

Criteri di progetto per sensori elettrochimici

Per la realizzazione di un sensore elettrochimico è necessario esaminare con attenzione le specifiche elettriche degli amplificatori utilizzati nel circuito potenziostatico

Muna Acosta
Application engineer
National Semiconductor

Mentre negli anni '50 i sensori elettrochimici erano utilizzati per il monitoraggio dell'ossigeno (gas), al giorno d'oggi la richiesta di dispositivi portatili di questo tipo è in costante aumento a causa della sempre maggior attenzione agli aspetti legati alla sicurezza personale. Attualmente i sensori elettrochimici sono comunemente impiegati in apparecchiature portatili per il rilevamento di gas tossici di differente natura.

Il principio di funzionamento dei sensori elettrochimici è molto semplice: essi reagiscono con i gas monitorati e producono una corrente elettrica proporzionale secondo una relazione di tipo lineare alla concentrazione del gas. Le versioni più datate dei sensori elettrochimici erano basate su una configurazione a due elettrodi: attualmente, al fine di garantire una maggiore stabilità dal punto di vista elettrochimico, si fa ricorso a sistemi a tre elettrodi. I tre elettrodi sono disposti in maniera parallela e sovrapposta gli uni sugli altri, separati da un sottile strato di elettrolita che fornisce il contatto elettrico di tipo ionico tra gli elettrodi.

Principio di funzionamento

Quando un gas entra in contatto con il sensore, passa attraverso una barriera formata da una sottile membrana per raggiungere la superficie dell'elettrodo. Il primo elettrodo che incontra sul suo cammino è l'elettrodo di lavoro (WE - Working Electrode). Questo elettrodo è

progettato per ottimizzare l'ossidazione elettrochimica (o riduzione del gas misurato) e generare un flusso di corrente proporzionale alla concentrazione del gas.

Le prestazioni del sensore si deteriorano con il trascorrere del tempo a causa delle continue reazioni elettrochimiche

