

# I motori passo-passo semplificano il ricircolo automatico dell'aria nei condizionatori auto

Bart De Cock  
Steven De Preter  
ON Semiconductor Belgium

Una valvola per motori passo-passo bipolari in combinazione con un nuovo driver si propone come la migliore soluzione possibile per soddisfare i requisiti operativi di qualità delle valvole di ricircolo dell'aria del futuro

**L**a maggior parte dei condizionatori auto utilizza un flusso continuo di aria proveniente dall'esterno, per condizionarlo e immetterlo nell'abitacolo.

Tipicamente, il conducente può decidere se interrompere o meno il flusso d'aria dall'esterno (modalità di ricircolo o di presa esterna). In modalità di ricircolo, i moderni condizionatori monitorano diversi parametri all'interno dell'abitacolo, reimmettono l'aria attraverso il blocco di condizionamento e riducono al minimo la portata dell'aria prelevata dall'esterno, il tutto nel rispetto dei parametri stabiliti dal conducente e/o dalle specifiche di sistema.

Il ricircolo automatico può ridurre il consumo di carburante anche del 35% [1]. A seconda delle condizioni climatiche e del ciclo di guida utilizzato, un condizionatore può consumare fino a tre litri di carburante in 100 km[1]. Ciò implica che

autoveicoli di grandi dimensioni e dotati di un cattivo impianto di condizionamento trarranno il massimo dei vantaggi da un sistema di ricircolo automatico.

Ma anche autovetture medio-piccole, caratterizzate da motori all'avanguardia a basse emissioni, trarranno dei vantaggi da un tempestivo intervento dell'aletta di ricircolo, poiché il consumo di carburante da parte del condizionatore è relativamente alto.

Si prevede che la percentuale di autovetture dotate di sistemi di condizionamento semiautomatico o interamente automatico aumenterà di anno in anno. Allo stesso tempo, l'introduzione di refrigeranti a base di  $\text{CO}_2$  richiede l'installazione di sensori aggiuntivi nell'abitacolo. Questa tendenza porterà ad impiegare questi stessi metodi a  $\text{CO}_2$  e sensori di aria fresca anche in vetture di piccole dimensioni e/o dotate di con-

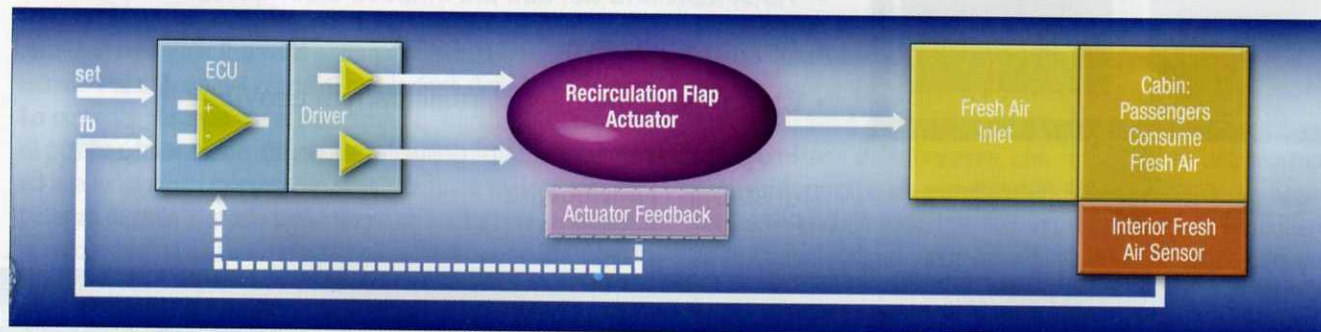


Fig. 1 - Sistema di ricircolo automatico

dizionatori di bassa qualità. Anche se l'aspetto sensore dei sistemi di ricircolo automatico potrebbe sembrare risolto, c'è ancora del lavoro da fare riguardo ai problemi di motorizzazione delle alette.

