

• CARATTERIZZAZIONE METROLOGICA DI UN DISPOSITIVO PER MISURAZIONE

Un dispositivo per misurazione può essere caratterizzato dal punto di vista metrologico, funzionale e relativo ai guasti. La caratterizzazione metrologica deve indicare all'utente le prestazioni del dispositivo in ogni condizione normale di uso e le prescrizioni per ottenere tali prestazioni. In particolare si forniscono dati relativi alle letture effettuate con lo strumento e le misure delle grandezze con cui interagisce, sia in stazionario sia in ambito dinamico. In ambito stazionario si forniscono la funzione di taratura, cioè la relazione che permette di calcolare, per ogni valore di uscita, la rispettiva fascia di valore del misurando, sotto forma di caratteristica (relazione biunivoca tra uscita del dispositivo e punto medio della relativa fascia di valore), incertezza di taratura (larghezza della fascia di valore assegnate al misurando come misura), sensibilità (inverso della pendenza della curva di taratura punto per punto) e linearità (scostamento massimo della caratteristica da una retta) in dipendenza dalla linea di riferimento (riferita allo zero, agli estremi, indipendente, ai minimi quadrati); la risoluzione, cioè la capacità del dispositivo di funzionare come rivelatore differenziale nell'intorno di un determinato valore del misurando; l'isteresi, cioè la proprietà di uno strumento di fornire, a transitorio estinto, valori diversi in uscita per lo stesso misurando quando questo viene fatto variare per valori crescenti o decrescenti; la ripetibilità, cioè la capacità dello strumento di fornire valori di lettura simili fra loro quando venga più volte applicato lo stesso misurando; la stabilità, cioè la capacità di mantenere inalterate le proprie caratteristiche nel tempo (da parte dello strumento); e le prescrizioni di uso come i valori ammissibili per il misurando (campo di misura = tutti i valori delle misure che il dispositivo può assegnare, campo di sicurezza = tutti i valori che il misurando può assumere senza danneggiare lo strumento), le notizie sull'uscita (analogica per l'utente umano, digitale per un sistema di elaborazione, con i relativi campi normale di funzionamento, valori di sovraccarico, potenza erogabile e impedenza di uscita) e altre prescrizioni come le regole di uso dello strumento (assetto e posizionamento) e le grandezze di influenza con i relativi campi di riferimento, impiego, sicurezza e massimo e specificando il limite di sovraaccoppiabilità (come estremo del campo di impiego) e specificando pure la funzione di influenza delle grandezze sulle prestazioni metrologiche del dispositivo. In regime dinamico si dà la risposta in frequenza (sistema lineare (o lineareizzato) espressa la banda a -3dB)

e la risposta al transitorio (con riferimento alla risposta al gradino si può indicare il tempo di assestamento, il tempo di risposta (somma di tempo morto e tempo di salita) e la sovraelongazione).

MISURE DI ENERGIA ELETTRICA

Lo strumento che viene usato per effettuare misurazioni di energia elettrica è il contatore monofase a induzione. È composto da due elettromagneti, uno voltmetrico posto in parallelo alla linea e uno amperometrico posto in serie alla linea, da un disco di alluminio e da un magnete permanente che genera la coppia resistente.

Il numero di giri del disco per kWh si chiama costante del contatore e si indica con $N = \frac{\Delta m}{\Delta E}$.

L'elettromagnete amperometrico genera un flusso Φ_A proporzionale alla corrente di linea e isofrequenziale con essa. Supponiamolo in fase. Φ_A induce nel disco una forza elettromotrice $E_A = -j\omega\Phi_A$. E_A , supportata $Z = R + jX$ l'impedenza del disco, genera una corrente $I_A = (-j\omega\Phi_A) / (R + jX)$ sfasata rispetto a E_A di un angolo $\gamma = \arccos(R / \sqrt{R^2 + X^2})$.

L'elettromagnete voltmetrico genera un flusso Φ_V proporzionale alla tensione di linea e isofrequenziale con essa. Supponiamolo sfasato di 90° in ritardo. Il flusso Φ_V risulta sfasato di un angolo $\beta = 90^\circ - \varphi$ se φ è lo sfasamento tra tensione e corrente di linea. Φ_V induce nel disco una forza elettromotrice $E_V = -j\omega\Phi_V$. E_V genera una corrente, sfasata rispetto ad E_V , dell'angolo $\gamma = \arccos(R / \sqrt{R^2 + X^2})$, $I_V = (-j\omega\Phi_V) / (R + jX)$.

Le due correnti generano una coppia motrice per effetto del flusso prodotto dall'altro elettromagnete, ciascuna, del tipo $C_m \propto \Phi_V(t) \cdot i_A(t) - \Phi_A(t) \cdot i_V(t)$. Essendo le grandezze sinusoidali, dopo alcuni passaggi, si ricava che la coppia motrice media $C_{m,m} \propto \Phi_A \Phi_V \sin(\beta) \cdot K$ dove $K = 2 \frac{\omega R}{R^2 + X^2}$ dipende da ω , X ed R , ed è un coefficiente di proporzionalità.

Il magnete permanente genera una coppia resistente sul disco proporzionale alla velocità angolare del medesimo $C_r \propto \Omega$ e alla temperatura (tramite la resistività del disco).

