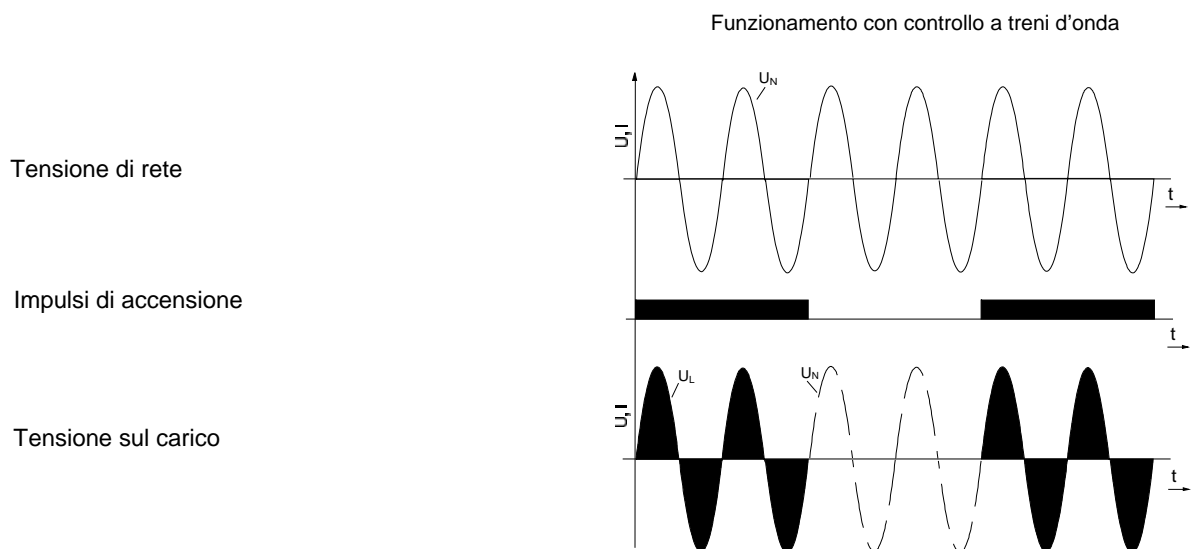
Per il rispetto delle prescrizioni EMC devono essere installati filtri idonei a monte dei convertitori di potenza con controllo a parzializzazione di fase. Questi filtri sono già in generale integrati nei convertitori a tiristori di piccola potenza mentre devono essere previsti come filtri esterni collegati a monte dei convertitori a tiristori nel caso di potenze elevate.

1.2.2 Controllo a treni d'onda

Nel modo di funzionamento con controllo a treni d'onda (o controllo a ciclo d'onda completo) vengono fatte passare semionde di rete complete come "pacchetti d'onda" con pause corte o più lunghe. Il valore della potenza viene fornito per mezzo del rapporto di inserzione (duty-cycle), tempo di inserzione su tempo di disinserzione. A causa della durata fissa del periodo della frequenza di rete data si ha allora un limite nel dosaggio della potenza al carico e quindi anche nella dinamica dell'intero sistema.

Vantaggioso è, nel controllo a treni d'onda, che la corrente nel carico è puramente sinusoidale e quindi non vengono generate armoniche e (con carico ohmico) non insorge potenza reattiva. Anche i disturbi a radiofrequenza sono minimi poiché i tiristori vengono innescati in corrispondenza del passaggio per lo zero della tensione.

Svantaggioso è che, a causa della sollecitazione ciclica sulla rete, possono insorgere nelle reti deboli fluttuazioni di tensione che possono portare ad esempio negli impianti di illuminazione a fastidiose fluttuazioni del flusso luminoso (flicker di tensione).

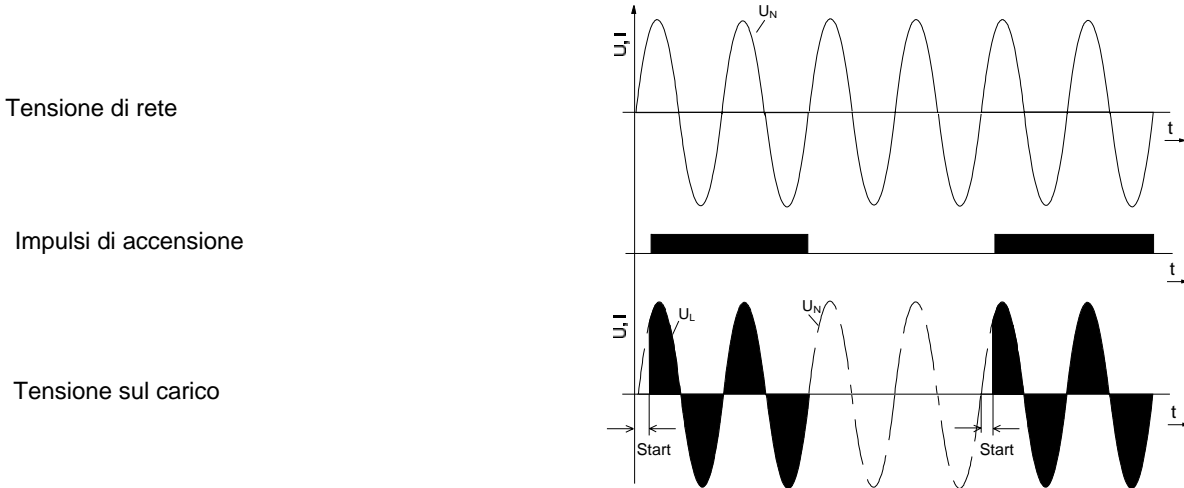


$$\text{Potenza } P = \frac{P_{\max} \cdot T_{\text{ein}}}{T} \quad \text{dove } T_{\text{ein}} = \text{tempo d'inserzione, } T = \text{durata del periodo}$$

L'inserzione diretta con ogni ciclo limita normalmente questo modo di funzionamento alle applicazioni con carichi resistivi poiché in presenza di utilizzatori induttivi (ad es. trasformatori) o di carichi con elevata differenza $R_{\text{freddo}} / R_{\text{caldo}}$ (ad es. proiettori a infrarossi) si avrebbero elevate correnti di inserzione ad ogni inserzione. Per poter utilizzare il controllo a treni d'onda anche in queste situazioni, vi è la possibilità, con l'impiego dei regolatori di potenza REOTRON MEW, di tagliare ciascuna prima se-

monda a 60° el. (impostabile tra 0° el. e 90° el.) per limitare la corrente di inserzione attraverso la tensione così diminuita.

