

AUTOMATISCHE UMLUFTFUNKTION IN KFZ-KLIMAAANLAGEN MIT SCHRITTMOTOREN REALISIEREN

Geregelte Frischluft hilft Sprit sparen

Eine automatische Umluftsteuerung kann den Kraftstoffverbrauch einer Auto-Klimaanlage um 35 Prozent senken. Während der Sensoraspekt der automatischen Umluftfunktion gelöst ist, bestehen hinsichtlich der Luftklappensteuerung und -motorisierung noch einige Herausforderungen.

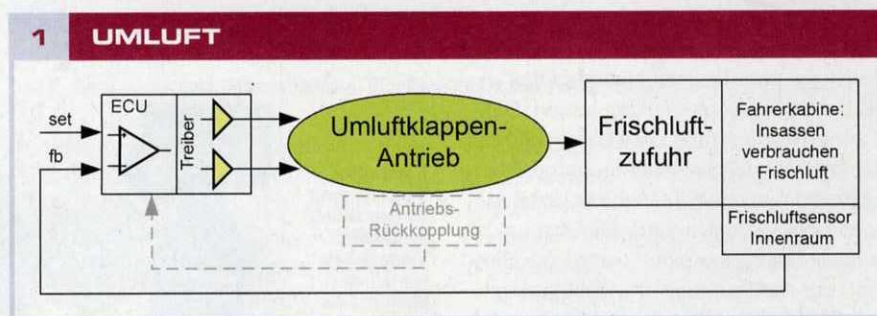


Bild 1. Automatisches Umluftsystem in Fahrzeugen

* BART DE COCK
STEVEN DE PRETER

Die meisten Fahrzeugklimaanlagen bereiten einen kontinuierlichen Zufluss frischer Luft auf und leiten diesen in die Fahrerkabine. Der Fahrer kann dann wählen, ob die Frischluftzufuhr unterbrochen wird (Umluft) oder nicht (Dauerfrischluft). Im Umluftbetrieb überwachen Highend-Klimaanlagen mehrere Parameter der Kabinenluft, zirkulieren die Luft durch die Klimaanlage zurück in die Kabine und begrenzen die Frischluftzufuhr auf ein Minimum, während die vom Fahrer und/oder den Systemspezifikationen eingestellten Luftparameter eingehalten werden. Eine solche automatische Umluftsteuerung kann den Kraftstoffverbrauch einer Klimaanlage um 35 Prozent senken [1]. Je nach den klimatischen Bedingungen und Fahrzyklen kann eine Klimaanlage bis zu drei Liter Kraftstoff pro 100 km benötigen [1].

Damit würden große Autos, die mit einer einfachen Klimaanlage ausgestattet sind, vom Hinzufügen einer automatischen Umluftfunktion am meisten profitieren. Aber auch kleine und mittlere Fahrzeuge, die fortschrittliche Motoren mit niedrigen Emissionswerten haben, profitieren von einer intelligenten Umluftklappe, da der Beitrag des Klimaanlagen-Kraftstoffverbrauchs relativ hoch ist.

Prognosen zeigen, dass der Anteil der Fahrzeuge mit einer halb- oder voll-automatischen Klimaanlage von Jahr zu Jahr zunimmt. Gleichzeitig setzt die Ein-

führung von CO₂-Kältemittel den Einsatz zusätzlicher Sensoren voraus, die im Kfz-Innenraum installiert werden müssen. Das heißt, dass die CO₂- und anderen Frischluftsensoren, die bereits zur Verfügung stehen, zunehmend in kleinen Autos und/oder in Fahrzeugen mit einfachen Klimaanlagen zum Einsatz kommen.

Automatisches Umluftsteuerungssystem

Die elektronische Steuereinheit (ECU) der Klimaanlage schließt den Regelkreis der Frischluftzufuhr und aktiviert den Umluftklappenantrieb, um die erforderlichen CO₂-Werte im Innenraum beizubehalten (Bild 1). Wie oft die Zirkulationsklappe betrieben wird, hängt von der maximal zulässigen Zahl der Insassen, dem minimalen Luftvolumen im Fahrzeuginnen und der maximal zulässigen Abweichung vom gewünschten CO₂-Wert ab. Es lässt sich einfach ausrechnen, dass fünf Insassen in einem Innenraum mit 3 m³ Volumen die CO₂-Konzentration in 30 s um 100 ppm erhöhen.

Der Umluftregelkreis erfordert vor allem ein langsames Eingreifen, um Druck- und Luftgeschwindigkeitsänderungen im Frischlufteinlass zu kompensieren (Bild 1). Dies geschieht häufig, wenn sich die Fahrgeschwindigkeit ändert oder bei Stadtfahrten. Der Luftstrom ändert sich auch bei automatischen Gebläsedrehzahlpassungen, um Schwankungen durch die

KONTAKT

ON Semiconductor Italy Srl,
I-20063 Cernusco sul Naviglio/Italien
Tel. 0039 02 92393124
Fax 0039 02 40700959,
www.onsemi.com