Incertezze sono date dal fatto che Φ_A e la corrente di linea non sono proprio in fase e lo sfasamento fra tensione di linea e Φ_V non è proprio 90° . Per avere ancora che $\beta = 90^\circ - \varphi$ è necessario che lo sfasamento tra Φ_A e Φ_V sia 90° (non necessariamente 0° e 90°) Per regolare l'angolo tra Φ_V e la tensione di linea si regola l'elettromagnete voltmetrico in modo tale da generare un flusso disperso $\Phi_{V,d}$. Per regolare l'angolo fra Φ_A e la corrente (o per ulteriori regolazioni fini di quella tra Φ_V e la tensione) si usa un avvolgimento

avvolgimento di poche spire sull'elettromagnete ampereometrico (o voltmetrico, rispettivamente) chiuso su una resistenza variabile. Ulteriore causa di incertezza (senza rimedi) sono gli attriti. Si fa in modo che l'effetto sia piccolo nel range normale di funzionamento (corrente ne' troppo piccola, ne' troppo alta).

Un contatore trifase ad induzione si ottiene duplicando la struttura monofase, per i sistemi a 3 conduttori, oppure triplicandola, per i sistemi a 4 conduttori. Questo grazie al teorema di Anon (per i sistemi a 3 fili e a 4 fili rispettivamente).

Il conteggio dei giri si puo' averlo puramente meccanico (vite senza fine + cremagliera) o per mezzo di fotodiode e transistori fotorelativi collegato ad un contimpulsi.

Dati di base di un contatore monofase ad induzione: corrente di base (in relazione alla quale sono fissate le caratteristiche del contatore), corrente massima (a cui il contatore soddisfa ancora (limite) alle precisioni di precisione), tensione di riferimento (in relazione alla quale sono fissate le caratteristiche del contatore), frequenza di riferimento (in relazione alla quale sono fissate le caratteristiche del contatore), costante del contatore ($N = \frac{\Delta m}{\Delta E}$) (relazione tra energia indicata e numero di giri del disco).

Per verificare un contatore si usa il metodo del carico fittizio che permette di alimentare i due equipaggi (voltmetrico ed ampereometrico) con due circuiti separati, alle grandezze di riferimento, senza quindi dissipare troppa potenza. Si confronta il numero di giri del contatore in prova con i giri di un contatore campione e si misura lo scostamento relativo percentuale come $E(\%) = 100 \cdot (N_x - N_c) / N_c$. La principale causa di incertezza dipende da quanto accurato e' il circuito di alimentazione: l'elemento piu' critico e' il variatore di fase (macchina a induzione a rotore avvolto, bloccato, opportunamente rotato (a 2 poli)). Per i sistemi deformati bisogna stare attenti a cosa si sta effettivamente misurando.

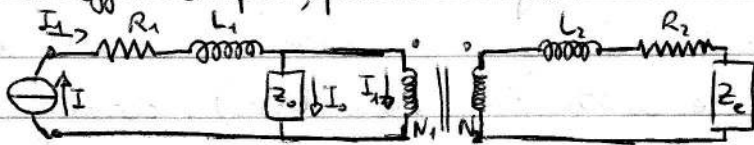
• TRASFORMATORI DI MISURA (TA E TV)

Sono necessari quando le grandezze elettriche da misurare non sono compatibili con gli strumenti di misura (generalmente troppo elevate). Garantiscono un isolamento galvanico, cosa che semplici trasduttori (divisori di tensione) non fanno, tra il circuito su cui si misura e quello di misura. I divisori ohmico e capacitivo di tensione sono sufficienti a vuoto, ma a carico non funzionano bene; in piu' dissipano potenza.

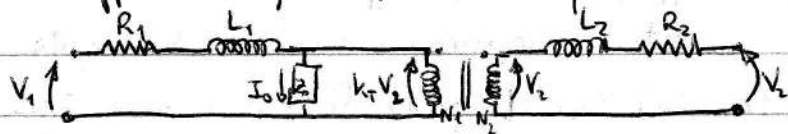
Un trasformatore ampereometrico (TA) viene posto in serie alla linea ed e' caratterizzato

da un rapporto teorico $k_T = \frac{N_2}{N_1}$, un rapporto nominale $k_n = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$, un rapporto effettivo $k = \frac{I_1}{I_2}$ dove N_1 ed N_2 sono il numero di spire a primario e secondario, I_1 e I_2 sono le correnti a primario e secondario e I_{1n} e I_{2n} sono le correnti nominali a primario e secondario. Si definisce prestazione la potenza apparente richiesta a secondario quando vi circola la I_{2n} . Errori si possono avere come $\epsilon = \frac{I_0}{I_1} \sin(\theta)$ errore d'angolo e $\eta \approx -\frac{I_0}{I_1} \cos(\theta)$ errore di rapporto. Per avere, questi errori, piccoli I_0 deve essere piccola e quindi bisogna lavorare in linearità (del ferro), con basse isteresi, basse riluttanze; cioè è necessario avere sezioni grosse, niente traferro. I TA sono di solito toroidali, con tante spire e di buon materiale. Sono oggetti compatti, pesanti e cari.

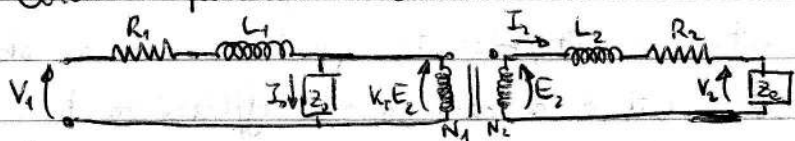
Circuito equivalente



Un trasformatore voltmetrico (TV) viene posto in parallelo alla linea ed è caratterizzato da un rapporto teorico $k_T = \frac{N_2}{N_1}$, un rapporto nominale $k_n = \frac{V_{1n}}{V_{2n}}$, un rapporto effettivo $k = \frac{V_1}{V_2}$ dove N_1 ed N_2 sono il numero di spire a primario e secondario, V_1 e V_2 sono le tensioni a primario e secondario e V_{1n} e V_{2n} sono le tensioni nominali a primario e secondario. A vuoto si hanno i seguenti errori $\epsilon = \frac{V_0}{V_1} \sin(\theta)$ errore d'angolo e $\eta \approx -\frac{V_0}{V_1} \cos(\theta)$ errore di rapporto. In questo caso si ha prestazione nulla. Circuito equivalente a vuoto.