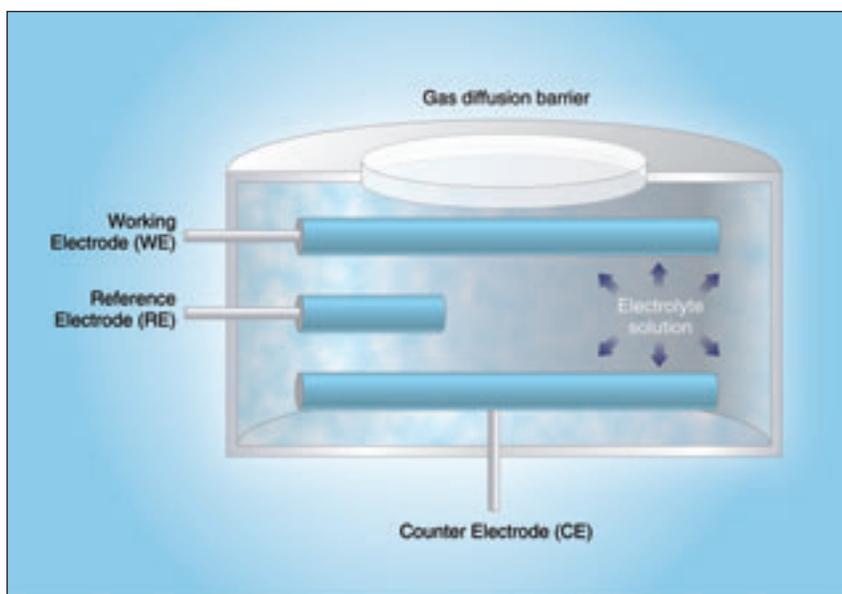


Fig. 1 - Schema di un tipico sensore elettrochimico

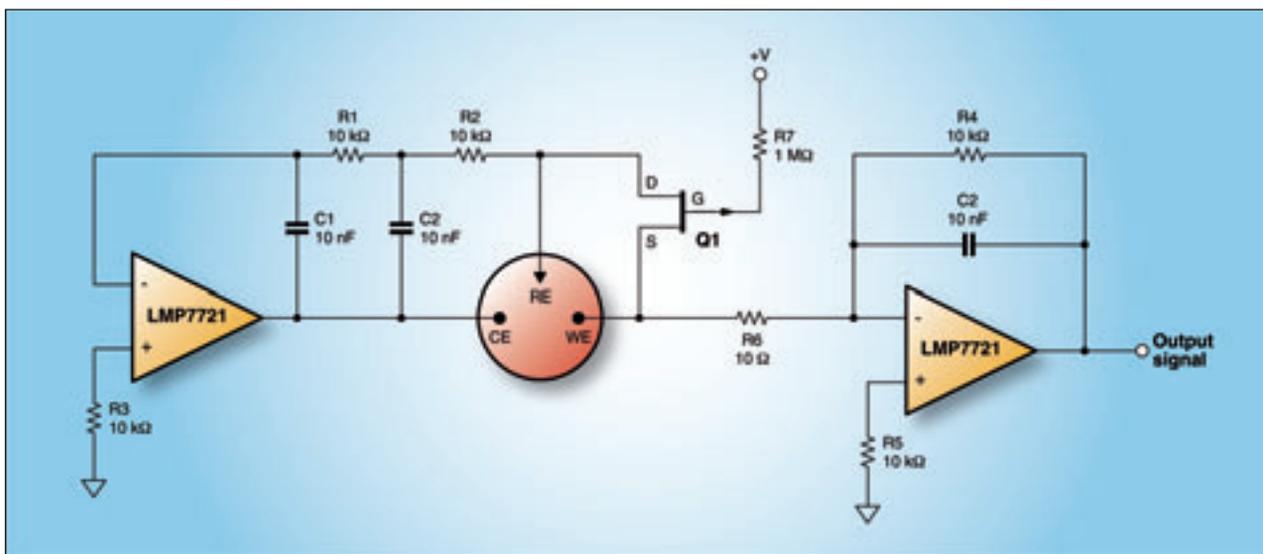


Fig. 2 – Schema del circuito potenziostatico

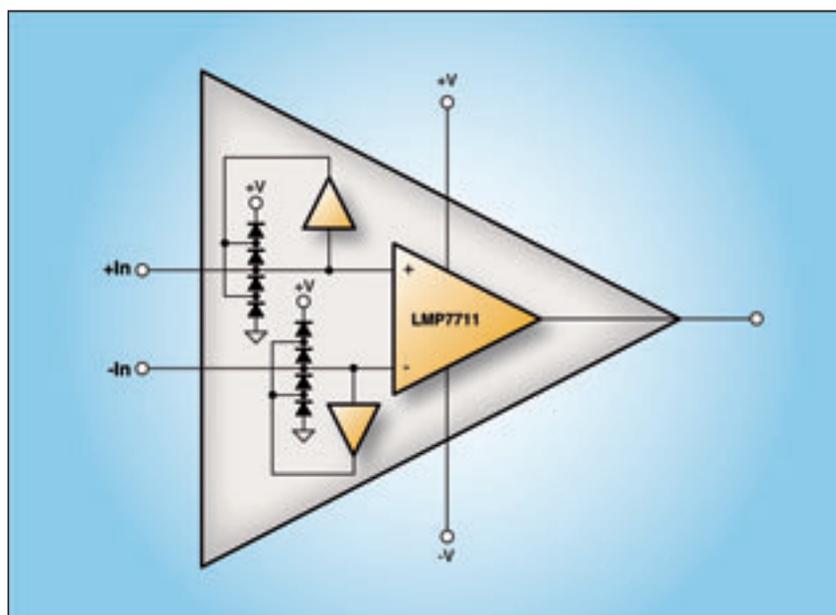


Fig. 3 – L'amplificatore LMP7721 di National Semiconductor dispone di un circuito limitatore della polarizzazione di ingresso

imputabili alle variazioni del potenziale dell'elettrodo di lavoro. Per ridurre questo fenomeno mantenendo nel contempo una sensibilità costante con un elevato grado di linearità, viene posizionato un elettrodo di riferimento (RE – Reference Electrode) in prossimità all'elettrodo di lavoro. Scopo dell'elettrodo di riferimento è mantenere l'elettrodo di lavoro a un valore corretto di potenziale.

Affinché RE possa mantenersi a un potenziale costante, attraverso di esso non deve fluire alcuna corrente.

Il terzo elettrodo, denominato contro-elettrodo (CE – Counter Electrode) conduce la corrente all'interno e all'esterno della cella del sensore.

Quando l'elettrodo di lavoro ossida l'ossido di carbonio, il contro-elettrodo riduce altre molecole, come l'ossigeno, per generare una corrente. Questa corrente bilancia esattamente la corrente generata nell'elettrodo di lavoro.

L'elettrolita si preoccupa del trasporto della corrente ionica tra l'elettrodo di lavoro e il contro-elettrodo.

Controllo delle prestazioni

Per poter funzionare i sensori elettrochimici richiedono un circuito di controllo, che viene denominato circuito potenziostatico. Un circuito di questo tipo, schematizzato in figura 2, risulta composto da due amplificatori e un transistor JFET. Nella realizzazione di questo circuito ci possono essere alcune lievi differenze, ma la funzionalità e i risultati che si ottengono sono identici. Scopo principale del circuito potenziostatico è mantenere una tensione tra l'elettrodo di lavoro e quello di riferimento per controllare la reazione elettrochimica ed erogare un segnale di uscita proporzionale alla corrente dell'elettrodo di lavoro.

