

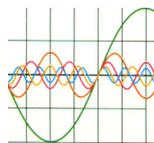
SISTEMI DI COMPENSAZIONE DELLA POTENZA REATTIVA IN TEMPO REALE ED IN ESENZIONE DI TRANSITORIO

INTRODUZIONE

la tecnologia al servizio per la compensazione della potenza reattiva, in questi ultimi anni ha fatto passi da gigante, proponendo macchine non più statiche ma parzialmente, o totalmente, dinamiche. La ELMAN s.r.l. di Torino è esclusivista per il mercato italiano della società ELSPEC Engineering Ltd, titolare del brevetto, unico al mondo, per la costruzione e l'applicazione di sistemi di compensazione della potenza reattiva in tempo reale ed in esenzione di transitorio. Si tratta delle macchine denominate l'**EQUALIZER** e l'**ACTIVAR**.

L'**EQUALIZER** è un sistema ultra-rapido di compensazione dell'energia reattiva che trova la sua applicazione migliore nel caso di reti elettriche estremamente fluttuanti o dove il carico varia in maniera rapida anche nell'arco di un periodo, poiché il tempo tra acquisizione e risposta, unico nel suo genere, è pari a 5-20ms. Grazie ad un sofisticato algoritmo, studiato e brevettato dalla stessa ELSPEC, il software di gestione e controllo della macchina, oltre che a garantire la rapidità di intervento, permette l'inserzione e la disinserzione dei condensatori allo "zero crossing" di corrente evitando i transitori che solitamente provocano picchi indesiderati di corrente e "buchi di tensione". Uno dei molti vantaggi che ne derivano è quello di non dover sovradimensionare l'interruttore di alimentazione del quadro di rifasamento per sopportare le correnti di inserzione.

I condensatori stessi hanno una stima di vita molto più lunga (circa 10 anni) sia perché non vengono influenzati negativamente dai transitori, sia perché l'**EQUALIZER** possiede una funzione di scansione che attiva tutti i condensatori a turno, dando luogo ad una riduzione della corrente media e quindi del sovraccarico elettrico e termico. A questo va aggiunta la non meno importante caratteristica dell'**EQUALIZER** che è quella di inserire i condensatori solo quando avviene la richiesta di energia reattiva per poi disconnetterli al momento che tutti, o una parte di essi, non sono più necessari, evitando che i condensatori restino inseriti quando non è occorrente col rischio ultimo di mandare la linea in capacità. L'**EQUALIZER** quindi è in grado di fornire istantaneamente tutta la sua potenza reattiva (se necessaria) senza inserirla per gradi.



L'EQUALIZER

Nella parte introduttiva viene data una breve ma esaustiva panoramica del sistema **EQUALIZER**. Anche se tecnologicamente avanzato e unico nel suo genere, il suo principio di funzionamento e la sua concezione sono relativamente semplici. La mente e il cuore di tutto risiedono nel "controller", ovviamente presente in ogni sistema, che non è altro che un analizzatore di rete trifase, avente tre livelli di misura, in grado di monitorare tutti i parametri della rete, comprese le armoniche e le forme d'onda. È provvisto sia di ingressi voltometrici, derivati direttamente dalla barratura principale interna all'Equalizer, che di tre ingressi amperometrici provenienti dai trasformatori amperometrici posizionati su ognuna delle tre fasi della linea, o di una specifica utenza, da compensare. Inoltre sono presenti, già cablati all'interno del sistema, due trasformatori amperometrici utilizzati dal controller per eseguire tutti i test di autodiagnosi fornendo all'operatore un resoconto dettagliato dello stato di servizio della macchina.

Il suo video a cristalli liquidi permette una visualizzazione degli eventi in maniera chiara, con possibilità di settaggio del fattore di potenza e, tramite un collegamento con cavo RS485/RS232, poter controllare lo stato del sistema da una postazione remota in ambiente windows. Questo permette all'operatore di sapere in tempo reale tutto quello che succede nel suo impianto e di intervenire per modificare i parametri del sistema, nonché sapere data e ora nella quale si è verificato un malfunzionamento dell'apparecchiatura. (funzione di autodiagnosi)

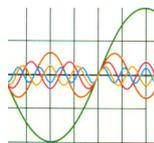
Tutti i segnali, sia interni che esterni, convergono al controller che, grazie al particolare hardware, unito al software di gestione, elabora i dati e trasmette le istruzioni IN-OUT al modulo di commutazione.

Il modulo di commutazione contiene gli interruttori elettronici bifase per ogni gruppo di condensatori trifase e commuta fino a tre gruppi di condensatori. Al suo interno risiede anche la scheda elettronica per la gestione delle diverse commutazioni, soprattutto nel caso di macchine per la commutazione parziale delle singole fasi (carichi fortemente squilibrati, es. saldatrici e/o puntatrici) e viene raffreddata mediante una ventola regolata da un termostato interno.

Una volta che il modulo di commutazione riceve il segnale dal controller di aprire o chiudere i gate, interviene in tempo reale "liberando" i gruppi di condensatori.

Questi sono costituiti da semplici condensatori cilindrici trifase in film di polipropilene con dispositivo di intervento a sovrappressione e dotati di resistenze di scarica. La capacità varia in relazione alla potenza nominale di ciascun banco e sono proposti per tensioni di esercizio fino a 690V in bassa tensione. In serie ad ogni gruppo/banco di condensatori viene inserita una reattanza a nucleo di ferro, opportunamente dimensionata, in grado di assorbire le eventuali armoniche presenti e, se lo spettro armonico presenta una sola armonica dominante, accordare la stessa induttanza per quella frequenza. Si evitano così i fenomeni di risonanza e il sistema può lavorare anche nelle condizioni più critiche.