Funzionamento con controllo a treni d'onda



Con i regolatori di potenza REOTRON serie MEW si può scegliere fra due modalità di funzionamento con controllo a treni d'onda:

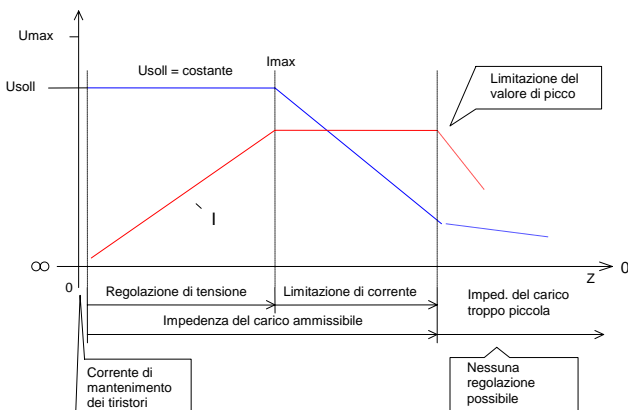
- Durata del periodo fissa con cicli di commutazione lunghi di durata 5000 ms
- Tempo di ciclo variabile con differenti tempi di inserzione e disinserzione in base al valore di riferimento e della grandezza manipolata (senza taglio della prima semionda).

1.3 Modi di regolazione

I regolatori di potenza REOTRON sono di solito equipaggiati con regolatori di tensione, di corrente e di potenza. Nella combinazione regolatore di corrente / regolatore di tensione, avviene un cambio automatico. I valori istantanei vengono prelevati internamente all'apparecchiatura e vengono riportati al circuito di controllo. E' anche possibile il collegamento di valori istantanei esterni (opzione o a scelta, a seconda del tipo di apparecchio). Per i valori di riferimento sono disponibili due ingressi. I valori di riferimento possono essere immessi per mezzo di un potenziometro (10 K), con una tensione di controllo 0...10 V, DC o con una corrente di controllo 0(4)...20 mA.

1.3.1 Regolazione di tensione

Qualora le apparecchiature debbano lavorare come puri regolatori di tensione, l'ingresso per il valore di riferimento deve essere ponticellato alla tensione di riferimento +10 V. E' allora attivo il limite massimo di corrente "Imax".



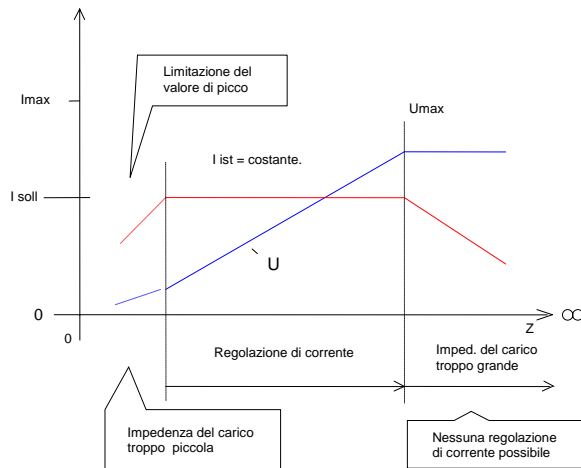
Il valore della tensione di riferimento fornisce l'ampiezza della tensione di uscita, 0...10 V corrisponde al valore 0...100% della tensione di uscita (100% è il valore impostato con "Umax"). Nella regolazione di tensione il valore della tensione di uscita corrispondente al valore di riferimento viene mantenuto costante fintantoché non si inserisce la limitazione di corrente. All'inserimento della limitazione di corrente la tensione di uscita viene abbassata in modo tale che la corrente di taglia ammissibile dell'apparecchio (oppure il valore I_{max} impostato) non venga superata.

Nel caso in cui l'impedenza del carico sia

così piccola che il regolatore di corrente non possa più trattare il valore di riferimento, interviene un limitatore del valore di picco che limita il valore di picco della corrente (valore istantaneo) al doppio della corrente di taglia (segnalazione anomalia "LOAD"). Il limitatore della corrente di picco rappresenta un'autoprotezione dell'apparecchiatura.

1.3.2 Regolazione di corrente

Nel funzionamento con regolazione di corrente, l'ingresso per il valore di riferimento della tensione deve essere ponticellato all'uscita di riferimento +10 V. In questo modo può essere utilizzato l'intero campo di tensione 0...100%. Il valore di riferimento della corrente fornisce l'ampiezza della corrente di uscita, 0...10 V corrisponde al valore 0...100% della corrente di uscita (100% è il valore impostato con "I_{max}").

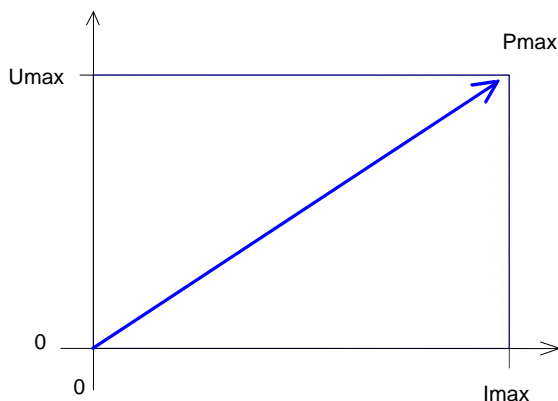


Tramite la variazione della tensione di uscita la corrente che scorre attraverso il carico viene mantenuta costante. Per questo motivo nella regolazione di corrente l'adattamento del carico è ancora più importante che nella regolazione di tensione. Cioè da una parte l'impedenza del carico non può essere così grande che la corrente non possa più scorrere e d'altra parte non deve essere così piccola che il rilevamento non sia più sicuro a causa dei picchi troppo elevati. Se l'impedenza del carico è così piccola che il regolatore di corrente non può più trattare il valore di riferimento, interviene un limitatore del valore di picco che limita il valore di picco della corrente (valore istantaneo) al doppio della corrente di taglia (segnalazione anomalia "LOAD"). Il limitatore della corrente di picco rappresenta un'autoprotezione dell'apparecchiatura.

Se l'impedenza del carico è così piccola che il regolatore di corrente non può più trattare il valore di riferimento, interviene un limitatore del valore di picco che limita il valore di picco della corrente (valore istantaneo) al doppio della corrente di taglia (segnalazione anomalia "LOAD"). Il limitatore della corrente di picco rappresenta un'autoprotezione dell'apparecchiatura.

1.3.3 Regolazione di potenza

Nella regolazione di potenza viene regolato il prodotto $I_{eff} \cdot U_{eff}$. Come ingresso per il valore di riferimento viene utilizzato l'ingresso che viene altrimenti assegnato al valore di riferimento della tensione. Il valore di riferimento della corrente viene ponticellato alla tensione di riferimento +10 V. I_{max} continua a essere impostabile (limitazione di corrente in cascata). L'ingresso per il valore di riferimento corrisponde al valore 0...100% della potenza di uscita dell'apparecchiatura. Il corretto adattamento del carico è molto importante nella regolazione di potenza poiché solamente con carico ottimale adattato si raggiunge la piena potenza di uscita dell'apparecchiatura.



