

Scegliere il giusto tipo di accelerometro

Anthony Chu

Come nella maggior parte delle attività tecniche, la scelta dello strumento idoneo può condizionare i risultati delle misurazioni. Le seguenti informazioni possono aiutare i lettori a valutare la corretta selezione dell'accelerometro. Iniziamo con le classificazioni di base e le loro tecnologie.

Base dell'accelerometro

Ci sono due famiglie di accelerometri:

- Risposta AC
- Risposta DC

La risposta di un accelerometro AC, come dice il nome, è l'uscita accoppiata in AC.

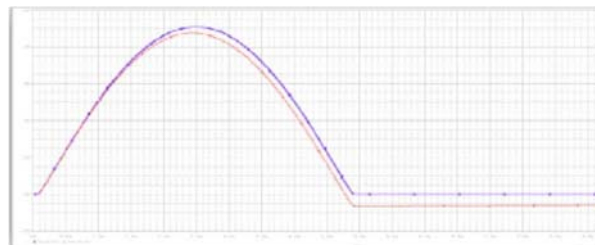
Un dispositivo accoppiato in AC non può essere utilizzato, per esempio, per misurare l'accelerazione statica come la gravità, una accelerazione costante, l'accelerazione centrifuga. E' adatto solo per misurare eventi dinamici.

Al contrario un accelerometro con risposta DC è accoppiato in continua e può rispondere a zero Hertz. Esso, pertanto, può essere utilizzato per misurare l'accelerazione statica, nonché dinamica. La capacità di misurare l'accelerazione statica non è tuttavia l'unica ragione per scegliere un accelerometro con risposta DC.

Accelerazione, velocità, spostamento

La maggior parte degli studi vibrazionali richiedono la conoscenza dell'accelerazione, della velocità e dello spostamento, variabili importanti che gli ingegneri utilizzano nella progettazione o la convalida di una struttura. In generale, il valore di g fornisce un buon riferimento, ma velocità e spostamento sono le variabili necessarie nella maggior parte dei calcoli di progetto. Per ricavare velocità e spostamento, partendo dall'accelerazione, è necessaria una prima e poi una seconda integrazione, rispettivamente nel dominio analogico o digitale. E' a questo punto dove un accelerometro con risposta AC crea il problema. Per illustrare questa situazione si deve immaginare quando un accelerometro con risposta AC viene utilizzato per misurare un impulso semi-sinusoidale di durata finita. L'uscita di questo accelerometro non può rilevare il picco dell'ingresso semi-sinusoidale a causa della limitazione intrinseca imposta dalla sua costante di tempo RC. Alla fine dell'impulso semi-sinusoidale, l'uscita AC che accoppia l'accelerometro produrrà un sotto-polarizzazione (offset) per lo stesso motivo. La traccia rossa nella figura seguente

illustra l'uscita di un accelerometro AC a seguito di un segnale di ingresso semi-sinusoidale



Queste apparenti piccole deviazioni di ampiezza possono causare errori significativi durante il calcolo dell'integrazione. Un accelerometro con risposta DC non ha questo problema perché può seguire, in modo accurato e continui segnali anche lenti e statici, come la gravità. Nelle applicazioni reali quotidiane, i segnali fisici provengono da micro vibrazioni e non certo dall'impulso di mezza senoide evidenziato, ma il problema di fondo rimane ogni volta che si ha la necessità di misurare un andamento lento con un accelerometro con accoppiamento in AC. Di seguito una panoramica degli accelerometri nelle varie tecnologie.

Accelerometro AC

Gli accelerometri con risposta AC più comuni sono i piezoelettrici con gli elementi sensibili che con la massa sismica provocano una forza di taglio sulla superficie degli elementi che genera una carica elettrica proporzionale all'accelerazione. Elettricamente, l'elemento piezoelettrico si presenta come un condensatore che è la sorgente ed una resistenza interna finita, tipicamente nell'ordine di 10 e 9 ohm

Questo costituisce la costante di tempo RC che definisce le caratteristiche di passa-alto del dispositivo. Per questo motivo, l'accelerometro piezoelettrico non può essere utilizzato per misurare eventi statici. Elementi piezoelettrici possono essere naturali o artificiali, con varie caratteristiche di efficienza e di linearità. Due sono i tipi di accelerometri piezoelettrici disponibili sul mercato: il tipo con uscita in carica oppure con uscita in tensione.