Il fattore di potenza prossimo all'unità, la caduta di tensione molto contenuta ed in certi casi azzerata, la conseguente eliminazione della corrente swattata che circola nell'impianto, consente di ottenere un notevole risparmio di energia e di allungare la vita delle apparecchiature. I cavi non sono più percorsi da correnti in eccesso e gli interruttori non lavorano in sovratemperatura. I benefici si hanno anche sui trasformatori MT/BT che lavoreranno in condizioni meno onerose ed avranno una riserva di potenza che può essere utilizzata per l'alimentazione di nuovi carichi senza costi aggiuntivi per implementare le infrastrutture esistenti.



Nel caso di generazione autonoma di energia, l'**EQUALIZER** migliora l'apporto capacitivo in modo che sia il Gruppo Elettrogeno, che il gruppo di generazione, non lavorino in sovraccarico lasciando una riserva di potenza utilizzabile per alimentare carichi che altrimenti resterebbero esclusi. Nel caso specifico dei Gruppi Elettrogeni, fermo restando uno studio specifico al riguardo, l'impiego di **EQUALIZER** permetterebbe sia una riduzione della potenza del gruppo stesso, e quindi un abbassamento dei costi d'acquisto, sia della quantità degli stessi.

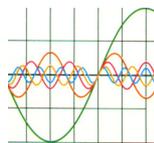
I grandi motori, che durante il periodo di avviamento assorbono una corrente maggiore rispetto alla nominale, provocano sulla rete una caduta di tensione che riduce la coppia iniziale ed aumenta il tempo di avviamento stesso. **EQUALIZER** rileva la corrente reattiva, la compensa nell'ambito di un ciclo con la conseguente diminuzione della caduta di tensione sulla linea.

Il vantaggio che ne deriva è che si può evitare di utilizzare sistemi di avviamento individuali e di conseguenza centralizzare tutti i carichi, connettendo direttamente il motore alla rete ottenendo così la coppia massima durante l'avviamento. L'**EQUALIZER** è applicabile anche in Media Tensione.

L'ACTIVAR

Come citato nella parte introduttiva, accanto al sistema Equalizer viene anche proposto il sistema denominato **ACTIVAR**. Si tratta anch'esso di un sistema rapido di compensazione dell'energia reattiva utilizzabile però in quelle reti dove non sono presenti rapide variazioni di carico. Sia dal punto di vista costruttivo che a livello di concezione, l'**ACTIVAR** presenta le stesse caratteristiche di Equalizer ma all'interno del controller il binomio hardware e software gestiscono l'inserzione dei condensatori necessari in un tempo di 3-4 secondi, sempre a "zero crossing" di corrente.

Per il resto valgono le stesse considerazioni esposte per il sistema Equalizer, ed anche **ACTIVAR** è applicabile in Media Tensione.



VANTAGGI E BENFICI DERIVATI DA UNA CORRETTA ED EFFICACE COMPENSAZIONE DELLA POTENZA REATTIVA

La presenza di carichi trifase caratterizzati da un $\cos\phi$ di funzionamento di valore inferiore a 1 produce effetti negativi sulla rete di distribuzione, che finiscono per influenzare tutte le apparecchiature ad essa collegate.

Se inoltre il tipo di carico è caratterizzato da cicli di lavoro rapidi, allora si sommano gli effetti dinamici a perturbare il sistema.

Sappiamo che gli effetti negativi associati al basso $\cos\phi$ sono:

- aumento delle cadute di tensione
- aumento delle perdite
- aumento della potenza di dimensionamento dell'impianto.

Se il carico è rapidamente variabile, le cadute di tensione si manifestano come variazioni continue della tensione in rete, con conseguente insorgenza del fenomeno del **flicker** che, in alcuni casi, anche da noi riscontrati, possono causare dei black-out temporanei, danneggiare le apparecchiature elettroniche sensibili (schede elettroniche, computer, ecc.) azzeramento dei parametri delle macchine di lavoro e perdite di dati sulla linea.

Se il carico è squilibrato nelle potenze (attiva e reattiva), l'effetto è quello di generare una asimmetria delle tensioni di rete e quindi la nascita di sequenze di tipo inverso.

Tutti i fenomeni sopra elencati sono, in diversa misura, mitigabili con sistemi di compensazione della potenza reattiva, con grado di sofisticazione che cresce con la complessità delle perturbazioni.

Caduta di tensione.

Consideriamo il sistema elettrico alimentato attraverso un trasformatore equivalente con potenza e tensione di corto circuito noti, supponendo esso alimentato attraverso una rete di potenza infinita.

La sorgente della potenza è perciò caratterizzata da una resistenza R_t e reattanza X_t di tipo serie.

La distribuzione della corrente, dal trasformatore al punto di allacciamento del sistema di compensazione è realizzata con conduttori con resistenza e reattanza R_l e X_l ; l'interruttore generale di impianto è anch'esso caratterizzato da un valore R_i e X_i .