Campo di impostazione della regolazione di potenza

$$P_{max} = I_{max} \cdot U_{max}$$

All'interno dell'area $U_{max} \cdot I_{max}$, può essere impostato qualunque valore di potenza parziale. Tanto peggiore è l'adattamento del carico, tanto più limitato è il campo di impostazione del valore di riferimento.

1.3.4 Funzionamento a valori imposti senza funzioni di regolazione

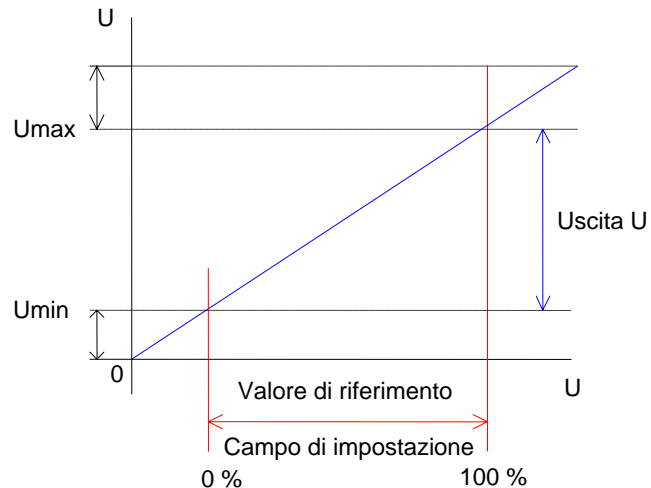
Nel cosiddetto funzionamento a valori imposti le apparecchiature lavorano senza alcuna funzione di regolazione e non è quindi presente neppure la funzione di limitazione della corrente. Questo modo di funzionamento è interessante per i lavori di messa in servizio se non ci si trova ancora davanti alle condizioni reali di carico ma debba essere effettuato un controllo funzionale del cablaggio e delle funzioni di comando e controllo. Possono così ad esempio essere effettuate prove per verificare se il circuito di azionamento e il circuito di carico lavorano insieme in modo stabile poiché l'apparecchiatura non esegue ora alcuna funzione di regolazione.

Non essendo però attive neppure le funzioni di protezione la corrente e la tensione devono essere tenute sotto controllo. Il funzionamento a valori imposti è impostabile tramite selettore o menu guidato.

1.4 Ingressi, uscite e funzioni di controllo

1.4.1 Ingresso valore di riferimento

I regolatori di potenza serie REOTRON vengono di solito comandati con potenziometri, tensioni di controllo 0...10 V, DC o correnti di controllo 0(4)...20 mA. Per il funzionamento con potenziometro è integrata nell'apparecchio una sorgente di tensione di riferimento + 10 V. Nell'utilizzo con corrente di controllo deve essere inserita una resistenza di shunt all'ingresso. Per poter effettuare un adattamento al carico (campo di regolazione utilizzabile), tramite le impostazioni dei potenziometri MIN e MAX può essere adattata la caratteristica di controllo del valore di riferimento. Con l'impostazione "MIN" può essere ad esempio realizzata l'impostazione del carico di base; il campo di regolazione influenza allora solamente una parte della potenza totale. L'impostazione "MAX" limita la potenza totale e limita il campo di impostazione.



1.4.2 Uscite valori istantanei

Per il collegamento di strumenti di misura esterni o di dispositivi di sorveglianza, a seconda del tipo di apparecchio sono disponibili uscite per i valori istantanei di corrente e di tensione. Le uscite forniscono ciascuna una tensione 0...10 V, DC che corrispondono ai valori efficaci 0...100 %.

1.4.3 Ingresso di abilitazione

L'ingresso di abilitazione serve per l'attivazione e la disattivazione (comando in assenza di potenza) dell'uscita dell'apparecchiatura. Nello stato di disattivazione dell'uscita, gli impulsi di accensione dei tiristori sono bloccati così come il regolatore e le rampe di salita sono impostate a "zero". Non essendo però in questo modo l'apparecchio isolato galvanicamente dalla rete, questa possibilità non sostituisce in nessun caso un dispositivo di interruzione a monte (contattore, interruttore o altro) per il distacco della tensione elettrica nel caso di lavori nell'impianto (v. VDE 0160/6.3.1).

L'ingresso viene comandato o con un contatto esterno (normalmente aperto) o con una tensione di controllo 24 V, DC. La chiusura del contatto o la presenza di tensione attivano l'apparecchiatura.

1.4.4 Relais segnalazione anomalia / Relais di pronto per l'esercizio

Per la segnalazione di eventuali anomalie, nella maggior parte dei regolatori di potenza REOTRON è disponibile un contatto di un relais (scambio). Nelle nuove generazioni di apparecchiature questo relais può lavorare sia come relais di segnalazione anomalia sia come relais di pronto per l'esercizio.

- **Relais segnalazione anomalia:** il relais si eccita quando si presenta un'anomalia.
- **Relais di pronto per l'esercizio:** il relais si eccita nel funzionamento normale e si diseccita quando si presenta un'anomalia (intrinsecamente sicuro); il relais si diseccita anche nel caso in cui l'apparecchio è senza tensione; l'analisi dello stato del contatto in seguito all'accensione dell'apparecchio può avvenire solamente dopo che è trascorso un tempo di ritardo pari a circa 5 secondi.

1.4.5 Avviamento graduale

Grazie alla funzione di avviamento graduale si ottiene che il carico non viene collegato brutalmente alla rete bensì viene portato in tensione in modo graduale partendo da "zero". In questo modo posso-

no essere collegati anche carichi con grandi differenze $R_{\text{freddo/caldo}}$ o carichi induttivi senza provocare colpi di corrente.

La durata dell'avviamento graduale (pendenza della "rampa di salita") è impostabile e può essere adattata alle diverse situazioni.

1.5 Interfacce

Nei nuovi impianti di processo e produzione le interfacce digitali diventano sempre più importanti, così ad esempio i sistemi con bus di campo seriali facilitano la comunicazione delle apparecchiature con i sistemi di controllo a livello più alto (PLC) e riducono i cablaggi per le funzioni di controllo talvolta in modo considerevole. Gli apparecchi della serie REOTRON MEW / MDW possono essere equipaggiati con le interfacce per bus di campo standard **INTERBUS-S** e **PROFIBUS-DP** e senza alcun problema possono essere così facilmente integrati in questo tipo di impianti ad elevato grado di automazione. La totalità dei comandi possono allora essere trasferiti attraverso queste interfacce. La parametrizzazione delle apparecchiature avviene direttamente sulle apparecchiature in fase di messa in servizio. Come interfaccia standard le apparecchiature possono essere equipaggiate anche con una comune **RS-485** e anche in questo caso il comando e controllo completo delle apparecchiature può avvenire tramite PC o PLC.