Accelerometro con uscita in carica

La maggior parte dei sensori piezoelettrici si basano su ceramica zirconato-titanato-piombo (PZT) che offre un campo esteso di temperatura, un'ampia risposta dinamica e larghezza di banda (utilizzabile > 10kHz). Il corpo dell'accelerometro è in metallo, chiuso ermeticamente con saldature.

L'accelerometro piezoelettrico è considerato uno dei sensori più durevoli per la sua capacità di tollerare condizioni ambientali ostili. Per le sue caratteristiche di alta impedenza è un dispositivo che in modalità carica deve essere usato con un cavo di connessione a basso rumore, schermato, preferibilmente in una configurazione coassiale. Basso rumore si riferisce (basso rumore triboelettrico).



Questi cavi a basso rumore e alto isolamento sono comunemente disponibili presso i costruttori di sensori. L'amplificatore di carica è utilizzato per interfacciarsi agli accelerometri piezoelettrici per evitare problemi associati alla capacità del cavo. Con un moderno amplificatore di carica, l'ampia gamma dinamica (> 120 dB) dei sensori in modalità di carica può essere facilmente realizzata. Grazie alla estesa gamma di temperature di funzionamento delle ceramiche piezoelettriche, alcuni dispositivi in modalità di carica possono essere utilizzati da - 200 ° C a + 400 ° C e oltre.

Sono particolarmente adatti per l'uso in misure di vibrazioni a temperature estreme, come nel controllo di turbine.

Accelerometro con uscita in tensione

È un altro tipo di accelerometro piezoelettrico che fornisce l'uscita in tensione e non in carica. Questo si ottiene incorporando l'amplificatore di carica all'interno del corpo dell'accelerometro. Gli accelerometri con uscita in tensione hanno due modalità di connessione elettrica: 3 fili (Segnale, Massa, Alimentazione) o 2 fili (Alimentazione/Segnale, Massa). La modalità a 2 fili è anche conosciuta come Integral Electronics Piezoelectric (IEPE). IEPE è popolare grazie alla comodità di utilizzare un coassiale (a due fili), configurazione in cui il segnale AC è sovrapposto sulla linea di alimentazione DC. Un condensatore di blocco elimina il bias (alimentazione DC) dal segnale di accelerazione. Molti strumenti di analisi e acquisizione moderni offrono la possibilità di ingressi IEPE / ICP³ che permettono un'interfaccia diretta agli accelerometri IEPE. Se



l'opzione alimentazione IEPE non è disponibile, è necessario un condizionatore/alimentatore di segnale con alimentazione a corrente costante per interfacciarsi con questo tipo di dispositivi. Il dispositivo in modalità 3 fili invece richiede una linea di alimentazione DC separata per il corretto funzionamento. A differenza di un dispositivo in modalità di carica che contiene solo elementi ceramici sensibili un dispositivo in modo tensione comprende un circuito microelettronico che limita la temperatura di funzionamento dell'elettronica, di solito + 125 ° C.

Alcuni accelerometri si spingono al limite di + 175 ° C, ma richiedono compromessi nelle specifiche tecniche. Una riflessione sul campo dinamico utilizzabile; grazie alla una vasta gamma di elementi ceramici piezoelettrici è possibile cercare la dinamica di interesse. Gli accelerometri in modalità di carica sono più flessibili grazie alla amplificazione scalabile regolata dal selettore dell'amplificatore di carica.

Gli accelerometri in modalità in tensione, al contrario, hanno il loro range di fondo scala predeterminato dall'amplificatore interno e non può essere modificato. Accelerometri piezoelettrici sono disponibili anche nelle versioni miniatura con minimo ingombro. Sono quindi ideali per misure dinamiche di strutture leggere.