La tensione esistente nella sezione di linea in corrispondenza della alimentazione del sistema di compensazione (sezione A) è la

somma vettoriale della tensione

'a vuoto' del trasformatore

(indipendente dal carico) e

dalle cadute di tensione sulle tre

impedenze sopra elencate (del

trasformatore, della linea,

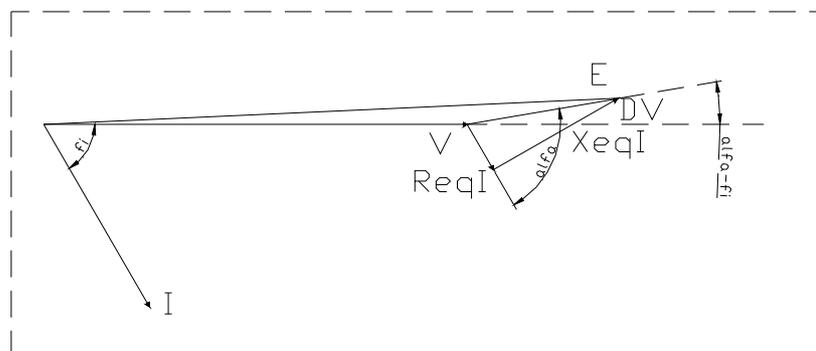
dell'interruttore). Queste cadute

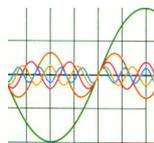
di tensione hanno un valore

dipendente dalla corrente

prelevata dal carico e dal suo

$\cos\phi$.





E' possibile sommare aritmeticamente i termini resistivi ed induttivi delle tre impedenze serie, al fine di trovare un unico termine equivalente $Re_q = R_t + R_l + R_i$ e $Xe_q = X_t + X_l + X_i$.

Consideriamo una fase del sistema, che eroga verso il carico una corrente con valore efficace I e $\cos\phi$ definito.

La tensione di alimentazione V nella sezione A è legata alla tensione a vuoto del trasformatore E , considerata fissa perché supportata da una rete di potenza infinita, dalla relazione vettoriale

$$E = V + Re_q \cdot I + j \cdot Xe_q \cdot I$$

Considerando in prima approssimazione il valore della caduta di tensione DV come:

$$DV = Re_q \cdot I \cdot \cos\phi + Xe_q \cdot I \cdot \sin\phi$$

appare evidente come, a parità di caratteristiche della rete di alimentazione (Re_q e Xe_q), la caduta di tensione (cdt) dipende dal valore della corrente richiesta dal carico I e dal $\cos\phi$ del carico. Risulta chiaro come, portando il $\cos\phi$ del carico al valore 1, si minimizza la caduta di tensione in quanto vettorialmente il parametro DV ha minore effetto e inoltre lo stesso valore di corrente I si riduce al solo valore necessario alla trasmissione della potenza (corrente attiva).

Perdite

La corrente, circolando sui componenti, produce per effetto joule delle perdite, che dipendono dal valore della resistenza ohmica dei componenti percorsi dalla corrente, e dal quadrato della corrente stessa.

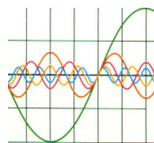
L'effetto di tali perdite è duplice: in evidenza appare lo spreco di energia in quanto la dissipazione è un fenomeno parassita e non necessario alla produzione di lavoro; in posizione meno evidente, ma in realtà più importante, l'effetto delle perdite è quello di provocare un riscaldamento supplementare dei componenti, con conseguente aumento della temperatura di funzionamento. E' quindi necessario considerare un declassamento delle prestazioni e una accelerazione dei processi di invecchiamento. Infatti, caratteristica fondamentale nel definire la vita di un componente elettrico è il funzionamento delle parti isolanti; sono proprio queste le prime a soffrire, a volte in modo eclatante, della sovratemperatura di funzionamento, riducendo drasticamente la durata in servizio.

Potenza di dimensionamento

E' noto come i principali componenti di potenza (trasformatori di cabina) dell'impianto elettrico siano dimensionati per il valore di potenza **apparente** che caratterizza il sistema. Di conseguenza, tutti i dispositivi di manovra, protezione e trasmissione della potenza, devono tenere conto della potenza apparente della sorgente di energia.

In tal modo, in caso di carichi con funzionamento a basso $\cos\phi$, è indispensabile sovradimensionare il sistema, rispetto al valore minimo indispensabile che è rappresentato dalla potenza attiva richiesta dal carico.

E' possibile effettuare anche il ragionamento contrario, creando di fatto una maggiore riserva di potenza del sistema, realizzando la totale compensazione della potenza reattiva del carico.



Variazioni rapide di tensione

In alcuni casi, la presenza di carichi caratterizzati sia da prelievi a basso $\cos\phi$ e sia da cicli di lavoro estremamente rapidi e ripetitivi, la variazione di tensione che si stabilisce tra il funzionamento a vuoto ed il funzionamento a carico, associata alla frequenza del ciclo di lavoro, genera una oscillazione continua del valore di tensione in rete tra due valori sostanzialmente stabili. Il fenomeno del flicker, valutabile con appositi strumenti, quantifica il fenomeno basandosi sul valore della variazione della tensione, sulla durata del periodo a bassa tensione e sulla frequenza della variazione di tensione. La normativa CEI EN 50160 in merito alla qualità dell'energia, fissa dei parametri limite oltre i quali si possono avere problemi sulla tensione di alimentazione del sistema elettrico.

Oltre al fastidioso effetto sulla percezione visiva degli operatori, il fenomeno dei flicker può avere implicazioni pericolose, contribuendo all'effetto stroboscopico, facendo sì che l'occhio percepisca un corpo rotante come fermo, quando invece ruota, ad una velocità sincrona con la frequenza di lampeggiamento delle lampade presenti nel reparto.

L'unico modo di ridurre drasticamente il fenomeno flicker è la compensazione automatica in tempo reale dell'unico parametro controllabile senza inficiare il processo di lavorazione, che è la potenza reattiva. Installando sull'impianto caratterizzato da flicker un dispositivo adatto, è possibile eliminare il pericoloso e fastidioso fenomeno.