### **Sistema di controllo automatico del ricircolo dell'aria**

La centralina di controllo (Electronic Control Unit, ECU) del condizionatore (HVAC) chiude l'anello di controllo del sistema di regolazione di aria fresca e aziona l'attuatore dell'aletta di ricircolo (Fig.1) allo scopo di mantenere i livelli di  $\text{CO}_2$  richiesti nell'abitacolo. La frequenza del movimento dell'aletta di ricircolo è funzione del numero massimo di occupanti, del volume minimo di aria all'interno del veicolo e della massima deviazione consentita dal livello di  $\text{CO}_2$  desiderato. Si calcola facilmente che cinque persone che occupano un volume di  $3 \text{ m}^3$  aumentano la concentrazione di  $\text{CO}_2$  di 100 ppm in 30s.

L'anello di controllo del ricircolo d'aria richiede principalmente interventi a bassa velocità per compensare le variazioni di pressione e di velocità dell'aria nella presa d'aria esterna (Fig.1). Ciò succede di frequente quando la velocità di guida cambia, ad esempio all'interno o in prossimità dei centri abitati. Il flusso d'aria cambia inoltre sulla base della regolazione automatica della velocità della ventola per compensare le fluttuazioni dell'irraggiamento solare (ad es. in caso di strade tortuose o di ombre intermittenti generate da edifici, alberi oppure nuvole).

L'attuatore dell'aletta di ricircolo è una piccola elettrovalvola azionata da un circuito di pilotaggio interno alla centralina. Per realizzare algoritmi di controllo stabili, occorre conoscere la posizione istantanea dell'aletta e pertanto serve una retroazione della posizione. Poiché il sistema di controllo ha la necessità di correggere continuamente la posizione dell'attuatore, occorrono un azionamento senza contatti e una retroazione della posizione senza sensori.

### **Movimentazione dell'aletta di ricircolo**

Esistono diversi metodi per far girare le alette del condizionatore, e in particolare l'aletta di ricircolo. Queste tecniche variano in base al tipo di motore utilizzato nell'attuatore delle alette e alle specifiche e alle caratteristiche dell'azionamento. Discuteremo ora di tre tipi di motori comunemente utilizzati. I motori in c.c. classici a spazzole sono fabbricati con una tecnologia matura e relativamente economica. Il collegamento tra il circuito di pilotaggio e i morsetti del motore avviene con due soli conduttori. È facile controllare un motore a spazzole: ad es. l'azionamento bidirezionale può essere ottenuto con due transistor in configurazione mezzo ponte. Nel caso in cui occorre una retroazione della posizione – ad esempio tramite aletta di ricircolo – si aggiungerà un sensore di posizione.

Esistono una varietà di sensori, il più comune è il potenziometro. Questo sensore, il circuito di controllo della centralina e il cablaggio elettrico costituiscono una parte significativa del costo del sistema. È inoltre importante notare che le spazzole e il commutatore sono le parti di un motore a spazzole più soggette ad usura. Poiché l'aletta di ricircolo entra in funzione a una certa frequenza, la degradazione delle spazzole riduce l'affidabilità meccanica a lungo termine se l'aletta è utilizzata in un motore a spazzole. Un motore passo-passo unipolare ha due avvolgimenti per fase. Questi avvolgimenti sono collegati elettricamente alla centralina e, come per il motore a spazzole (con retroazione tramite sensore di posizione), richiedono tipicamente cinque conduttori. La scelta di utilizzare motori passo-passo unipolari nelle elettrovalvole è principalmente dettata dalla disponibilità di circuiti integrati o circuiti di pilotaggio a basso costo, ad esempio un driver low-side quadruplo. Uno svantaggio dell'approccio unipolare è che ad ogni istante è alimentata solo metà degli avvolgimenti (fondamentalmente il motore passo-passo unipolare contiene il doppio del rame richiesto per far girare il motore).