2 Suggerimenti per la progettazione

2.1 Determinazione del campo di regolazione e adattamento al carico

Il campo di regolazione deve essere determinato all'interno del campo nominale della tensione di ingresso tenendo conto delle fluttuazioni che si presentano. Cioè ad esempio il punto di funzionamento nominale di un regolatore di tensione alimentato con la tensione di rete a 400 V - tenendo conto di una tolleranza di fluttuazione ammissibile del +/-10% - dovrebbe al massimo giacere intorno ai 350 V (tolleranza di tensione, perdita di tensione nei semiconduttori).

Massimo valore della tensione sul carico

$$U_{LAST} = U_{NETZ} - U_{DIFF} - U_V$$

U_{LAST} = Tensione sul carico
 U_{NETZ} = Tensione di rete
 U_{DIFF} = Tolleranza di sottotensione
 U_V = Perdita di tensione

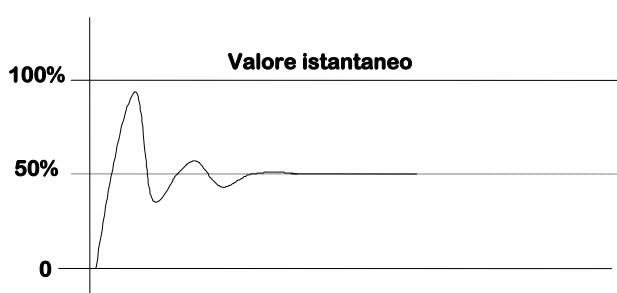
Il punto di funzionamento nominale del carico dovrebbe sempre essere tale per cui l'intero campo del valore di riferimento possa essere sfruttato. Cioè il carico deve per quanto possibile corrispondere ai dati di targa del regolatore di potenza a tiristori.

Nell'utilizzo come **regolatore di corrente** la corrente massima necessaria non dovrebbe rimanere al di sotto del 60% della corrente di targa del regolatore di potenza a tiristori.

Nell'utilizzo come **regolatore di potenza** l'adattamento al carico è di estrema importanza poiché la potenza massima del regolatore di potenza a tiristori può essere raggiunta solamente con la massima tensione e la massima corrente.

2.1.1 Casi particolari di apparecchiature di controllo con segnali dei valori istantanei esterni

Qualora nei sistemi di controllo vengano prelevati esternamente valori istantanei dall'impianto, cioè non internamente all'apparecchiatura di controllo stessa, allora ci si deve accertare che il massimo di tali valori giaccia in un intervallo ammissibile. Gli ingressi per i valori istantanei delle apparecchiature



di controllo ammettono solamente un valore di ampiezza limitato, che può essere trattato internamente. Questo limite è in generale paragonabile all'ampiezza della tensione di alimentazione interna per i circuiti elettronici. I valori istantanei prelevati devono quindi giacere con sicurezza - cioè anche nel caso di valori che sono al di sopra dei valori che devono essere regolati - all'interno dei limiti della tensione interna di alimentazione (in genere +/- 12 V).

Nella maggior parte dei casi per essere sicuri di

rimanere all'interno di un campo di sicurezza, il valore istantaneo che corrisponde al massimo valore di riferimento deve essere dimensionato al 50% del valore di ingresso ammissibile dell'ingresso del valore istantaneo. Solamente così si può essere sicuri che anche i valori istantanei che si trovano al di sopra del valore massimo possano essere opportunamente valutati.

2.1.2 Punti di misura dei valori istantanei

Importanti sono anche i punti di misura dei valori istantanei. In generale vale: il valore che deve essere regolato deve anche essere il valore istantaneo prelevato. Ciononostante nel caso di dipendenze fisse è possibile anche prelevare un valore equivalente come valore istantaneo. Nel caso ad esempio di un trasformatore a elevata corrente regolato lato primario - la cui corrente secondaria deve essere mantenuta costante - è possibile prelevare il valore istantaneo anche lato primario, se può essere accettata una imprecisione dovuta al rapporto di trasformazione del trasformatore. Nelle applicazioni in corrente alternata questa soluzione è pienamente soddisfacente nella maggior parte dei casi. Diversa è la situazione nella quale lato secondario del trasformatore viene utilizzato un raddrizzatore. A causa di ciò il raddrizzatore viene disaccoppiato dal lato primario del trasformatore, e le correnti che ad esempio scorrono nei rami di ricircolo a causa delle induttanze presenti, non vengono più rilevate lato primario. Qui deve essere prelevata la corrente continua reale.

2.2 Carico induttivo (trasformatore)

Nell'utilizzo dei regolatori di potenza con trasformatore collegato a valle è particolarmente importante porre attenzione al fatto che si possa presentare il caso di "funzionamento a vuoto" del trasformatore (senza carico secondario). Se si verifica questa situazione, a causa del valore limitato della corrente di magnetizzazione lato primario, si può andare al di sotto della corrente di mantenimento dei tiristori oppure non raggiungerla. Se in tale situazione i tiristori non si accendono tutti contemporaneamente a causa della dispersione di tipo, si perviene a una componente di corrente continua nel trasformatore, cosa che porta a elevate correnti di saturazione e può portare alla distruzione dei fusibili dei semiconduttori. In tali casi devono essere previsti opportuni **carichi di base** (resistenze) all'uscita dei regolatori di potenza a tiristori, che assicurano una accensione certa dei tiristori anche in assenza del carico normale. Valore di riferimento per il dimensionamento di una tale resistenza come carico di base è una corrente del carico di base di ca. 200 mA, potenza ca. 100 W.

2.3 Filtro di rete e soppressione dei radiodisturbi

Per il rispetto delle normative EMC in vigore, nell'utilizzo di regolatori di potenza con controllo a ritardo di fase devono essere installati filtri adatti a monte delle apparecchiature. Questi filtri sono in generale già integrati nelle apparecchiature di piccola potenza e devono essere installati esternamente a monte delle apparecchiature di potenza maggiore.

Negli impianti con più apparecchiature che generano disturbi può essere utilizzata la soppressione comune dei disturbi ma può essere anche impiegato un filtro per ogni apparecchio. I tipi di filtri adatti sono elencati nelle schede tecniche delle apparecchiature o vengono comunicati a richiesta.

Il filtro deve essere montato nelle immediate vicinanze del regolatore di potenza altrimenti l'effetto del filtro può essere fortemente pregiudicato.

2.4 Versioni

Le apparecchiature della serie REOTRON sono state concepite come apparecchiature da interno quadro. La protezione contro i contatti accidentali delle parti in tensione viene fornita grazie al contenitore e alle coperture (VBG 4). Le connessioni per i segnali di controllo non sono vincolate al potenziale della rete di alimentazione (separazione sicura fino a 400 V di tensione di alimentazione dell'apparecchiatura). Per mantenere una separazione sicura, tutti i circuiti collegati esternamente (in particolare nel caso di acquisizione di valori istantanei dall'esterno) devono altrettanto presentare una separazione sicura.