Asimmetria e squilibrio

Nel caso di impianti che comprendano la saldatura a punti, il carico è caratterizzato da macchine operatrici di tipo monofase, connesse in modo più o meno distribuito sulle tre fasi che compongono il sistema elettrico.

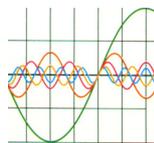
In caso di sostanziale squilibrio delle correnti di fase, in particolare se associate ad un basso $\cos\phi$, la caduta di tensione su ogni fase sarà sempre dalle altre, con il risultato di avere in ogni momento una terna di tensioni non simmetrica (in quanto ciascuna fase è affetta da una diversa cdt). La terna non simmetrica è scomponibile in tre terne secondo la teoria delle sequenze. La terna inversa ha l'effetto di essere una terna di tensione sfasata di 120° ma con senso ciclico opposto alla terna principale (diretta). In tal modo, il sistema di tensioni inverse è in grado di sostenere un sistema di correnti inverse che contribuiscono a generare perturbazioni ed in particolare coppie frenanti sui motori asincroni collegati al sistema elettrico; il sovraccarico è inevitabile, come il conseguente sovrariscaldamento e il possibile intervento delle protezioni con il conseguente sgancio e disservizio produttivo.

Conclusioni

In base a quanto sopra descritto, appare evidente l'importanza tecnica ed economica del controllo del $\cos\phi$ di funzionamento di un impianto elettrico.

E' chiaro come gli elementi di risparmio economico, oltre che i vantaggi tecnici e di affidabilità e durata dei componenti, sono sempre più evidenti mano a mano che:

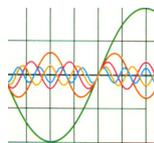
- il sistema elettrico nella sua complessità risulta sfruttato fino alle condizioni massime ammissibili
- il $\cos\phi$ di funzionamento è inferiore all'unità.



Per ottenere i reali vantaggi sopra elencati, potrebbe non essere sufficiente dotare l'impianto di un sistema di rifasamento di tipo 'tradizionale', cioè caratterizzato da tempi di intervento dell'ordine delle decine di secondi, in quanto questo tipo di correzione è finalizzata al mantenimento di un $\cos\phi$ medio a valori vicini a 0,9, con lo scopo, seppur non trascurabile, di eliminare gli addebiti per eccesso di consumo di energia reattiva che solitamente la società che distribuisce l'energia elettrica applica ai propri clienti.

I sistemi di compensazione in tempo reale hanno la particolarità unica di conseguire tutti i risultati attesi, anche nelle più critiche condizioni di carico: riduzione della energia reattiva consumata con azzeramento della 'penale per basso $\cos\phi$ ' (effetto diretto sulla bolletta consumi); ottenere un puntuale e vero risparmio energetico riducendo al minimo le perdite per effetto joule, aumentando la durata dell'impianto per merito della riduzione delle temperature di funzionamento dei componenti, di migliorare i parametri elettrici generali mitigando le cadute di tensione.

Una citazione particolare merita il **sistema di compensazione in tempo reale di tipo sbilanciato**: tale sistema unisce i vantaggi sopra scritti con la unica prestazione di effettuare tutte le regolazioni e gli interventi, in modo dedicato e specifico per ciascuna delle tre fasi (L1, L2, L3). In tal modo si compensano tutti i fenomeni negativi legati al funzionamento dei carichi, compreso lo sbilanciamento tra le fasi, riportando il sistema elettrico verso le condizioni ideali (e pertanto migliori) di simmetria ed equilibrio dei consumi.



CASE STUDY: ESEMPIO DI APPLICAZIONE DEL SISTEMA EQUALIZER SULLE PUNTATRICI

FIAT AUTO S.P.A. – STABILIMENTO MIRAFIORI - REPARTO LASTRAUTRA

L'indagine strumentale riguardante i parametri elettrici della linea denominata "Linea 330I", da voi segnalata, in partenza dal Quadro Power Center di Cabina 33, ci ha permesso di mettere in evidenza i punti critici derivati essenzialmente da una mancata compensazione della potenza reattiva assorbita dalle diverse utenze presenti nelle linee di assemblaggio, la maggioranza delle quali trattasi di puntatrici manuali, con collegamento fase-fase, per la saldatura a punti o isole robotizzate che eseguono le medesime lavorazioni.

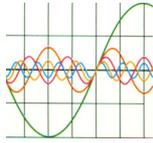
La soluzione tecnica opportunamente studiata e proposta all'attenzione di Fiat Auto consiste nell'installazione in Cabina 33 di un sistema per la compensazione della potenza reattiva avente caratteristiche diverse dal tipo "tradizionale" ovvero: inserzione in tempo reale (5-20mms) e a transitorio 0 (zero), con carico reattivo di tipo sbilanciato e induttanze di smorzamento contro il rischio di risonanza armonica. L'inserzione in tempo reale permette al sistema di compensare la potenza reattiva in maniera corretta ed efficace in tutte le situazioni e le variazioni di carico riscontrate, anche le più rapide. L'inserzione a transitorio 0 (zero) per evitare di causare disturbi nella rete solitamente provocati dall'inserzione delle batterie di condensatori presenti nei quadri di rifasamento di tipo "tradizionale". Il carico reattivo di tipo sbilanciato serve per permettere al sistema la puntuale compensazione fase per fase in accordo con la caratteristica delle utenze. Infine le induttanze a nucleo di ferro per proteggere i condensatori dagli effetti dannosi dovuti alle armoniche garantendo l'efficienza del sistema nel tempo.