Un motore passo-passo bipolare possiede un avvolgimento per fase. Rispetto a un motore unipolare, fornisce dei vantaggi sia in termini di dimensioni che di peso poiché la quantità di rame negli avvolgimenti è circa la metà rispetto a un motore bipolare di caratteristiche meccaniche simili. I due avvolgimenti sono elettricamente connessi con la centralina elettronica utilizzando solo quattro conduttori (rispetto ai cinque conduttori di un motore passo-passo unipolare o di

un motore a spazzole con sensore). Un motore passo-passo bipolare viene tipicamente azionato da una combinazione di due transistor a ponte intero, uno per ciascun avvolgimento. Rispetto ai motori a spazzole e alle architetture passo-passo unipolari, i nuovi azionamenti passo-passo bipolari offrono una soluzione più equilibrata: vantaggi ad ampio raggio (ossia un mix di ottimizzazione di caratteristiche e parametri) che non incidono sul costo totale del sistema. Questo principalmente grazie al fatto che i motori passo-passo bipolari contengono, per costruzione, un sensore "virtuale" incorporato e le modalità di funzionamento del motore (in corsa, in stallo ecc.) possono essere ricavate dal monitoraggio della forza contro-elettromotrice (BEMF) o del relativo segnale [2].

### Vantaggi dei sensori virtuali

Un algoritmo incorporato di rilevamento dello stallo basato sul segnale BEMF consente al sistema di rilevare con grande precisione il fine-corsa di un'aletta. Tipicamente questo fine-corsa viene raggiunto di proposito durante un movimento – ad esempio quando l'aletta viene sistemata in posizione quasi chiusa. La condizione di anello chiuso apparente (detta anche "condizione di pseudo-anello chiuso") consiste nel portarsi, deliberatamente e di tanto in tanto, in posizione di stallo. Il rilevamento dello stallo consente quindi un'accurata marcatura delle nuove posizioni, partendo dalla posizione dell'aletta completamente chiusa. In questo modo, anche le più piccole aperture dell'aletta possono essere mantenute con precisione e ottenute in maniera sistematica, in un vero e proprio controllo proporzionale. È chiaro che questa modalità operativa offre dei vantaggi sui

metodi tradizionali che utilizzano un posizionamento assoluto ad anello aperto, basato su un conteggio di passi. Infatti, per garantire che il fine-corsa venga raggiunto in una corsa standard, il motore passo-passo deve essere fatto avanzare di diversi passi oltre la posizione di fine-corsa stimata. Ciò blocca il motore e contemporaneamente genera rumore acustico e fenomeni di usura meccanica e magnetica. Un dispositivo che sia in grado di rilevare il fine-corsa su un passo intero consentirà di evitare rumori e vibrazioni in fase di stallo. Il rilevamento dello stallo su un passo intero consente inoltre ai campi magnetici di rotore e di statore di rimanere sincronizzati. Ciò evita qualsiasi rischio di usura magnetica causata dalla smagnetizzazione del rotore per via dei campi magnetici in alternata dello statore, e