Accelerometro DC

Due sono le tecnologie più comuni per la costruzione degli accelerometri DC:

- Capacitiva
- Piezoresistiva

Accelerometro Capacitivo

Il tipo capacitivo (variazioni di capacità sotto effetto dell'accelerazione della massa sismica) è la tecnologia oggi più comune mentre utilizzata per l'accelerometro. Sono realizzati per applicazioni comuni come gli air-bag e dispositivi mobili. Con tecnologia Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS). Una tecnologia di fabbricazione con economia di scala, processi di alto volume e quindi costi di produzione inferiori. Gli accelerometri capacitivi sono di basso costo con un rapporto segnale-rumore e risposta dinamica non ottimale. Una caratteristica intrinseca di tutti gli elementi capacitivi è il circuito di clock interno. La frequenza di tale circuito è elevata (~ 500kHz) ed è parte integrante del circuito di rilevazione della corrente, sempre presente nel segnale di uscita. Il rumore presente è ad alta frequenza ed generale al di fuori del campo d'interesse di misura dell'accelerazione. Grazie al suo amplificatore incorporato/IC, i 3 fili (o

4 fili per uscita differenziale) sono la connessione ad una stabile sorgente di tensione.

La larghezza di banda dell'accelerometro capacitivo è limitata, a qualche centinaia di Hertz a causa dello smorzamento a gas che reagisce all'elemento per l'effetto smorzante. La struttura dell'elemento del sensore capacitivo favorisce il basso campo di misura di accelerazione. Il campo massimo è in genere limitato a meno di 100g. Al di fuori di queste limitazioni i moderni accelerometri capacitivi, in particolare i dispositivi di alta qualità, offrono una buona linearità ed elevata stabilità del segnale di uscita. Accelerometri di tipo capacitivo sono più adatti per applicazioni di monitoraggio. Sono ideali per la misurazione del movimento a bassa frequenza dove il livello g è anche basso, come ad esempio misure di vibrazioni nell'ingegneria civile.



Accelerometro Piezoresistivo

È l'altra tecnologia comunemente usata per gli accelerometri con risposta DC. Al posto di rilevare le variazioni di capacità (come in un dispositivo capacitivo), un accelerometro piezoresistivo rileva la variazione di resistenza degli estensimetri che fanno parte del sistema sismico dell'accelerometro. La maggior parte degli ingegneri hanno familiarità con gli estensimetri e sanno come interfacciarsi con la loro uscita.



Il segnale in uscita per la quasi totalità dei circuiti piezoresistivi è sensibile alla variazione di temperatura. È quindi necessario applicare un circuito di compensazione interno o esterno. I moderni accelerometri piezoresistivi incorporano il componente ASIC per linearizzare e compensare il segnale, anche in temperatura prima del condizionamento. 5 kHz sono circa il massimo della larghezza di banda degli accelerometri piezoresistivi. Molti elementi sono smorzati a gas (tipo MEMS) o a fluido (bonded strain gauge type).

Le caratteristiche di smorzamento possono essere un fattore importante nella scelta di un accelerometro. Nelle applicazioni dove la vibrazione meccanica contiene delle componenti in alta frequenza un accelerometro smorzato permette all'elemento sensore di evitare il fenomeno della risonanza. La natura dell'uscita elettrica del sensore piezoresistivo, differenziale e puramente resistiva, permette un rapporto di segnale rumore generalmente eccezionale. La sua ampiezza dinamica è limitata dalla sola qualità dell'amplificatore del ponte DC. Per elevate misure di shock, alcuni elementi piezoresistivi sono in grado di lavorare con livelli di accelerazione ben al

di sopra di 10.000 g. Questa tecnologia per la sua ampia larghezza di banda è adatta per misure impulsive/impatto dove la gamma di frequenza e di livello g è tipicamente alta. Essendo un sensore con risposta DC, si possono ricavare con ottime precisioni di segnali di velocità e di spostamento senza errori d'integrazione. Gli accelerometri piezoresistivi sono comunemente usati nei test per la sicurezza automobilistica, sperimentazione di armi e le misurazioni sismiche.