Trattasi del modello **EQUALIZER EQ860/3-525.50-p14-DFMT** con potenza complessiva di 860kVAr suddiviso in tre scomparti modulari rispettivamente da 122kVAr, 244kVAr e 488kVAr la cui inserzione è comandata dall'EQC 2030-2U power factor controller con analizzatore di rete e di energia incorporato, tipo sbilanciato .

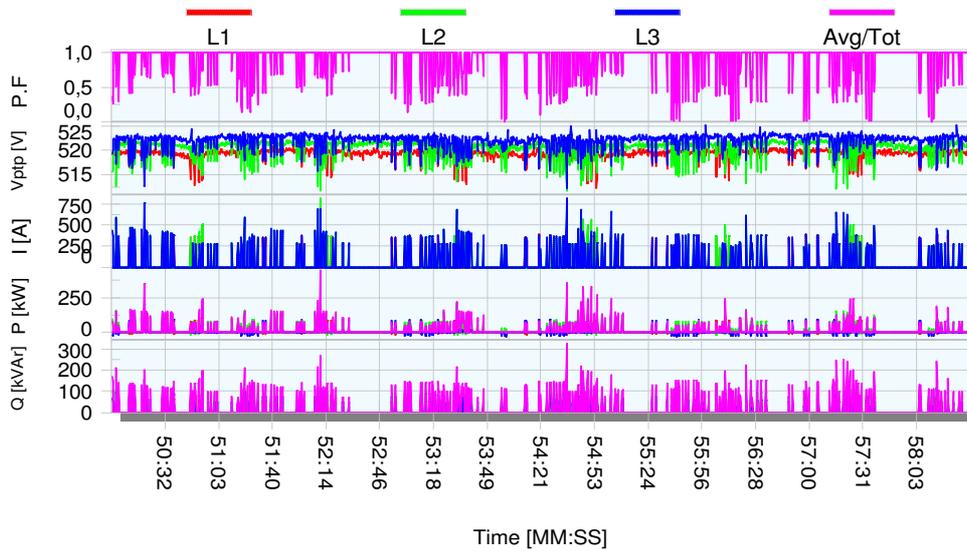
Analisi dei risultati ottenuti

In accoglimento della nostra proposta di soluzione, Fiat Auto ha voluto però effettuare una serie di test preliminari con l'apparecchiatura in funzione, confrontando poi i risultati ottenuti con i dati relativi all'esercizio della cabina 33 prima dell'installazione del suddetto sistema.

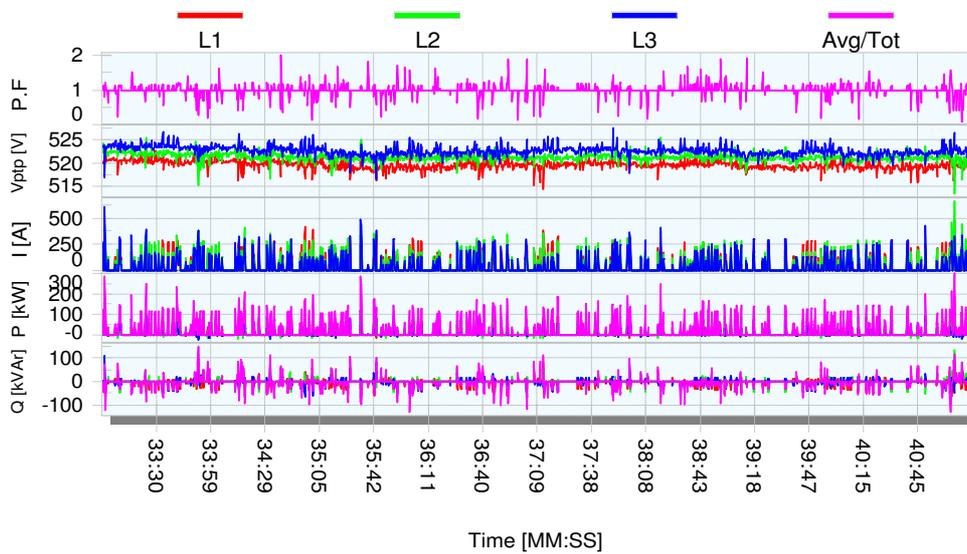
Per tutta la durata del test il nostro personale tecnico ha provveduto a compiere una serie di sopralluoghi per verificarne la perfetta efficienza in diverse condizioni di esercizio. Nel corso di questi sopralluoghi sono stati verificati tutti i parametri di rete, scaricando su P.C. tutti i dati acquisiti mettendo in risalto la diversa situazione impiantistica tenendo inserito il sistema di rifasamento e, successivamente, provvedendo alla sua esclusione per un periodo tale da poter ottenere dei dati significativi per un utile raffronto. I grafici così ottenuti, riportati nella pagina successiva, visualizzano l'andamento delle tensioni, delle correnti, della potenza attiva, quella reattiva e del Fattore di Potenza (PF), riscontrati nelle due diverse situazioni.