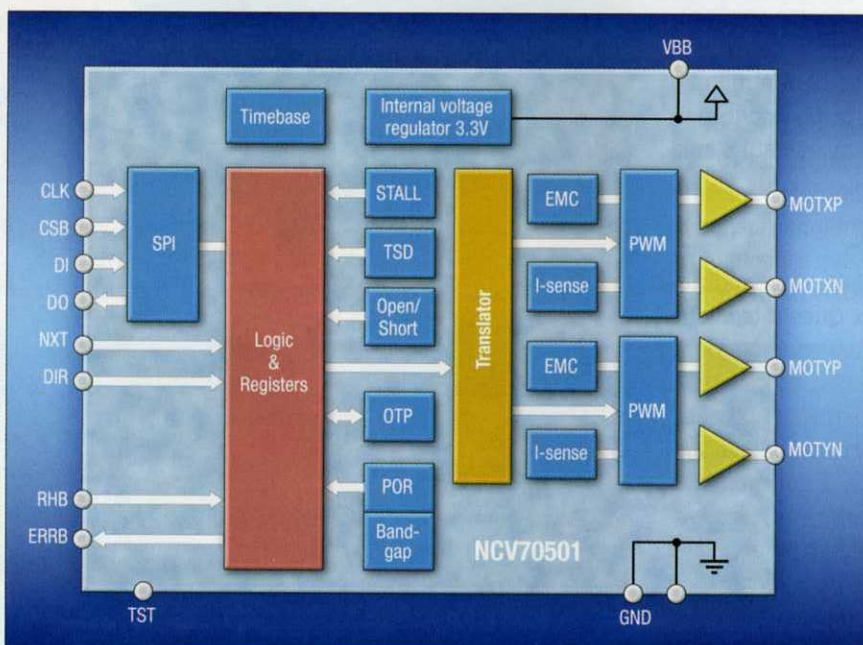


Fig. 2 - Driver integrato per motori passo-passo bipolari (NCV70501) – Schema a blocchi

# Sicurezza assoluta

contribuisce a mantenere una coppia di attuazione stabile per l'intera sua durata operativa.

Il posizionamento critico in velocità è importante in situazioni in cui un'alea deve essere chiusa il più velocemente possibile, ad es. la chiusura dell'alea di ricircolo quando un sensore esterno rileva la presenza di aria inquinata all'esterno. Il segnale BEMF rende possibile un funzionamento critico in velocità per motori passo-passo tramite algoritmi di azionamento dedicati con adattamento di velocità. Ciò consente ai motori passo-passo di sfidare uno dei principali vantaggi degli attuatori per motori in DC, notoriamente la capacità di ruotare il più velocemente possibile, compatibilmente con la tensione di alimentazione e con il carico. Il motore passo-passo è fatto funzionare alla massima velocità possibile, adattando la velocità automaticamente alle caratteristiche dell'attuatore e dell'alea (in pratica, al carico). Durante questo funzionamento con adattamento di velocità, si attiva il rilevamento dello stallo senza sensori che garantisce un posizionamento a prova di errori. Questi algoritmi consentono di raggiungere velocità fino a 1000 passi interi al secondo.

## Quadro delle tecnologie degli attuatori ad alea

La tabella 1 riassume le sopra descritte tecnologie di attuatori di alea già "pronte all'uso"

Sia i motori in c.c. a spazzole che i motori passo-passo unipolari offrono dei vantaggi ma rivelano al contempo dei punti deboli. La nuova tecnologia di motori passo-passo bipolari sembra offrire il meglio in entrambi i casi ed è compatibile con tutti i requisiti analizzati.

Sta ai costruttori di condizionatori di primo livello assegnare il peso corretto a tutte queste funzioni.

Osservazione: il costo a livello di sistema è confrontabile per i tre tipi di attuatori, tuttavia, prendendo in considerazione il solo costo di acquisto dell'azionamento, il costruttore di autoveicoli potrebbe alla fine optare per una soluzione di qualità inferiore.

## Nuovo driver integrato per l'alea di ricircolo

Oggi sono disponibili circuiti integrati in grado di pilotare motori passo-passo bipolari, come ad esempio le tecnologie sopra descritte. Uno schema a blocchi tipico di un tale integrato è illustrato in figura 2. Questo chip è inserito nella centralina mentre due ponti ad H interi pilotano le due fasi del motore passo-passo bipolare. Il microcontrollore della centralina comunica con il circuito integrato tramite un'interfaccia SPI e un set di segnali dedicati.