Sommario

Ogni tecnologia costruttiva di un accelerometro ha i suoi vantaggi e compromessi. Prima di fare una selezione è importante comprendere le differenze di base dei vari tipi, le specifiche tecniche e le prescrizioni di prova. In primo luogo, scegliere solo accelerometri con risposta DC per misurare la frequenza statica dell'accelerazione o molto bassa (<1 Hz) o se la velocità di spostamento e le informazioni devono essere estratte dai dati di accelerazione. Sia gli accelerometri con risposta DC che AC sono in grado di misurare eventi dinamici. Quando si tratta solo di misura dinamica, la scelta tra un dispositivo con risposta DC o AC è davvero una questione di preferenza. Alcuni utenti preferiscono l'uscita single-ended dei tipi piezoelettrici, altri sono interessati allo shunt di calibrazione e il test funzionale integrato nella funzionalità dei soli accelerometri con risposta DC.

Riepilogando: l'accelerometro piezoelettrico per la sua semplicità costruttiva e robustezza è il più durevole. Per alte temperature (> 125 ° C) e applicazioni di misura dinamica l'uscita in carica è una scelta ovvia; o nella maggior parte dei casi, l'unica scelta. Con il sensore di carica elettrica, un cavo coassiale a basso rumore ed elevata impedenza di uscita è necessario per la connessione all'amplificatore di carica oppure a un convertitore di carica. Nella modalità bassa impedenza l'accelerometro piezoelettrico è il più diffuso per le misure dinamiche. Di piccole dimensioni, ampia larghezza di banda e un convertitore incorporato che ne consente l'interfaccia diretta con molti analizzatori di segnale e moderni sistemi di acquisizione dati (quelli che offrono integrato IEPE / ICP fonte di alimentazione). La versione IEPE è tipicamente limitata a <125 ° C, senza richiedere l'utilizzo di cavo coassiale a basso rumore a causa della sua bassa impedenza d'uscita. Le caratteristiche di progetto degli accelerometri capacitivi ed il basso costo dei dispositivi SMD li rende ideali per applicazioni automotive e consumer ad alto volume in cui la precisione finale non è una priorità. I più costosi MEMS al silicio capacitivo rientrano nella

fascia di strumentazione (misura) di accelerometri con una buona stabilità e basso rumore.

Gli accelerometri capacitivi hanno un'uscita a bassa impedenza con 2 o 5V di fondo scala.

La maggior parte richiede una tensione continua regolata.

Gli accelerometri piezoresistivi sono versatili in termini di frequenza dinamica. Considerando che è un sensore con risposta DC, in grado di misurare l'accelerazione statica in modo accurato e risalire alla velocità e allo spostamento. La sua banda passante copre anche le esigenze nelle misure dinamiche. Gli accelerometri piezoresistivi offrono diversi valori di smorzamento (da $\xi = 0,1-0,8$), con risposte che li rendono ideali per l'uso in una varietà di condizioni di test, inclusi i test di shock. I sensori accelerometrici piezoresistivi (senza elettronica) sono di piccole dimensioni e leggeri, con impedenza di uscita media di <5000 ohm e segnale da 100 a 200 mV fondo scala. I modelli amplificati (con auto diagnostica ASIC) sono caratterizzati da bassa impedenza di uscita (<100 ohm) e da 2 o 5V di fondo scala.

Referenze

1. A. G. Piersol, T.L. Paez, Harris' Shock and Vibration Handbook 6th Ed.,p.10.9, McGraw-Hill, 2010
2. A. G. Piersol, T.L. Paez, Harris' Shock and Vibration Handbook 6th Ed.,p.15.19, McGraw-Hill, 2010
3. ICP is a registered trademark of PCB. Other popular trade names from various suppliers exist.