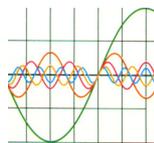


FIAT AUTO S.p.A.
ELMAN s.r.l. - Electrical Power Quality
MIRAFIORI CARROZZERIA - cabina 33 lastratura - rifasamento escluso



FIAT AUTO S.p.A.
ELMAN s.r.l. - Electrical Power Quality
MIRAFIORI CARROZZERIA - cabina 33 lastratura - rifasamento inserito





Già dall'osservazione dei grafici riportati appare evidente il beneficio apportato dal sistema installato i cui risultati li possiamo riassumere brevemente in: efficace e puntuale compensazione della potenza reattiva e quindi anche della sua componente di corrente con conseguente circolazione della sola corrente necessaria per il trasferimento della potenza attiva e quindi fattore di potenza entro i limiti per un corretto funzionamento dell'impianto con riduzione delle perdite. Tensione di alimentazione più stabile e con una caduta di tensione più contenuta ovvero entro il limite del 4% che rappresenta la soglia di tolleranza imposta dalle norme CEI (caduta di tensione ammissibile). Nello specifico, facendo riferimento a quanto esposto nel capitolo riguardante i vantaggi e benefici di una corretta compensazione della potenza reattiva, si è ottenuto:

Riduzione della caduta di tensione

Dalle misure effettuate è emerso che il carico è caratterizzato da una potenza di circa 200kW medi ad un $\cos\phi$ medio di circa 0,5.

Considerando la tensione 520V, risulta una corrente di carico di circa 440A.

Visti i dati in ns. possesso, i calcoli che seguono fanno riferimento al solo trasformatore MT/BT; i termini resistenza e induttanza interni, possono essere aggiornati sommandovi rispettivamente i valori di resistenza e induttanza di fase dei conduttori di potenza utilizzati nella distribuzione e resistenza e induttanza per polo dell'interruttore generale.

Considerando il solo trasformatore di alimentazione con potenza 1250kVA e $vcc=3.3\%$ e $U_n 525V$, ricavando i valori di resistenza e reattanza interni rispettivamente di 0.0018ohm e 0.007ohm si ricava che, in assenza temporanea del sistema di compensazione del $\cos\phi$, il valore della caduta di tensione è di circa $0.40+2.66=3.06V$ mentre inserendo il sistema l'Equalizer, considerando che riporti il $\cos\phi$ della corrente (dalla seziona A verso monte) a 1, la cdt si riduce a solo 0.40V, con una riduzione superiore all'80%.

Riduzione delle perdite per effetto joule

*considerando il valore resistivo di 0.0018ohm per fase (anche in questo caso in rappresentanza del solo trasformatore), la dissipazione a seguito delle perdite ohmiche nel solo trasformatore di cabina, con la normale corrente di carico non compensata di 440A a $\cos\phi=0.5$, vale circa 1kW ($3*0.0018*440^2$).*

Considerando lo stesso trasformatore di cabina ma inserendo l'Equalizer, e quindi funzionante con $\cos\phi$ unitario, comporta una corrente di carico di 220A ($440\cos\phi=440*0.5$) e di conseguenza un valore delle perdite di 260W, con una riduzione di oltre il 70%.*

Dimensionamento dell'impianto

la potenza di 200kW ad un $\cos\phi$ di 0,5 impone un dimensionamento di tutte le parti che alimentano il carico (cavi e barre, interruttori di linea, sistemi di manovra, trasformatore) per una potenza di almeno $200/0.5=400kVA$. E' evidente che nello specifico caso in analisi il trasformatore e quanto di seguito è notevolmente sovradimensionato, ma resta valido il ragionamento complessivo, da effettuare in caso di nuovo impianto oppure nel caso di aggiunta di carichi su impianto esistente. Se considerassimo in fase progettuale di installare un sistema di compensazione del tipo Equalizer, il calcolo per il dimensionamento delle parti principali dell'impianto, fermo restando la potenza attiva assorbita di 200kW, risulterebbe:

- **Trasformatore**

*La potenza apparente legata al prelievo vale $200/0,95$ (valore cautelativo)=210kVA. Considerando un margine sul reale carico espresso da un coefficiente di sicurezza del 20%, si ottiene una potenza minima del trasformatore di $210*1,2=253kVA$. In tal caso, si potrà optare per una macchina da 250kVA oppure per una più larga macchina da 315kVA. Inoltre non sarà più necessario agire sul rapporto spire per ottenere in uscita una tensione più alta, rispetto a quella nominale di esercizio, per sopperire ai fenomeni di flicker generati da questo particolare carico.*

- **Interruttore generale**

L'interruttore, nel caso dell'esistente trasformatore da 1250kVA, dovrà avere una corrente nominale di almeno $1.250.000/520/1,73=1390A$. Considerando gli opportuni coefficienti di invecchiamento e temperatura e che il trasformatore non deve lavorare prossimo alla saturazione la taglia da adottare deve essere di 1250A. con un trasformatore da 250kVA la taglia dell'interruttore generale diventerà: $250.000/520/1,73=278A$. In base a quanto esposto in precedenza la taglia commerciale più vicina di 250A.

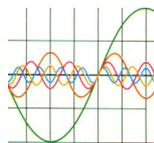
- **Linea di distribuzione**

Anche la linea di distribuzione principale dovrà essere dimensionata considerando la corrente nominale dell'interruttore di protezione; la portata da utilizzare è 250A.

Vita dell'impianto

seppur complesso nella definizione, ma teoricamente affrontabile, si può mettere in evidenza il forte legame che intercorre tra l'affidabilità e la vita attesa di un componente elettrico come il trasformatore o il cavo o la blindosbarra, e la temperatura ed i cicli termici di funzionamento. Tali componenti, come peraltro altri meno rilevanti, sono caratterizzati da una vita attesa in servizio, intesa come probabilità predefinita di guasto in servizio dopo un certo numero di ore di lavoro, legata al cedimento dell'isolamento interno, di solito costituito da materiale solido o liquido (nel primo caso si tratta di materiale non autoripristinabile in caso di cedimento). In particolare, le cause principali dell'invecchiamento dei materiali isolanti sono la tensione di lavoro (campo elettrico) e la temperatura di lavoro. L'effetto combinato non è la semplice somma dei singoli effetti in quanto le due sollecitazioni si sostengono l'un l'altra, amplificando gli effetti complessivi.