Una tabella di traduzione delle correnti integrata nel driver applica la giusta corrente agli avvolgimenti. Il microcontrollore deve impostare una sola volta i registri SPI che definiscono il valore di picco della corrente degli avvolgimenti, la

Tabella 1 - Quadro riassuntivo delle tecnologie di attuatori

Caratteristica dell'attuatore	Motore in c.c. a spazzole	Motore passo-passo unipolare	Motore passo-passo bipolare	Note
Usurabilità e durata	-	++	++	Motore passo-passo senza spazzole
Rumore udibile	-	+	++	Funzione microstep in motore passo-passo bipolare
Compatibilità elettromagnetica	-	+	+	Archi di commutazione in motore a spazzole
Coppia di tenuta	-	++	++	Corrente di tenuta in motore passo-passo
Funzionamento senza sensori	+	++	++	Il motore senza spazzole richiede il conteggio degli impulsi in assenza di sensori
Costo del circuito di controllo	+	++	-	Il motore unipolare richiede solo 4 interruttori low-side
Costo del motore	++	-	++	Il motore passo-passo unipolare ha il doppio del rame rispetto al bipolare
Numero di conduttori	da 2 a 5	5	4	
Rilevamento dello stallo	++	-	++	Sviluppato di recente per il motore passo-passo bipolare
Chiusura alette ad alta velocità	++	-	++	Sviluppato di recente per il motore passo-passo bipolare

modalità micro-step e la direzione predefinita del movimento. Dopo di ciò, il micro può avanzare attraverso la tabella di traduzione applicando all'integrato dei semplici segnali di "next" (successivo) (si veda il pin NXT in Fig.2).

Il driver del motore quindi assume il controllo e genera le forme d'onda richieste per le correnti in relazione ai movimenti full-step, half-step o micro-step sinusoidali. La velocità di applicazione degli impulsi "next" definisce la velocità di rotazione del motore.

È possibile adottare un algoritmo di rilevamento dello stallo, semplice ma altamente efficace, che può essere attivato tramite il bus SPI. Il chip supporta inoltre una funzione di controllo adattativo della velocità per chiudere l'aletta di ricircolo alla massima velocità. Sono inoltre presenti opportune funzioni diagnostiche per rilevare tutte le principali condizioni di errore e per prevenire danni al sistema e al circuito integrato. Il chip possiede un pin di interrupt in uscita per avvisare il microcontrollore quando si verifica un errore (si veda l'ERRB in Fig.2).

Le valvole di ricircolo automatico dell'aria possono contribuire al risparmio di carburante negli autoveicoli. Si è discusso delle attuali tecnologie di attuatori delle alette al fine di determinare i requisiti operativi di questo tipo di valvola di ricircolo. Né gli attuatori di motori in c.c. a spazzole, né gli attuatori di motori passo-passo unipolari rispettano in sé tutti i requisiti tecnici.

Una valvola per motori passo-passo bipolari in combinazione con un nuovo driver offre la migliore soluzione tecnica possibile per soddisfare i requisiti operativi di qualità delle valvole di ricircolo dell'aria del futuro. ■

## GLOSSARIO

<b>HVAC</b>	Heating, Ventilation and Air-Conditioning (riscaldamento, ventilazione e condizionamento dell'aria)
<b>IC</b>	Integrated Circuit (circuito integrato)
<b>ECU</b>	Electronic Control Unit (centralina elettronica)
<b>BDC</b>	Brush(ed) Direct Current (motor) (motore a spazzola in corrente continua)
<b>AC</b>	Alternating Current (corrente alternata)
<b>Bemf</b>	Back-Electro-Mechanical Force (forza contro elettromotrice)
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface (interfaccia periferica seriale)

## Riferimenti

[1] Thomas E. J. Heckenberger, Peter Kroner, Marcus Weinbrenner, Ralf Manski, Andreas Kemle and John Tepas: "Contribution of the Air Conditioning System to Reduced Power Consumption in Cars" ("Contributo del condizionatore alla riduzione del consumo di potenza nelle autovetture"), *Convergence 2008, Detroit, Michigan, 20-22 ottobre 2008*.

[2] Christiam Gasparini and Johannes Vorenholt: "Stepper Motor Resonance Measurement Setup with the AMIS-3052x/NCV7052x Evaluation Kit" ("Impostazione delle misure di risonanza nei motori passo-passo con il kit di valutazione AMIS-3052x/NCV7052x"), [www.onsemi.com](http://www.onsemi.com), AND8371/D, febbraio 2009