2.5 Dimensionamento dei regolatori di potenza nelle reti monofase e trifase

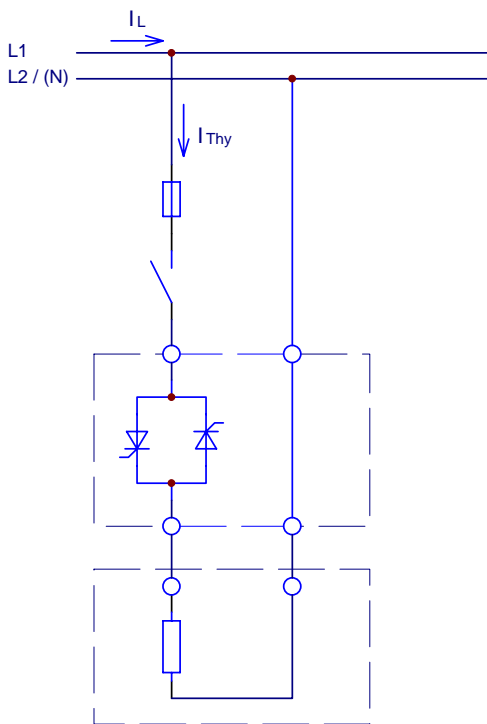
Definizioni:

U_L	= Tensione di linea (tensione concatenata)	= Tensione fra le fasi della linea
I_L	= Corrente di linea	= Corrente nella fase
U_N	= Tensione di fase (tensione stellata)	= Tensione fra una fase e il neutro
P_{ges}	= Potenza totale	= Potenza totale del carico
U_{Thy}	= Tensione sul regolatore di potenza a tiristori	
I_{Thy}	= Corrente nel regolatore di potenza a tiristori	

Dati di partenza sono una rete elettrica trifase con conduttore neutro con tensione di linea 3 x 400 V (3 ~ / N 400 / 230V, 50 Hz)

2.5.1 Funzionamento nelle reti monofase

I regolatori di potenza a tiristori per reti monofase possono essere fatti funzionare tra due fasi ad es. L1 + L2 in presenza di un carico a 400 V o tra una fase e il neutro in presenza di un carico a 230 V. Può essere utilizzato sia il modo di funzionamento con controllo a parzializzazione di fase sia il modo di funzionamento con controllo a treni d'onda.



Caso 1

Carico a 230 V – Funzionamento tra una fase e il neutro

$$I_L = I_{thy} \quad U_{Thy} = U_N$$

$$I_{Thy} = \frac{P_{ges}}{U_N} \quad (\text{carico ohmico})$$

Caso 2

Carico a 400 V - Funzionamento tra due fasi

$$I_L = I_{Thy} \quad U_{Thy} = U_L$$

$$I_{Thy} = \frac{P_{ges}}{U_L}$$

Vantaggi

A parità di corrente di taglia del regolatore di potenza può essere regolata una potenza di valore maggiore. Non scorre corrente attraverso il conduttore neutro.

La corrente I_{Thy} ricavata in questo modo deve giacere all'interno della corrente di taglia del regolatore di potenza a tiristori.

La tensione di funzionamento del regolatore di potenza a tiristori è uguale alla tensione del carico.

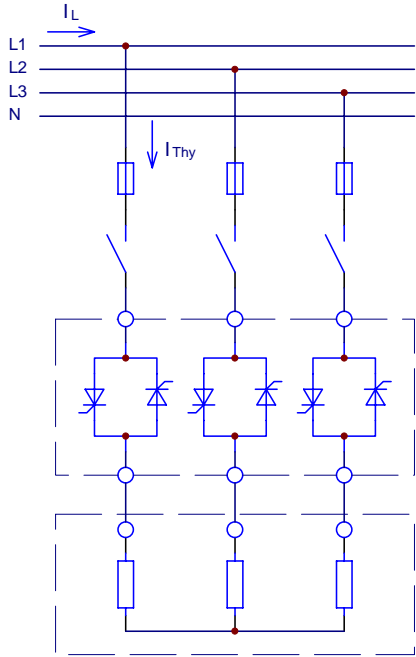
In presenza di carichi induttivi si deve tener conto del $\cos \varphi$.

2.5.2 Funzionamento nelle reti trifase

Il collegamento di un regolatore di potenza a tiristori nella rete trifase avviene alle fasi L1, L2, L3 e PE (GND, terra). A seconda della tensione ammissibile del carico, il carico può essere collegato in configurazione a stella o triangolo.

Sono possibili sia il controllo a parzializzazione di fase sia il controllo a treni d'onda.

2.5.2.1 Collegamento a stella con carico simmetrico



$$I_L = I_{Thy} \quad U_{Thy} = U_N$$

$$I_{Thy} = \frac{P_{ges}}{\sqrt{3} \cdot U_L} \text{ per carico ohmico}$$

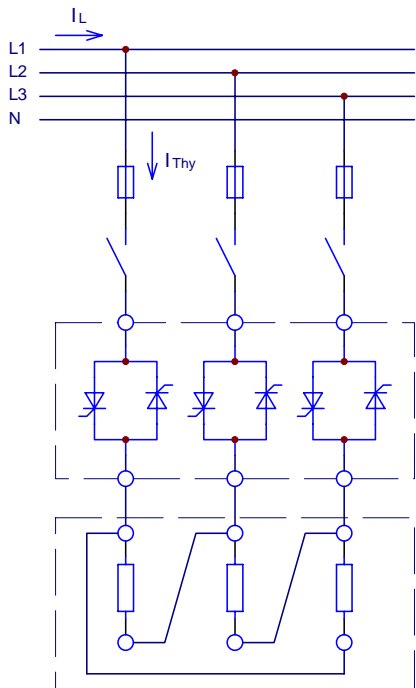
$$P_{ges} = I_L \cdot U_L \cdot \sqrt{3}$$

In presenza di carico induttivo si deve inoltre tener conto del $\cos \varphi$.

Se il conduttore neutro non viene collegato al carico, il regolatore di potenza a tiristori deve essere dimensionato per la tensione di linea.

La tensione applicata alle singole resistenze del carico è inferiore di un fattore 1,73 rispetto alla tensione di linea.