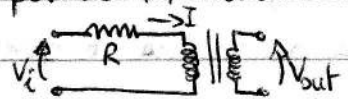


Circuito equivalente a carico



I conduttori di un TV sono grossi (grosse sezioni), i TV tendono ad avere poche spire (per avere piccola corrente) e quindi induttanze piccole e sono caratterizzati da grossi isolatori. Sono pesanti e ingombranti.

Per tensioni oltre i 150 kV si usano i trasformatori voltmetrici capacitivi che abbinano ad un TV, a monte, un divisore di tensione capacitivo. Operano in risonanza in modo tale che $\omega C = 50 \text{ Hz}$ e quindi il circuito risulta



quindi ottenendo incertezze minori ($\omega^2(C_a + C_b) \cdot L = 1$)

Dati di tarpa di un TA sono il rapporto di trasformazione nominale $\frac{I_{1n}}{I_{2n}}$, la corrente

secondaria nominale I_{2n} , la prestazione nominale e la frequenza nominale. Errore di guadagno e di fase (con $50\% I_{1n} \leq I_1 \leq 120\% I_{1n}$, $\cos(\varphi) \neq 0,8$ induttiva e $100\% \text{ Prestazione} \geq \text{carico} \geq 25\% \text{ Prestazione}$) sono dipendenti dalla classe del TA.

Dati di tarpa di un TV sono il rapporto di trasformazione nominale $\frac{V_{1n}}{V_{2n}}$, la tensione nominale secondaria V_{2n} , la prestazione e la frequenza nominale. Errore di guadagno e di fase (con $80\% V_{1n} \leq V_1 \leq 120\% V_{1n}$, $\cos(\varphi) = 0,8$ induttiva, $100\% \text{ Prestazione} \geq \text{carico} \geq 25\% \text{ Prestazione}$) sono dipendenti dalla classe del TV.

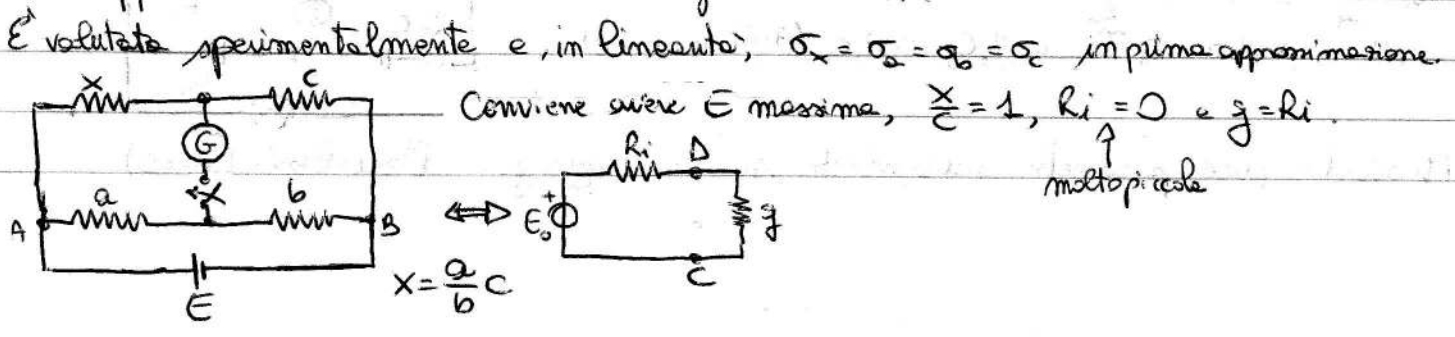
Per determinare gli errori di guadagno e di angolo di un TA è possibile utilizzare un metodo differenziale che consiste nel confronto di due TA: uno campione e quello in prova. All'equilibrio (galvanometro a zero) è possibile trovare il valore di ΔI da un'equazione di maglia e quindi calcolare gli errori. Per determinare gli errori di guadagno e di angolo di un TV è possibile utilizzare un metodo differenziale che consiste nel confronto di due TV: uno campione e quello in prova. Se il galvanometro segna zero (all'equilibrio) è possibile ricavare la tensione secondaria del trasformatore in prova da un'equazione di maglia. E quindi trovare gli errori. Questi procedimenti sono alquanto precisi. Nei sistemi trifase è possibile operare misurazioni di corrente e potenza con due TA e due TV sfruttando le inserzioni Anon sui conduttori (e il teorema di Anon) con 3 amperometri e 3 voltmetri (oppure 3 wattmetri).

• PONTE DI WHEATSTONE

È un metodo di zero (basato sul raggiungimento di un equilibrio circuitale). La misura del resistore in prova è $m_x = \frac{m_a}{m_b} m_c$ dove a e b sono sul lato opposto a x e adiacente, c è sull'altro lato adiacente a x. Contributi di incertezza: $\frac{\Delta m_x}{m_x} = \frac{\Delta m_a}{m_a} + \frac{\Delta m_b}{m_b} + \frac{\Delta m_c}{m_c} + \sigma_x + E_{item} + E_{res} + E_{caviatati} + \dots$

$\frac{\Delta m_a}{m_a} + \frac{\Delta m_b}{m_b}$ è il contributo del trasduttore $\frac{a}{b}$ (fornito dal costruttore), $\frac{\Delta m_c}{m_c}$ è il contributo del campione c

$\sigma_x = \frac{\frac{\Delta x}{x}}{\frac{\Delta e}{e}}$ sensibilità del ponte alle variazioni di x dove Δx è la variazione di x attorno all'equilibrio, Δe è la variazione di e prodotta da Δx e e è la minima variazione apprezzabile di e (risoluzione del galvanometro).