Appare evidente, anche se purtroppo non immediatamente quantificabile, il reale risparmio economico, legato ad esempio, alla durata di una linea elettrica di 30 anni piuttosto che di 20 anni, alla affidabilità che la stessa mostra durante la vita utile, evitando o limitando guasti, danni e costi per ripristino e mancata produzione, ottenuto mediante una riduzione della temperatura di esercizio in seguito alla riduzione della corrente circolante inserendo il sistema di compensazione Equalizer.



Risparmio energetico

Per fare un discorso puramente amministrativo riguardante i consumi energetici possiamo quantificare in maniera ipotetica, il risparmio in termini di euro nelle condizioni attuali di funzionamento, ovvero con l'Equalizer in funzione.

Osservando il grafico riguardante i principali parametri di rete, se si esclude il sistema di rifasamento il fattore di potenza medio è di circa 0.5. Supponendo che le condizioni di esercizio della linea siano costanti per tutta la durata dei turni lavorativi, possiamo ritenere invariato il valore del fattore di potenza giornaliero.

Per prima cosa stimiamo il risparmio legato alle perdite per effetto joule nel solo trasformatore MT/BT. Abbiamo calcolato che il loro valore è stimabile in circa 1kW. Con l'Equalizer in servizio le perdite joule sulla resistenza interna del trasformatore si riducono ad un valore di circa 260W.

Considerando un ciclo giornaliero di lavoro che copre un tempo di 16 ore, con un numero di giorni lavorati stimabile in 200 per anno, si ricava un teorico risparmio energetico annuale di
 $(1000W-260W)*16ore*200giorni=2.368kWh$

Considerando il costo dell'energia valevole per tutti i siti Fiat Auto (indicato a 0,08€/kWh), il risparmio legato alla sola analisi delle perdite nel trasformatore pone un corrispettivo di € 190,00 circa.

Appare evidente che il valore del risparmio reale, anche se calcolato per il solo trasformatore di cabina, tralasciando gli altri componenti serie che beneficiano della riduzione della corrente, ha un impatto modesto. La ragione risiede nella particolarità dell'impianto utilizzato come test, dato che il valore di carico misurato è molto basso rispetto alla potenza del trasformatore, unitamente alla caratteristica dello stesso ovvero una ridotta impedenza interna (rispetto a trasformatori standard) ed una tensione di esercizio più alta rispetto alla normale 400V degli impianti bt generali.

Consideriamo ora di valutare l'eventuale ammontare del corrispettivo dovuto alla società distributrice dell'energia, per l'eccessivo prelievo di energia reattiva; tali importi vanno considerati alla stregua di un risparmio energetico in quanto imputati al cliente come 'risarcimento' del reale maggior costo di produzione/trasmissione/gestione dovuta alla energia reattiva assorbita altrimenti non conteggiata nei consumi.

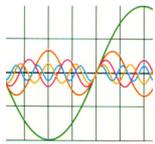
Considerando un assorbimento di 200kW a $\cos\phi=0,5$, con funzionamento di $16*200=3200$ ore/anno (energia attiva di $200*16*200=640.000kWh$), e considerando che il consumo corrispondente di energia reattiva è di $346kvar*3200=1.107.200kvar$, si calcola la energia reattiva soggetta ad addebito, che in genere è l'eccedenza di kvarh rispetto alla metà del consumo di energia attiva. Nell'esempio il corrispettivo in € per energia reattiva è associato ad un consumo di $1.107.200-640.000/2=787.200kvar$.

Considerando il valore di 0,0151€/kvarh come corrispettivo applicato al consumo di energia reattiva tra il 50% e il 75% della energia attiva e 0,0189€/kvar per il consumo di energia reattiva oltre il 75% della energia attiva (Testo integrato delle disposizioni della Autorità dell'energia... allegato A - tabella 26), si ricava:

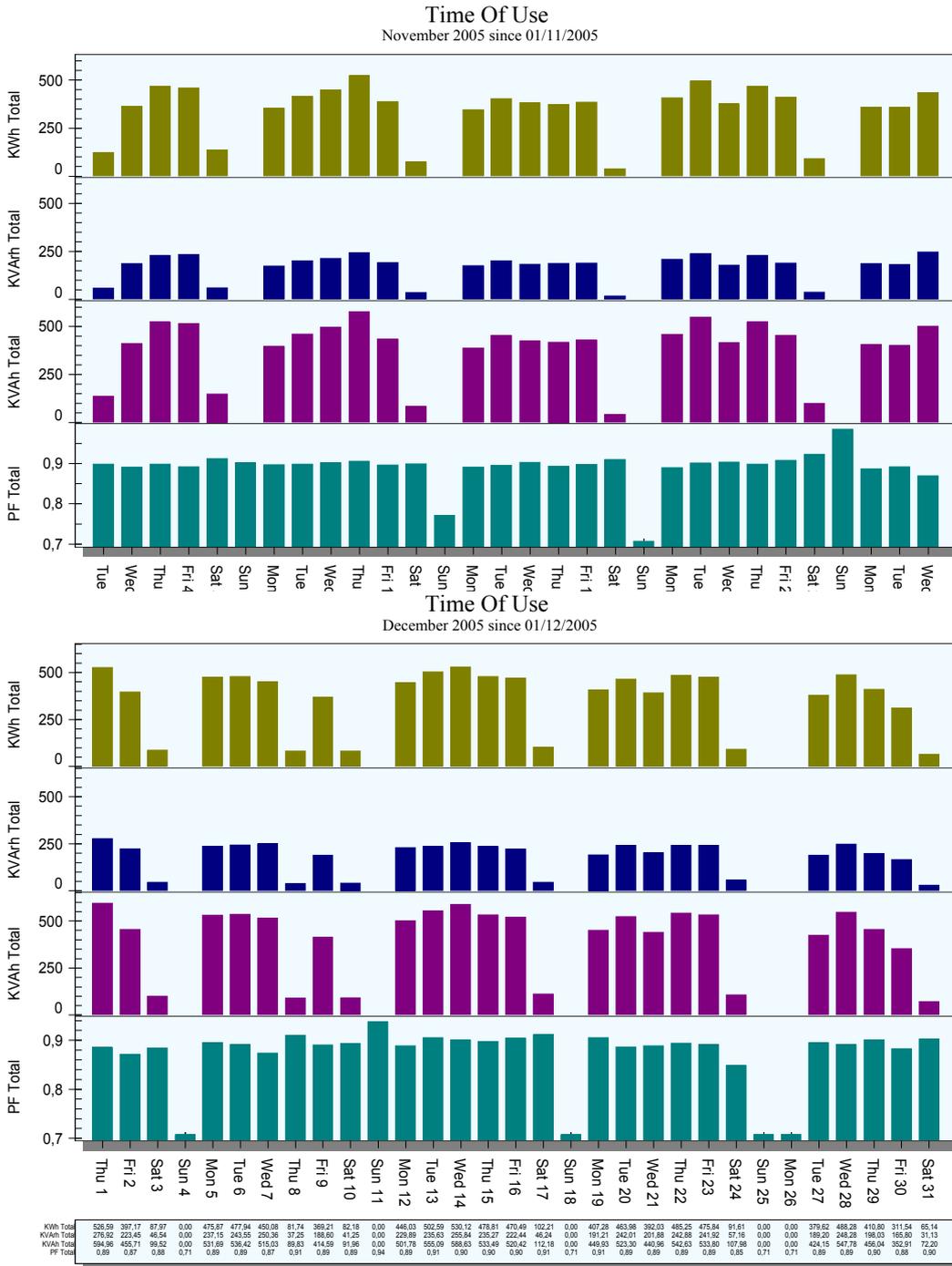
energia reattiva tra il 50% e il 75% della attiva: $160.000kvarh$ a 0.0151€/kvarh per un totale di 2.416€

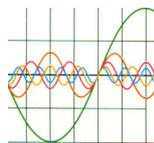
energia reattiva oltre il 75% della attiva: $627.200kvarh$ a 0.0189€/kvarh per un totale di 11.854€

Complessivamente si può stimare un addebito legato al consumo di energia reattiva di circa € 14.270 ogni anno.



Il controller del sistema Equalizer è dotato di un contatore di energia attiva e reattiva per la registrazione dei consumi energetici della linea. Nel corso delle verifiche da parte del nostro personale tecnico sono stati scaricati i dati relativi ai consumi di energia nei mesi successivi all'installazione. Se prendiamo come riferimento il bimestre Novembre-Dicembre 2005, che sono risultati i più significativi per una corretta valutazione economica dei benefici apportati dal sistema installato, otteniamo i seguenti grafici:





Dai quali si può notare che nel mese di Novembre 2005 i consumi sono stati rispettivamente di 9.08MW/h e di 4.48MVar/h con un fattore di potenza medio pari a 0.9. e nel mese di Dicembre 2005 i consumi sono stati rispettivamente di 9.44MW/h e di 4.78MVar/h con un fattore di potenza medio pari a 0.89.

Un semplice calcolo per la valutazione del risparmio ottenuto prende spunto dall'esempio di calcolo del risparmio energetico fornito da ENEL a tutti gli utenti dove si può calcolare la percentuale di riduzione delle perdite grazie ad una opportuna e corretta compensazione della potenza reattiva:

$$\%<perdite = 100 [1 - (\cos\phi_1 / \cos\phi_2)^2]$$

dove con $\cos\phi_1$ intendiamo il fattore di potenza senza rifasamento e cioè 0.5 (valore utilizzato anche per gli altri calcoli) e con $\cos\phi_2$ il fattore di potenza con rifasamento (stimato in una media tra le due mensilità di circa 0.89).

Quindi ottengo: $\%<perdite = 100 [1 - (0.5 / 0.89)^2] = 100 [1 - (0.56)^2] = 100 [1 - 0.32] = 68\%$ circa

Le perdite in linea si sono ridotte del 68%

I calcoli effettuati sono anche una traccia da seguire per poter quantificare l'effettivo risparmio conseguente all'installazione dell'Equalizer. Confrontando i dati dei consumi rilevati durante il periodo di prova con le letture in vostro possesso riferite ai mesi antecedenti l'installazione, non sarà difficile avere una ulteriore conferma che l'installazione del sistema di compensazione della potenza reattiva in tempo reale ed in esenzione di transitorio **ha pienamente risposto alle aspettative di risparmio energetico così come sono state esposte nella relazione del 29.07.2003.**

Lasciamo a voi le opportune considerazioni in merito, restiamo in attesa di un vostro cenno di riscontro, e con l'occasione porgiamo.

distinti saluti

Massimo Per. Ind. Fenocchio
(Amministratore Unico)