2.5.2.2 Collegamento a triangolo con carico simmetrico



$$I_L = I_{Thy} \quad U_{Thy} = U_L$$

$$I_{Thy} = \frac{P_{ges}}{\sqrt{3} \cdot U_L} \text{ per carico ohmico}$$

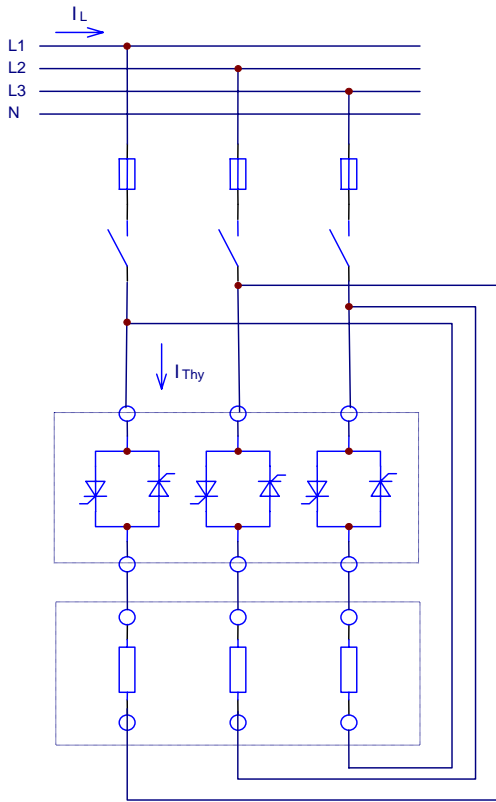
$$P_{ges} = I_L \cdot U_L \cdot \sqrt{3}$$

In presenza di carico induttivo si deve inoltre tener conto del $\cos \varphi$.

I regolatori di potenza a tiristori devono essere dimensionati per la tensione di linea.

La tensione applicata alle singole resistenze del carico è uguale alla tensione di linea.

2.5.2.3 Collegamento a triangolo aperto (collegamento a 6 conduttori)



$$I_L = 1,73 * I_{Thy} \qquad U_{Thy} = U_L$$

$$I_{Thy} = \frac{P_{ges}}{3 \cdot U_L} \text{ per carico ohmico}$$

$$P_{ges} = I_L \cdot U_L \cdot \sqrt{3}$$

In presenza di carico induttivo si deve inoltre tener conto del $\cos \varphi$.

Vantaggi

A pari valore di potenza del carico, la corrente che scorre nel regolatore di potenza a tiristori è di un fattore 1,73 più piccola rispetto a quella che scorre nel caso di collegamento a triangolo chiuso.

Svantaggi

Sono necessari 6 conduttori per collegare il carico.

3 Avvertenze per l'installazione dei regolatori di potenza a tiristori

3.1 Protezioni

In generale i regolatori di potenza a tiristori REOTRON contengono fusibili per i semiconduttori, che hanno lo scopo di proteggere dai guasti i semiconduttori di potenza (tiristori) nel caso di cortocircuiti lato uscita. Questi fusibili sono dimensionati per le correnti di picco ammissibili dei semiconduttori e **non** sostituiscono i fusibili per la protezione dai sovraccarichi e per la protezione dei cavi! Fusibili sono solo presenti nei percorsi di corrente con tiristori.

Fusibili contro i sovraccarichi, per la protezione dei cavi e contro i cortocircuiti verso terra devono essere previsti lato ingresso.

3.2 Dispositivi di interruzione in ingresso

Nel caso dei regolatori di potenza a tiristori previsti per l'installazione all'interno degli armadi elettrici, a causa della corrente (inversa) che circola nei tiristori anche nello stato di interdizione e del flusso di corrente attraverso il circuito di snubber, deve essere inserito un interruttore sezionatore a monte (VDE 0160/6.3.1). In questo modo l'apparecchiatura può essere separata dalla rete prima di accedervi intenzionalmente.

Poiché tutti i regolatori di potenza a tiristori REOTRON dispongono di ingressi di abilitazione, è possibile tener bloccati gli impulsi di accensione e quindi i tiristori fintantoché eventuali contattori di rete a monte non si siano chiusi con sicurezza ed è possibile bloccare nuovamente i tiristori prima della apertura dei contattori. Se gli ingressi di abilitazione vengono utilizzati in questo modo, ciò significa per il dimensionamento dei contattori una commutazione in assenza di corrente e quindi un dimensionamento in base alla categoria d'impiego AC1.

3.3 Dispositivi di interruzione in uscita

Deve essere evitato l'utilizzo di dispositivi di interruzione all'uscita dei regolatori di potenza a tiristori poiché i regolatori di potenza a tiristori non devono essere fatti funzionare in assenza di carico. Rilevatori di corrente o di tensione all'uscita dei regolatori di potenza a tiristori devono agire sui dispositivi di interruzione lato ingresso.

La commutazione in assenza di corrente all'uscita dei regolatori a tiristori (ad es. commutazione del carico) è però possibile sotto l'utilizzo dell'ingresso di abilitazione.

3.4 Posizione di montaggio e condizioni climatiche

La posizione di montaggio dovrebbe essere il più possibile libera da vibrazioni. Si deve inoltre osservare che durante il funzionamento dei regolatori di potenza si possono presentare elevate temperature dei dissipatori di calore. Per ottenere il raffreddamento ottimale le apparecchiature vanno sempre montate in modo tale che le alette del dissipatore siano disposte verticalmente. La temperatura ambiente ammissibile sotto il dissipatore dovrebbe rimanere nel campo 0°...+45°C. L'umidità relativa dell'aria ad un valore <75% senza formazione di condensa. Sotto le apparecchiature dovrebbe essere disponibile uno spazio di aria di almeno 100 mm e sopra di esse uno spazio di almeno 150 mm. Nel caso di più apparecchiature montate l'una accanto all'altra, la distanza a lato da osservare è quella riportata nelle istruzioni d'uso dell'apparecchio.

Per installazioni al di sopra dei 1000 m si deve tener conto di una riduzione di potenza di uscita pari allo 0.5% per ogni 100 m di altezza supplementare.

3.5 Linee di segnale

3.5.1 Valore di riferimento

Qualora i valori di riferimento vengano immessi in forma di tensione esterna (0...10 V) o di corrente esterna (0(4)...20 mA) si deve porre attenzione al fatto che i diversi dispositivi vengono collegati insieme l'un l'altro e per questo motivo devono avere lo stesso potenziale di riferimento. Se il potenziale di riferimento viene messo a terra, ciò dovrebbe essere fatto in un unico punto, in modo tale da evitare anelli di terra (loop) e possibili disturbi ad essi associati.

3.5.2 Ingressi di controllo

La maggior parte delle apparecchiature sono equipaggiate con ingressi di controllo non vincolati al potenziale di rete e possono essere pilotate direttamente da altre apparecchiature di controllo elettro-

niche. Si deve però verificare caso per caso se è necessaria una “separazione elettrica sicura” nel senso della VDE 0106 T. 101 (protezione contro le scosse elettriche pericolose) o una separazione di potenziale dal punto di vista tecnico.

In alcune apparecchiature, in particolare in quelle con microprocessore o con connessione per bus di campo, per motivi di immunità ai disturbi la massa dell’elettronica è collegata internamente con il conduttore di terra. In alcune circostanze questa situazione può portare a problemi nel caso di collegamento di valori istantanei esterni non separati oppure nel caso di utilizzo di un valore di riferimento 0...20 mA con più apparecchiature collegate in serie con lo stesso valore di riferimento.