$E_{contatti}$ è il contributo delle resistenze di contatto (eliminabile, alcune, con il collegamento dei resistori a 4 morsetti (solo 2 su 4)).

$E_{ptem.}$ è il contributo delle forze termoelettromotrici dovute all'effetto Seebeck (eliminabile invertendo l'alimentazione).

E_{RES} è il contributo della risoluzione del galvanometro. Se C è finemente variabile.

$\frac{\Delta m_a}{m_a}$ e $\frac{\Delta m_b}{m_b}$ si possono eliminare con un metallo di sostituzione, che tuttavia potrà ad avere 2σ come contributo di incertezza della similitudine e una voce in più $E_{stabilizzatori}$ dovute all'eventuale instabilità dell'alimentazione (trascurabile o eliminabile effettuando 3 equilibri equidistanti nel tempo).

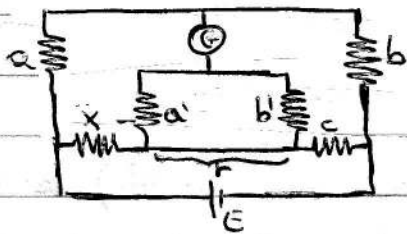
Se C non è finemente variabile si aggiunge anche $E_{(1+\frac{\Delta C}{C})}$ dovuto all'incertezza della zona S (conviene quindi avere $X \ll C$).

$\frac{\Delta m_a}{m_a}$ e $\frac{\Delta m_b}{m_b}$ si possono eliminare anche con l'inversione dei lati di rapporto. In più con questo metodo si ha solo σ e $\frac{1}{2} E_{stabilizzatori}$, e

$E_{(1+\frac{1}{2}\frac{\Delta C}{C})}$. Oltre agli altri contributi ($E_{ptem.}$, $E_{contatti}$, E_{RES}).

Il ponte di Thomson permette di eliminare le resistenze di contatto

$$X = \frac{a}{b} C + \frac{r a'}{a' b' + r} \left[\frac{a b'}{b a'} - 1 \right]; \text{ se } \frac{a}{b} = \frac{a'}{b'} \Rightarrow X = \frac{a}{b} C. \text{ È un ponte doppio}$$

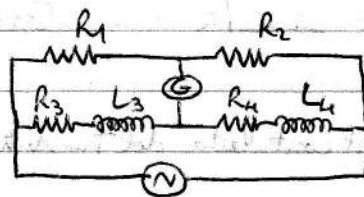


• PONTI IN CORRENTE ALTERNATA

Il ponte a rapporto di Wien è indipendente

dalla frequenza (ω). $\bar{Z}_3 = \frac{R_1}{R_2} \bar{Z}_4 \Rightarrow$

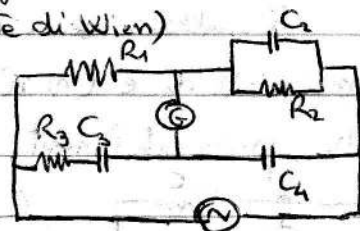
$$\Rightarrow R_3 = \frac{R_1}{R_2} R_4; L_3 = \frac{R_1}{R_2} L_4$$



Il ponte a prodotto di Scheimp è indipendente dalla frequenza (ω) e funziona anche ad alte frequenze di alimentazione (cosa che non fa il ponte di Wien)

$$R_3 = \frac{R_1}{C_4} C_2; C_3 = \frac{C_1}{R_1} R_2$$

angolo di perdita $\tan \delta_3 = \omega R_3 C_3 = \omega R_1 C_1$ (dipende da ω)



Muovendo due parametri indipendenti si può raggiungere l'equilibrio ($G=0$)

Cause di incertezza sono errori nel modello (frequenza \rightarrow armoniche e parametri parassiti) eliminabili con filtri prima del rivelatore di zero (selettività); effetti di campi magnetici eliminabili schermando il ponte con ferro dolce, facendo cavi avvolti su bus sterrati e spire piccole, cambiando la frequenza; effetti dei campi elettrici, sotto forma di capacità parassite fra i conduttori del ponte e verso terra, eliminabili schermando i componenti e la diagonale di rivelazione: si aumentano le capacità parassite, ma adesso sono note e si possono fare delle correzioni; lo schermo viene messo a massa, oppure al potenziale del rivelatore di zero, oppure alla Terra di Wagner.