Quando il sensore è esposto al gas che si desidera rilevare, come ad esempio l'ossido di carbonio, la reazione che avviene a livello di elettrodo di lavoro provoca l'ossidazione dell'ossido di carbonio a biossido di carbonio che si diffonde nel sensore. Quindi si generano ioni di idrogeno ed elettroni. I primi migrano verso il controlettrodo attraverso l'elettrolita. La conseguenza di questo processo è la deposizione di una carica negativa sull'elettrodo di lavoro. Gli elettroni fluiscono dall'elettrodo di lavoro attraverso il resistore R6 verso l'ingresso invertente dell'amplificatore (U2). L'amplificatore è configurato come dispositivo a transimpedenza, che trasforma la corrente proveniente dall'elettrodo di lavoro in una tensione proporzionale alla concentrazione di gas applicata.

Il valore della tensione di uscita è dato dalla seguente equazione:

$$\text{Tensione di uscita} = I_{\text{sensore}} \cdot (R4 + R6) / R4$$

Per esempio, un campione di ossido di carbonio di 10 ppm produce un segnale di corrente di circa 500 nA, che a sua volta genera una tensione di uscita di 5 mV. Gli ioni di idrogeno che hanno subito un processo di migrazione verso il controlettrodo faranno aumentare il potenziale degli elettrodi di riferimento e di lavoro. L'incremento di potenziale, di lieve entità, che si verifica sull'elettrodo di riferimento viene misurato dall'amplificatore di controllo (U1). Quest'ultimo assorbirà o erogherà una corrente adeguata verso il controlettrodo per bilanciare la corrente richiesta dall'elettrodo di lavoro.

Il JFET di tipo P viene usato in qualità di commutatore per impedire la polarizzazione del sensore in assenza di alimentazione del circuito. Nel caso il sensore sia polarizzato, sono richiesti tempi lun-

ghi per la stabilizzazione in una situazione di equilibrio. Il JFET è attivo solo quando non è presente l'alimentazione e in questo periodo mette in corto circuito gli elettrodi di lavoro e di riferimento per assicurare che il primo venga mantenuto allo stesso potenziale del secondo.

Scelta dell'amplificatore: un elemento critico

Le prestazioni del circuito potenziostatico dipendono in larga misura dai parametri elettrici dell'amplificatore scelto. La progettazione di un circuito potenziostatico, utilizzando un amplificatore di corrente che non garantisce specifiche molto accurate, avrà conseguenze sulla sensibilità del sensore e contribuirà ad aumentare la variazione tra sensore e sensore. Un amplificatore di precisione con corrente di polarizzazione di ingresso estremamente bassa, come ad esempio LMP7721, contribuisce a migliorare le prestazioni del circuito potenziostatico, in modo da consentire al sensore elettrochimico di rilevare con estrema precisione concentrazioni molto basse di gas.

LMP7721 dispone di un circuito limitatore della polarizzazione di ingresso grazie al quale è possibile ridurre drasticamente la corrente di polarizzazione di ingresso sull'intervallo di tensione di modo comune a 2 fA a temperatura ambiente. Le specifiche garantite di 20 fA a temperatura ambiente e di 900 fA a 85 °C fa di LMP7721 l'amplificatore con corrente di polarizzazione garantita a più bassa temperatura disponibile.

In un circuito potenziostatico, la corrente di polarizzazione di ingresso dell'amplificatore di controllo (U1) è uno dei parametri critici. L'ingresso invertente di U1 che è collegato all'elettrodo di riferimento non può prelevare una corrente di valore significativo dall'elettrodo di riferimento. Un amplificatore come

LMP7721 con polarizzazione di ingresso estremamente bassa è in grado di assicurare che l'elettrodo di riferimento manterrà un potenziale costante grazie alla corrente di polarizzazione inferiore a 2 fA.

Oltre a ciò, i sensori di gas sono caratterizzati da un valore di capacità elevato, motivo per cui è possibile che piccole variazioni di potenziale provochino un flusso di corrente di elevata intensità: di conseguenza la tensione di offset e la deriva dell'offset in funzione della temperatura rappresentano elementi critici. Grazie a caratteristiche quali tensione di offset di ingresso massima di 180 µV e deriva termica di 4 µV/°C, un amplificatore di precisione come LMP7721 consente di effettuare misure di corrente estremamente accurate. Un amplificatore caratterizzato da valori di offset superiori causa un aumento della tensione di polarizzazione dell'elettrodo di lavoro del sensore provocando un errore di maggiore entità.

La maggior parte dei sensori di gas sono celle elettrochimiche a tre elettrodi che generano una corrente proporzionale in maniera lineare alla concentrazione del gas.

La corrente generata viene misurata e convertita in tensione da un circuito potenziostatico. Quest'ultimo fornisce anche la corrente al controlettrodo per bilanciare la corrente richiesta dall'elettrodo di lavoro.

Le specifiche elettriche degli amplificatori utilizzati nel circuito devono essere molto accurate con correnti di polarizzazione estremamente basse, come nel caso del dispositivo LMP7721 di National Semiconductor. 

National Semiconductor
readerservice.it n. 11