3.5.3 Linee di controllo

Linee di controllo sono anche “antenne” per disturbi che vengono provocati da altre utenze. Cavi di potenza posati parallelamente a linee di controllo possono far accoppiare processi di commutazione in modo capacitivo o induttivo e possono generare disturbi come picchi di tensione. Per questo motivo in generale le linee di controllo e i cavi di potenza non dovrebbero essere adagiati assieme nello stesso canale per cavi. Poiché non è sempre possibile evitare questa situazione, ad esempio nel caso di piccoli armadi elettrici, le linee di controllo dovrebbero essere sempre costituite da cavi schermati. Conduttori particolarmente critici sono i cavi dei motori che vengono alimentati da un convertitore di frequenza o quelli nei quali si hanno frequenti processi di commutazione. Questi conduttori così come gli stessi convertitori di frequenza, dovrebbero essere tenuti alla massima distanza dalle linee di controllo. Lo schermo dei cavi di controllo deve essere collegato lato apparecchiatura ad una superficie la più grande possibile (piastra di montaggio messa a terra).

4 Immunità ai disturbi

4.1 Messa a terra

La messa a terra nell’utilizzo di apparecchiature elettroniche riveste particolare importanza per due aspetti fondamentali.

Da una parte deve essere naturalmente assicurata la sicurezza del personale che utilizza le apparecchiature o che ne esegue la manutenzione o la riparazione, dall’altra, poi, la corretta messa a terra gioca un ruolo fondamentale per il funzionamento affidabile delle apparecchiature. La messa a terra, cioè, deve essere eseguita sia come sistema di protezione conforme alle norme DIN sia anche come sistema di raccolta per i disturbi che si presentano durante il servizio. Il che vuol dire: le apparecchiature che ad esempio vengono collocate nell’armadio su un piano di montaggio, dovrebbero essere collegate con un collegamento di terra il più corto possibile alla terra con superficie la più ampia possibile, come ad esempio il piano di montaggio centrale messo a terra. Lo scopo di questi provvedimenti è quello di disperdere i disturbi a frequenza elevata, come ad esempio quelli che si verificano nei processi di commutazione in rete (contattori, interruttori, relais), prima che essi possano provocare malfunzionamenti. Se i cavi di terra sono lunghi e giacciono inoltre nelle stesse canaline assieme ad altri cavi, allora non sono adatti alla dispersione dei disturbi a frequenza elevata.

Tanto più complessa è l’apparecchiatura di controllo e più “intelligenti” sono le funzioni – e ciò vale in particolare nel caso di collegamenti di bus di campo seriali - tanto più è importante che la messa a terra venga eseguita a regola d’arte.

4.2 Protezione contro i disturbi provenienti da altri componenti esterni e apparecchiature

Contattori: generano in commutazione enormi disturbi (burst). Per questo motivo le bobine dei contattori devono essere collegate a gruppi RC. I costruttori di contattori offrono idonei gruppi RC.

Elettromagneti / valvole elettromagnetiche: sono sorgenti di disturbi come i contattori, disturbi che possono essere “disinnescati” con gruppi RC e varistori.

Convertitori di frequenza: collegare i convertitori di frequenza (inverter) ai filtri suggeriti dai costruttori! Utilizzare cavi schermati per i motori e posarli separatamente dai cavi di controllo.

5 Provvedimenti generali per la messa in servizio

5.1 Avvertenze per la sicurezza

Il collegamento di apparecchiature elettroniche deve essere effettuato solamente da personale specializzato. Prima di allacciare una apparecchiatura alla rete si deve tener conto di quanto indicato sul manuale di istruzione dell'apparecchiatura specifica. Prima di dare tensione confrontate le caratteristiche elettriche dell'apparecchiatura con le condizioni locali. Verificate anche i valori di allacciamento delle utenze collegate all'apparecchiatura. Controllate anche che il cablaggio ai punti di collegamento sia corretto.

5.1.1 Correnti di dispersione

A causa della presenza di condensatori per la soppressione dei disturbi (condensatori Y) tra fase e PE (terra) scorrono correnti di dispersione attraverso il contenitore verso terra (PE). Le apparecchiature **devono** per questo motivo essere messe a terra.

5.1.2 Sequenza di accensione

Nel caso in cui in una apparecchiatura il circuito di controllo e il circuito di potenza vengano alimentati con la tensione di alimentazione in modo separato, allora questi circuiti devono assolutamente essere alimentati contemporaneamente poiché altrimenti nel caso ad es. di regolatori di potenza a tiristori a causa della mancanza di sincronizzazione con la rete possono essere generati impulsi di accensione anomali. In nessun caso la parte di potenza deve essere messa in tensione per prima. Ciò è particolarmente importante nel caso di carichi costituiti da trasformatori.

5.2 Misurazioni e operazioni di impostazione

Poiché a causa del funzionamento con controllo a parzializzazione di fase vengono modificate le curve sinusoidali della tensione e della corrente di rete, per la misurazione della tensione e della corrente di uscita devono essere utilizzati strumenti in grado di misurarne il valore efficace (True-RMS).

5.2.1 Messa in servizio in assenza di carico reale

Come menzionato all'inizio, un tiristore rimane nello stato di conduzione (acceso) solo se può anche scorrere una corrente con valore di ampiezza sufficientemente elevato e può portarsi allo stato di interdizione (spento) solo se la corrente scende nuovamente sotto il valore minimo (corrente di mantenimento). Ciò avviene al passaggio per lo zero della corrente di alimentazione. Per la messa in servizio ciò significa che in assenza di un carico adatto il regolatore di potenza a tiristori non può essere messo in funzione e che non può essere effettuata alcuna misura attendibile come ad esempio la misura della tensione di uscita. Anche l'impostazione della corrente di uscita, come ad esempio la limitazione della corrente di uscita, può essere effettuata solamente con un carico reale e non con qualcosa come un cortocircuito dei morsetti all'uscita del regolatore di potenza a tiristori. Il motivo di ciò sta nel fatto che il tiristore una volta acceso non può essere nuovamente spento bensì la corrente deve invece tornare di nuovo a zero per fare in modo che il tiristore blocchi di nuovo. In presenza di un carico con impedenza troppo bassa il sistema interno di rilevazione non è in grado di trattare la corrente che scorre. Se il carico reale non è disponibile o se per ragioni legate al processo non è possibile eseguire l'"avviamento", allora può essere eseguita come soluzione di ripiego una prova di collegamento dell'apparecchiatura con l'aiuto di un carico resistivo (es. lampada ad incandescenza) facendo lavorare il regolatore di potenza a tiristori nel modo di funzionamento 'a valori imposti'. Nel cosiddetto 'funzionamento a valori imposti' le apparecchiature lavorano senza effettuare alcuna regolazione e anche la funzione di limitazione di corrente non è allora più disponibile. Non essendo attive le funzioni di regolazione del regolatore di potenza a tiristori, possono essere eseguite prove per verificare se il sistema azionamento-carico lavora in modo stabile.