• OSCILLOSCOPIA DIGITALE (DSO)

Un DSO è costituito da un condizionatore di ingresso analogico (come nell'oscilloscopio analogico) un convertitore A/D, una memoria di acquisizione a stato solido, risultanza ciclica e veloci da scrivere, lente da leggere (costose), un BUS su cui interfacciano la memoria interna del DSO (RAM) la CPU e i circuiti di visualizzazione (schermo) e un eventuale collegamento con PC. Lo schermo è a pilotaggio raster, 10x10, sincronizzato ai 50Hz, a colori e ripulito continuamente (grazie alla memoria). I campioni acquisiti sono spesso interpolati dalla CPU per ottenere una traccia sullo schermo. Il convertitore A/D è, di solito, a 6, 7, 8 bit (talvolta anche 10 bit) con un'incertezza del 4% (globalmente del %, sullo strumento). Un segnale è acquisito mediante campionamento (quindi per punti) sotto due condizioni: se il segnale è limitato in banda ($x(f)=0$ per $f > B$) e se vale $F_c \geq 2B$. In questo modo non si perdono informazioni. Il ricostruttore ottimo di segnale, a partire dai campioni, è del tipo $\frac{\sin(x)}{x}$ (da $-\infty$ a $+\infty$) simmetrico rispetto al campione attuale (è un filtro passa basso ideale). Tuttavia non è utilizzabile perché si dovrebbe conoscere tutti i campioni, da $-\infty$ a $+\infty$. Se non si soddisfa la condizione $F_c \geq 2B$ allora si incorre nel fenomeno dell'aliasing, cioè a schermo viene visualizzato un segnale diverso da quello reale. Ricostruttori usati realmente sono "0 hold" (basato sul campione attuale), "1 hold" (assume il valore del campione), "2 hold" (interpola con rette), "3 hold" (interpola con parabole). Quindi il campionamento introduce una periodizzazione dello spettro del segnale. Per questo motivo non è matematicamente possibile osservare segnali con banda superiore a $\frac{F_c}{2}$ in real time. È possibile tuttavia osservarli con il campionamento in tempo equivalente, cioè acquisendo campioni su più periodi del segnale per ricostruire un solo periodo (è come pensare un riparto a banda frequenza del segnale originale). la doppia base tempi non esiste ed è

sostituita dalla possibilità di impostare pre, post trigger e piacere, oppure con i colori usando tracce multiple. Un DSO può anche operare sui segnali acquisiti, analizzandoli o facendoci dei conti, oppure calcolare la fast fourier transform (FFT), oltre a calcolare frequenza e sfasamenti (con il clock interno al DSO (incertezze del $10^{-5}, 10^{-6}$)).

È possibile avere più canali: N condizionatori, un multiplexer, un ADC e una memoria (attenzione al teorema di Shannon in quanto la frequenza di campionamento di ogni segnale si dimezza con 2 segnali, diventa $\frac{1}{4}$ con $4, \dots$, e al fatto che gli sfasamenti non sono reali, ma c'è già in partenza un ritardo di $\frac{T}{2}$ (con 2 segnali) sul secondo!; N condizionatori, N ADC, una memoria (attenzione ai problemi di intasamento, risolvibili con un buffer flip-flop); N condizionatori, N ADC, N memoria (soluzione più costosa, ma più brillante). Per quanto concerne il trigger, è possibile avere un trigger con anticipo o ritardo, livello e pendenza come negli oscilloscopi analogici, a due livelli (con isteresi) per avere livello di abilitazione e livello di trigger vero e proprio, su più canali, per poter impostare più condizioni, o imposto da un pattern, o infine, automaticamente impostato dal DSO. Se nella memoria di visualizzazione ho troppi campioni, opero una decimazione di questi in modo da avere tanti campioni quanti ce ne stanno sullo schermo. Se ne ho troppi pochi opero un'interpolazione (garantendo sempre il rispetto del teorema di Shannon con i campioni reali (non quelli fittizi aggiunti dall'interpolatore)), che sia ovviamente adeguato al segnale (cioè che non mi faccia perdere informazioni su forma d'onda, ampiezza e frequenza). È necessario fare attenzione ad eventuali aliasing percettivi, senza interpolatori, fatti da noi: è necessario associare ad ogni punto quello ad esso temporalmente più vicino, non spazialmente. Per verificare la corretta disposizione del DSO basta modificare la base tempi: se le forme d'onda visualizzate non cambiano coerentemente, allora c'è aliasing. Le specifiche di un DSO sono i Bit Equivalenti (come risoluzione di un convertitore AD fittizio con risoluzione pari all'incertezza dello strumento), la banda passante (il DSO è un filtro passa basso) data come frequenza a cui c'è un'attenuazione di $-3dB$ (utile per il calcolo dell'incertezza) o come funzione di trasferimento (DSO assimilato a un sistema del primo ordine) (utile per eventuali correzioni), la frequenza di campionamento, l'accuratezza statica verticale e l'accuratezza (incertezza) della base tempi espresse come parametri o come formule binomiali.

• AUTOMATIZZAZIONE DI UN PROCESSO DI MISURA

Se le misure sono tante, ma ripetitive, oppure sono poche, ma complesse, e si vuole ridurre l'errore umano, si devono elaborare molti dati e si devono presentare i risultati

in modo opportuno può essere utile automatizzare un processo di misura. Un sistema automatico di misura è un insieme di apparecchiature che lavorano insieme per effettuare una misurazione (inviare stimoli al D.U.T., rilevare grandezze fisiche interessanti, elaborano e memorizzano i dati acquisiti, adattano eventualmente il processo in funzione dei dati misurati). Il sistema automatico di misura può essere rigido, cioè costruito ad hoc e non modificabile (molto rapido, costoso), oppure flessibile, cioè adatto per differenti tipi di misurazioni, riconfigurabile (hardware e software). Con pochi punti di misura conviene avere un sistema intelligente (con CPU), cioè strumenti con μP ; con centinaia di punti di misura conviene avere un sistema flessibile, mentre con migliaia di punti di misura conviene avere un sistema integrato (o rigido). Spinta decisiva è stata data dalla necessità di eseguire misurazioni sempre più complesse con strumenti sempre più sofisticati, e dal notevole abbassamento di costo delle memorie e delle CPU e sempre minore volume di queste. Le esigenze industriali (collaudi, elevate ripetitività, basso intervento dell'operatore e elevato rapporto resa/costo) portano ad un sistema rigido A.T.E., mentre le esigenze dei laboratori di ricerca (bassa ripetitività, complessità elevata, basse incertezze (tarature, ...), riconfigurabilità, complesse operazioni di trattamento dati) portano ad un sistema flessibile. È conveniente prevedere una espansione (non eccessiva) del sistema automatico di misura. Per impostare un sistema automatico di misura è necessario conoscere cosa misurare e che relazione ci sia tra misurando e parametri misurati, i fattori ambientali di influenza e i loro effetti (relazioni), la procedura di eliminazione di errori sistematici (calibrazione). Si procede alla scelta degli strumenti adatti a soddisfare le suddette esigenze. Si imposta la procedura di elaborazione numerica dei dati acquisiti (eliminazione di errori sistematici e valutazione della qualità della misura), il modo di presentare i dati (massimo dell'informazione con il minimo delle parole e numeri). Si configura il processore (PC) di conseguenza (software di utilità) e poi si scrive il software (operativo) di gestione. La documentazione è poi essenziale per successive modifiche o interventi di manutenzione.

• INTERFACCIA

Un'interfaccia è l'insieme dei supporti fisici (cavi) e dei protocolli logici che permette lo scambio di informazioni (il colloquio) fra parti diverse di un sistema (componenti su una scheda, schede diverse, apparecchiature diverse) senza che gli attori del colloquio ripetano danni. Sono richieste: flessibilità (semplicità di riconfigurazione, ampia scelta di tecnologia hardware, modularità, interconnessione di apparecchiature operanti in campi diversi); compatibilità (interconnessione di strumenti di produttori diversi, standardizzazione (sufficiente)); costo (minimizzare il rapporto

costo/prestazioni, costo iniziale e costo di manutenzione inclusi), affidabilità (hardware e software: pochi interventi di manutenzione, programmi diagnostici, documentazione chiara ed esauriente, software di buona qualità, conoscenza del funzionamento dell'interfaccia; dei messaggi trasmessi: massimizzare il rapporto quantità di informazione / probabilità di errore, codici di protezione e controllo (parità, sfruttamento ottimale del canale di trasmissione) Un'interfaccia è definita da aspetti meccanici (piastre, cavi, connettori, elementi di montaggio), elettrici (parametri elettrici dei circuiti), funzionali (definizione dei segnali, protocolli di colloquio, codici dei messaggi, temporizzazione dei colloqui, azioni da intraprendere in caso di guasti e in caso di buona riuscita delle trasmissioni dati), operativi (dipendenti dagli strumenti, che attivano le funzioni desiderate che si vuole far compiere al sistema). Le prestazioni di un'interfaccia sono valutate in termini di numero di elementi che possono colloquiare, lunghezza massima dei cavi e tipo di connettori, tipi o formati dei messaggi che possono/devero essere trasmessi (dati, comandi, controlli, stato e interrupt), possibilità di programmazione software da parte dell'utente, velocità di scambio dei dati, tipo di controlli offerti all'utente (garantiscono la corretta trasmissione dei dati). Le interfacce possono essere seriali (lente e poco costose) o parallele (veloci e costose), asincrone (la velocità di trasmissione dati è determinata dal device più lento), isocrona (il trasmettitore invia anche il suo clock e il ricevente si sincronizza con esso), o sincrona (i clock di trasmettitore e ricevitore sono sincroni). Sulle lunghe distanze si preferiscono interfacce seriali su cui viene inviato una portante su cui si sovrappongono delle modulazioni (uso di linee adatte o modem). Codici per i messaggi sono i codici Baudot, Ascii, BCD, Esadecimale, Ottale. Le interfacce possono essere realizzate (in relazione alla velocità di scambio delle informazioni e alla complessità delle funzioni da implementare) in hardware (funzioni più complesse, driver e receiver) veloci e affidabili, ma rigide e costose, in firmware (handshake, controlli di parità, gestione dei controlli (o linee di controllo), protocolli di colloquio) versatili, economiche, programmabili, semplici, facilmente reperibili, ma più lente, in software (operazioni di alto livello come inizializzazione, conversione dei codici, gestione dell'I/O, elaborazione informatica dei dati, protocolli molto complessi e gestione dei turni di talking nei colloqui).

• SISTEMI AUTOMATICI DI ACQUISIZIONE DEI DATI (SAD)

Un SAD si occupa del condizionamento elettrico dei segnali in ingresso, preelaborazione dei segnali condizionati (filtraggio, eliminazione di rumori), conversione A/D dei segnali analogici e relativo campionamento, elaborazione numerica dei dati acquisiti, estrazione delle informazioni di interesse e loro concentrazione e memorizzazione, scelta della priorità di tali

Informazioni, compressione e invio dei dati, ricezione ed esecuzione di comandi dal sistema di gestione e controllo. Lo scopo di un A.T.E. è lo stimolo di un sistema sotto esame e la analisi delle sue uscite per la valutazione dello stato di funzionamento del sistema stesso.

Caratteristiche di un SAD riferite all'impianto sono il numero e il tipo di grandezze da acquisire, le dimensioni dell'impianto, la protezione dei messaggi (filtri, codici di errore), velocità di acquisizione e tipo, risoluzione e incertezza (analogici) richiesta. Caratteristiche di un SAD riferite al sistema di controllo sono i protocolli di comunicazione e le norme internazionali (integrabilità hardware e software), gli algoritmi di preelaborazione (filtri, trasformate, funzionali, loop di controllo), presentazione all'operatore (con quadri mimici, pulsanti, immagini video, metafore). Caratteristiche di un SAD riferite al SAD stesso sono la robustezza (requisiti meccanici, elettromagnetica, termici, ambientali, ...), l'affidabilità (MTBF, ...) e manutenibilità, eventuale back-up caldo, autodiagnosi di guasti e possibilità di operare in modo degradato, la modularità (riconfigurabilità, second source, ...) e la personalizzabilità, l'intelligenza (CPU, μP , sistemi distribuiti, smart sensors), i costi (acquisto ed esercizio).