Il modo di funzionamento a valori imposti viene impostato tramite selettore o menu guidato.

5.2.2 Impostazione dei valori "Min / Max"

Gli apparecchi vengono impostati in fabbrica con i propri valori nominali. Se questi valori devono essere modificati si deve procedere come descritto nel manuale di istruzioni. In linea di principio potrebbero presentarsi difficoltà nell'impostare ad esempio un nuovo valore limite di corrente se il tempo di processo è molto breve o se durante il processo non è possibile effettuare alcuna misurazione precisa a causa di forti variazioni nell'applicazione. In questo caso è opportuno effettuare l'impostazione non all'interno del processo ma con un carico esterno.

6 Definizioni

Abilitazione	L'abilitazione descrive uno stato attivo. Cioè un contatto deve essere chiuso o in quel punto deve essere applicata una tensione di controllo, per l'accensione dell'apparecchio o l'attivazione di una funzione
Blocco	Il blocco descrive uno stato attivo. Cioè un contatto deve essere chiuso o in quel punto deve essere applicata una tensione di controllo, per lo spegnimento dell'apparecchio o la disattivazione di una funzione.
Abilitazione regolatore	Tramite la chiusura di un contatto o l'applicazione di una tensione di controllo viene abilitata l'unità di regolazione dell'apparecchiatura.
Blocco regolatore	Tramite la chiusura di un contatto o l'applicazione di una tensione di controllo viene spenta l'unità di regolazione dell'apparecchiatura. L'effetto dello spegnimento viene eventualmente ritardato tramite una costante di tempo.
Abilitazione impulsi	Tramite la chiusura di un contatto o l'applicazione di una tensione di controllo viene ad esempio dato il via libera agli impulsi di accensione di un convertitore a tiristori. L'abilitazione avviene senza ritardo ad esempio dalle costanti di tempo del regolatore.
Blocco impulsi	Tramite la chiusura di un contatto o l'applicazione di una tensione di controllo viene ad esempio bloccato il via libera agli impulsi di accensione di un convertitore a tiristori. Il blocco avviene senza ritardo ad esempio dalle costanti di tempo del regolatore.
Valore di riferimento (Set-point)	Valore generato da un dispositivo di comando esterno che fornisce il valore di uscita desiderato dell'apparecchio. Dispositivi di comando per l'impostazione del valore di riferimento sono ad esempio potenziometri, sorgenti di tensione 0...10 V, DC o sorgenti di corrente 0(4)...20 mA.
Valore istantaneo	Valori reali di corrente / di tensione presenti nel carico / sul carico.
Avviamento graduale	Funzione a rampa di tempo con la quale un valore di riferimento applicato viene fatto salire o diventa attivo. Grazie all'avviamento graduale vengono ad esempio evitate le forti sollecitazioni all'avviamento come quelle che possono verificarsi in presenza di carichi costituiti da trasformatori o di carichi con piccoli valori di resistenza a freddo. Analogamente la rete di alimentazione non viene sollecitata con forti variazioni di carico.
Tempo di avviamento	(Vedi avviamento graduale). Con tempo di avviamento viene indicato il tempo in cui il valore di riferimento diviene attivo in seguito a un aumento. In generale il tempo di avviamento è impostabile tramite un trimmer potenziometrico. Viene utilizzato soprattutto negli azionamenti elettrici.
Tempo di arresto	Con tempo di arresto viene indicato il tempo in cui il valore di riferimento diviene attivo in seguito a una diminuzione. In generale il tempo di arresto è impostabile tramite un trimmer potenziometrico. Viene utilizzato soprattutto negli azionamenti elettrici.
Limitazione di corrente	Al raggiungimento di un valore di corrente che nella maggior parte dei casi è impostabile, viene impedito il pilotaggio maggiore della grandezza di uscita oppure il valore di questa viene diminuito.
Trimmer - I _{max}	Trimmer potenziometrico per l'impostazione del valore di corrente massimo ammissibile.

Trimmer - Umax	Trimmer potenziometrico per l'impostazione del valore di tensione massimo ammissibile.
Componente P	Parametro del regolatore – Guadagno proporzionale (tendenza al pendolamento)
Componente I	Parametro del regolatore – Tempo di integrazione (tendenza al pendolamento)
Valore efficace	Valore quadratico medio di una corrente alternata o di una tensione alternata. Valore di corrente alternata attivo ad es. stesso effetto termico come quello di una corrente continua livellata.
Valore medio	Valore aritmetico medio o valore medio raddrizzato di una corrente o di una tensione.
INIT	Fase di inizializzazione. In seguito all'accensione di una apparecchiatura è il tempo necessario per portare i diversi circuiti interni in uno stato iniziale definito.
RESET	Reimpostazione di tutti i circuiti interni ad uno stato iniziale definito.
SETUP	Salvataggio delle impostazioni modificate.
Funzionamento a valori imposti (o ad anello aperto)	Modifica del valore di una grandezza di uscita, senza sorveglianza del suo stato. Variazioni di rete o di carico non danno luogo ad alcuna reazione.
Funzionamento con regolatore (o ad anello chiuso)	Modifica del valore di una grandezza di uscita, con sorveglianza contemporanea del suo stato istantaneo. Se il valore istantaneo e il valore di riferimento (set-point) non coincidono avviene una correzione del valore della grandezza di uscita.
Funzionamento con controllo a parzializzazione di fase (o a taglio di fase)	Nel funzionamento con controllo a parzializzazione di fase durante ogni semionda della tensione di rete scorre una corrente dall'istante di accensione fino al passaggio per lo zero naturale della semionda di corrente. L'angolo tra il passaggio per lo zero della tensione di rete e l'accensione del tiristore viene chiamato angolo di parzializzazione o angolo di controllo α (angolo di innesco). Tramite variazione dell'angolo di controllo la corrente che scorre nel carico può essere variata con continuità.
Funzionamento con controllo a treni d'onda (o a ciclo d'onda completo)	Nel funzionamento con questo tipo di controllo vengono fatti passare sempre cicli d'onda completi dalla rete di alimentazione. La durata del rapporto On/Off determina la potenza erogata. Questo principio è quindi adatto solo a sistemi di regolazione con inerzia, come ad esempio regolazioni di temperatura, forni e altro. Un vantaggio di questo principio sta nel fatto di evitare la generazione di radiodisturbi che si generano invece in presenza di commutazione continua come quella che avviene ad esempio nel funzionamento in base al principio del controllo a parzializzazione di fase.