Elementi funzionali di un SAD: l'interfaccia verso il sistema di controllo, applica il sistema ISO-OSI a 7 livelli (ogni livello ha un protocollo e necessita che quello inferiore (eccetto il primo) faccia qualcosa, ma non si interviene a come questa cosa venga fatta) e gestisce l'colloquio con il sistema di gestione; si possono usare doppini, cavi coassiali, fibre ottiche a seconda delle distanze da percorrere, secondo i protocolli RS-232-C (seriale), RS-422, ETHERNET (IEEE 802.3); l'interfaccia verso l'operatore (terminali alfanumerici o grafici, stampanti, plotter, pulsanti, quadri mimici); il bus parallelo che permette la connessione degli strumenti che compongono un SAD) di cui i più usati sono il VME (più parlato (una alla volta), presenza di interrupt, un system controller, diviso in data transfer bus (32 bit di dati, 32 bit di indirizzo), priority interrupt bus (7 canali), data transfer bus arbitration (3 fili), utility bus (4 o 5 fili) per autodiagnosi), il VXI (basato sul VME, ma con specifiche più stringenti su componenti, segnali, compatibilità elettromagnetica e termica), l'IEEE 488 o IEC 625 (max 20 metri di cavo, connessioni a stella o a festone, un parlatore alla volta, fino a 14 ascoltatori, un solo system controller, diviso in data bus (8 linee), control bus (3 linee), management bus (6 linee, possibilità di interrupt), i bus PC o AT (una sola CPU, più DSP (volendo), data bus, address bus, interrupt bus); il bus seriale è del tutto simile, la CPU, o comunque un controllore intelligente con RAM ed EPROM (o ROM) ed eventuali memorie di massa, che gestisce il SAD, le comunicazioni, le procedure di acquisizione ed esegue gli algoritmi (spesso in backup caldo); l'unità di acquisizione dei dati (condizionatori di segnale (filtri, debounce, attenuatori o amplificatori, adattatori di impedenza)

che risolvono i problemi dei disturbi, dell'ampiezza inadeguata del segnale (instrumentation amplifiers), degli anelli di massa, resistenze non adatte alla comunicazione, il rumore stocastico (componenti elettronici), deterministico (ambiente), il problema dell'aliasing; un multiplexer (elettronico o elettromeccanico), un amplificatore (per strumentazione) (sample and hold con i convertitori spot); un convertitore A/D (spot o a doppia rampa) ad alta risoluzione (6-22 bit) e buona accuratezza (1-2LSB come incertezza) con tempi di conversione anche molto brevi (\approx seconda delle esigenze) (flash, ed approssimazioni successive, ed inseguimento, a conversione tensione/frequenza, a rampa a semplice, doppia o quadrupla integrazione); interfaccia fra bus e concentratore. Architetture tipiche sono: sistemi monoscheda, con un solo concentratore, con un solo concentratore primario e vari concentratori remoti, con solo concentratori remoti (a seconda che si debbano rispettivamente: un sistema autonomo a basso costo, pochi punti di misura e piccole dimensioni, molti punti di misura e medie dimensioni, grandi dimensioni). Ogni concentratore può avere uno o due bus interni (divisi in bus dati e bus CPU di gestione), ha una CPU (con RAM ed EPROM), l'interfaccia con il sistema di controllo e riceve i dati analogici e digitali dall'impianto (li può anche processare). I sistemi monoscheda possono essere con o senza CPU (senza CPU sono le DAQ Board). I software applicativi si dividono in 3 generazioni: librerie con i driver chiamabili in vari linguaggi di programmazione, shell per la generazione di programmi attraverso menu, creazione di uno strumento virtuale con metafore visive e icone.

• IEEE 488.1

Lo standard IEEE 488.1 definisce un sistema di comunicazione tra device differenti in distanza limitata (max. 20 m) e specifica i requisiti meccanici, elettrici e funzionali indipendenti dal device in questione. Permette di connettere strumenti di diversi produttori con diversi scopi nel sistema e diverse capacità. Permette il colloquio diretto con un system controller e tra i device senza passare attraverso l'unità centrale per ogni messaggio. Prevede pochissime restrizioni sulla strumentazione connessa. Permette il colloquio asincrono: la velocità di trasmissione dei dati è imposta dal device più lento ad ogni colloquio. I dati scambiati sono digitali, ci possono essere al massimo 15 device connessi, la velocità massima è 1MB/s, i cavi possono essere lunghi al massimo 20 metri. Garantisce che due strumenti connessi con il bus IEEE 488 non boccino, ma non garantisce che comunichino. Non si occupa delle funzioni del device che sono necessarie per il corretto funzionamento del device stesso. Specifica: il tipo di connettori, le funzioni di ogni piedino, come connettere i device, come costruire i cavi, le configurazioni a stella o a festone, la velocità dei dati, i requisiti di driver e receiver, i requisiti di cavi composti, le caratteristiche elettriche dei cavi, i requisiti di terra, undici funzioni

di interfaccia che definiscono come sono usate le linee di segnale, il protocollo con cui operano le funzioni di interfaccia e le relazioni logiche e temporali fra stati specificati (logici). Il bus è formato da 8 linee dati (dato + massa) [DIO 1-8], 3 linee di handshake [DAV, NRFD, NDAC] e 5 linee di controllo [IFC, ATN, SRQ, REN, EOI]. Un device può essere ascoltatore, parlatore, ozioso o controller in charge: il primo riceve i dati dal bus (max. 14), il secondo mette i dati sul bus (max. 1), il terzo è scommesso dal bus (utile se è un dispositivo lento), il quarto indirizza gli altri come listener, talker o idle, risponde agli interrupt, è un ascoltatore (di norma) (max. 1). Esiste poi il system controller che gestisce l'intero bus e controlla che non si inchiodi (max. 1). Protocollo di HANDSHAKE: tutti i device sono pronti per un nuovo byte (NRFD alto), il byte diventa valido (DAV basso), il primo ascoltatore abbassa NRFD perché è impegnato a processare il byte appena trasmesso, quando l'ultimo device ha terminato NDAC sale in alto per indicare che tutti i device hanno letto il byte, il talker alza DAV per rendere non valido il byte sul bus e mette un nuovo byte, il listener più veloce abbassa NDAC in preparazione al nuovo ciclo. Le tre linee DAV, NRFD e NDAC sono in logica negata (è implementato il wired-or). Linee di controllo: ATN, causa il passaggio del bus dalla modalità data mode alla modalità command mode (e viceversa) e l'interruzione di qualunque colloquio in atto (ATN basso = vero \Rightarrow command mode, ATN alto = falso \Rightarrow data mode) e pone tutti i device come listener, escluso il controller (talker); IFC, inizializza il bus IEEE 488 in uno stato noto (ozioso); SRQ, avvisa il controller in charge di una necessità di attenzione da parte di un device e causa un serial o parallel poll da parte del controller in charge; REN, abilita i pannelli frontali dei device; EOI, indica l'ultimo byte in una sequenza di byte (EOS), fa rispondere i device indirizzati al parallel poll (IDENTIFY). In command mode possono essere inviati comandi ai device e indirizzare questi ultimi (o come parlatore o come ascoltatore). Comandi universali sono UNT, UNL, XCL, UO, SPE, SPD, PDU. Altri comandi importanti sono GET, SDC, GIL, PFC, TCT, PPE, PPD. Poll seriale: il controller in charge interroga, uno dopo l'altro, tutti i device connessi al bus per conoscere chi è stato a mandare la richiesta di servizio. Ogni device risponde con un byte di stato che contiene le informazioni sul device, la risposta alla domanda ("sei stato tu?") nel bit 7 e il motivo (se è stato lui) della richiesta. Poll parallelo: il controller indirizza 8 device (max) alla volta e poi richiede che ognuno di essi risponda con un bit su una linea dati (è necessario che il controller dica al device come rispondere (senza della richiesta) e su quale linea rispondere. Le funzioni di interfaccia definiscono le capacità operative che ciascun device connesso al bus possiede per trasmettere, ricevere e processare messaggi. Dipendono dallo strumento.

• IEEE 488.2

Lo standard IEEE 488.2 definisce un set minimo di capacità operative di interfaccia, il formato e la sintassi dei dati trasmessi, un protocollo per i messaggi, un set di comandi comuni, uno status reporting model in modo che i byte di stato siano più vicini e siano rappresentati in modo univoco. Un device IEEE 488.2 ha le seguenti caratteristiche: talker, listener, service request, device clear, può avere remote local, parallel poll, device trigger. Si segue la logica "forgiving listening, precise talking" cioè un device deve essere in grado di accettare vari tipi di dati in ingresso, ma trasmetterli in modo preciso secondo le regole / restrizioni imposte. I dati sono in codice ASCII, binario floating point, intero binario a 8 bit. Il receiver ha previsti questi formati: decimal numeric, character, suffix, non-decimal numeric, string, arbitrary block, expression. Il talker usa: NR1 numeric, arbitrary ascii, character, NR2 numeric, NR3 numeric, hexadecimal numeric, binary numeric, octal numeric, string, definite length arbitrary block, indefinite length arbitrary block. La sintassi dei comandi rivela questa logica: l'ascoltatore ha molte più possibilità del parlatore (a cui è richiesta maggior precisione in terminatori, separatori, comandi stessi e queries (domande)). Le queries sono richieste di informazioni al device. Lo standard IEEE 488.2 definisce il byte di stato non solo come BIT 7, ma anche con altri bit aggiuntivi: ESB e MAV. Inoltre il bit 7 è RSO se letto nel serial poll, MSS se letto tramite query *STB? È infatti possibile accedere allo status byte tramite apposite queries. Vengono anche definiti i registri degli eventi, che registrano i cambiamenti che si hanno in un device, che possono essere letti e cancellati tramite opportuni comandi (device dependent). Esiste anche la coda in uscita (i messaggi che debbono ancora essere inviati) che può essere cancellata solo con comandi quali il reset e DCL (IEEE 488.4). Lo standard IEEE 488.2 definisce anche un insieme di comandi comuni che ciascun device deve avere e un insieme che può avere. Questi programmi sono preceduti da '*' e possono essere queries (seguiti da '!'). Si possono anche definire macro! Particolare attenzione è poi rivolta all'inizializzazione dell'interfaccia IEEE 488 (IFC), dell'interprete dei comandi (DCL oppure SDC) e delle funzioni interne del device (*RSI). È possibile, infine, controllare un device in modo tale che esso si riporti nell'ultima configurazione di setting, al momento della riaccensione, oppure azzerare i registri "enable" (SRQ enable register, standard event status enable register e parallel poll enable register) al momento della riaccensione con il comando *PSC.