Antriebscharakteristik	BDC-Motor	Unipolarer Schrittmotor	Bipolarer Schrittmotor	Bemerkung
Verschleiß & Langlebigkeit	-	++	++	Keine Bürsten im Schrittmotor
Geräuschentwicklung	-	+	++	Mikroschritte beim bipolaren Schrittmotor
EMV	-	+	+	Kommutierungsfunken im BDC-Motor
Haltemoment	-	++	++	Haltestrom im Schrittmotor
Sensorloser Betrieb	+	++	++	BDC erfordert Pulszählung wenn sensorlos
Kosten der Ansteuerung	+	++	-	Unipolarer Schrittmotor erfordert nur 4 Low-Side-Schalter
Motorkosten	++	-	++	Unipolarer Schrittmotor mit doppelter Kupfermenge als bipolarer Schrittmotor
Anschlussleitungen	2 bis 5	5	4	
Blockiererkennung	++	-	++	Kürzlich entwickelt für bipolare Schrittmotoren
Schnelles Schließen der Luftklappe	++	-	++	Kürzlich entwickelt für Schrittmotoren

Tabelle A.
Die Aktor-
Technologien
im Überblick

Sonneneinstrahlung zu kompensieren, etwa auf kurvigen Straßen oder bei kurzzeitiger Schatteneinwirkung von Gebäuden, Bäumen oder Wolken.

Der Umluftklappenantrieb ist ein kleines motorisiertes Ventil, das über einen Treiber innerhalb der ECU angesteuert wird. Für stabile Regelalgorithmen sollte die Klappenposition zu jeder Zeit bekannt sein, was eine Rückkopplung erfordert. Da die Steuerung den Antrieb regelmäßig neu justiert, sind ein

kontaktloser Betrieb des Motors und eine sensorlose Positionsrückmeldung wünschenswert.

Es gibt mehrere Lösungen, um Luftklappen in Kfz-Klimaanlagen zu bewegen. Dazu zählt auch die Rückführungs-Luftklappe. Die Lösungen unterscheiden sich bezüglich der Motorart, die für den Klappenantrieb verwendet wird sowie in den Besonderheiten und Merkmalen der Motorsteuerung. Dabei bieten – im Vergleich zu bürstenbehafteten DC- und uni-

polaren Schrittmotoren (siehe ①-Kasten) – neue Bipolar-Schrittmotoren eine ausgewogene Lösung: mehr Systemvorteile (eine optimierte Kombination aus Leistungsmerkmalen und Qualität), ohne dabei die Gesamtsystemkosten zu erhöhen. Bipolare Schrittmotoren enthalten einen virtuellen Sensor, und die Motorbetriebsarten (wie Normalbetrieb oder Blockierzustand) können aus der Überwachung des Gegen-EMK-Signals herausgenommen werden [2].

① WISSENSWERT

Antriebsvarianten. Bürstenbehaftete Gleichstrommotoren (BDC-Motoren) bieten eine bewährte und kosteneffiziente Technik. Nur zwei Drähte führen vom Treiber zu den Motorklemmen. Die Steuerung eines BDC-Motors ist einfach: Ein Antrieb in zwei Drehrichtungen lässt sich über zwei Transistor-Halbbrücken realisieren. Ist eine Positionsrückkopplung erforderlich, wie bei der Umluftklappe, muss ein Positionssensor hinzugefügt werden. Bei der Vielzahl verfügbarer Sensoren sind Potenziometer die gängigsten. Dieser Sensor macht zusammen mit der dazugehörigen ECU-Verkabelung und der Größe der elektrischen Steckverbinder einen Großteil der Systemkosten aus. Zu beachten ist auch, dass die Bürsten und der Kommutator die Teile eines BDC-Motors sind, die dem größten Verschleiß ausgesetzt sind. Da ein regelmäßiger Betrieb der Umluftklappe erforderlich ist, beeinträchtigt der Bürstenabrieb die mechanische Zuverlässigkeit von Luftklappen, die über einen BDC-Motor angetrieben werden.

Ein unipolarer Schrittmotor hat zwei Wicklungen pro Phase. Diese Wicklungen sind mit der ECU elektrisch ver-

bunden. Wie bei der BDC-Motorlösung (mit Sensorrückkopplung) sind auch hier fünf Leitungen erforderlich. Die Wahl unipolarer Schrittmotoren für motorisierte Luftklappen wird vor allem durch die Verfügbarkeit kostengünstiger Treiber-ICs oder Treiberschaltkreise vorgegeben, etwa durch einen 4-Low-Side-Treiberschaltkreis. Ein Nachteil des unipolaren Ansatzes ist, dass nur die Hälfte der Wicklungen erregt werden kann. Der unipolare Schrittmotor enthält die doppelte Menge an Kupfer, die erforderlich wäre, um den Motor zu bewegen.

Ein bipolarer Schrittmotor hat eine Wicklung pro Phase. Im Vergleich zu einem unipolaren Motor bietet sich damit ein Größen- und Gewichtsvorteil, da die Kupfermenge in den Wicklungen rund die Hälfte beträgt – bei ähnlicher Motorcharakteristik. Die zwei Windungen sind über nur vier Leitungen elektrisch mit der ECU verbunden (verglichen mit fünf Leitungen bei einem unipolaren Schrittmotor oder einem BDC-Motor mit Sensor). Ein bipolarer Schrittmotor wird über eine duale Vollbrücken-Transistor-Anordnung angesteuert, eine für jede Wicklung.

2 NCV70501

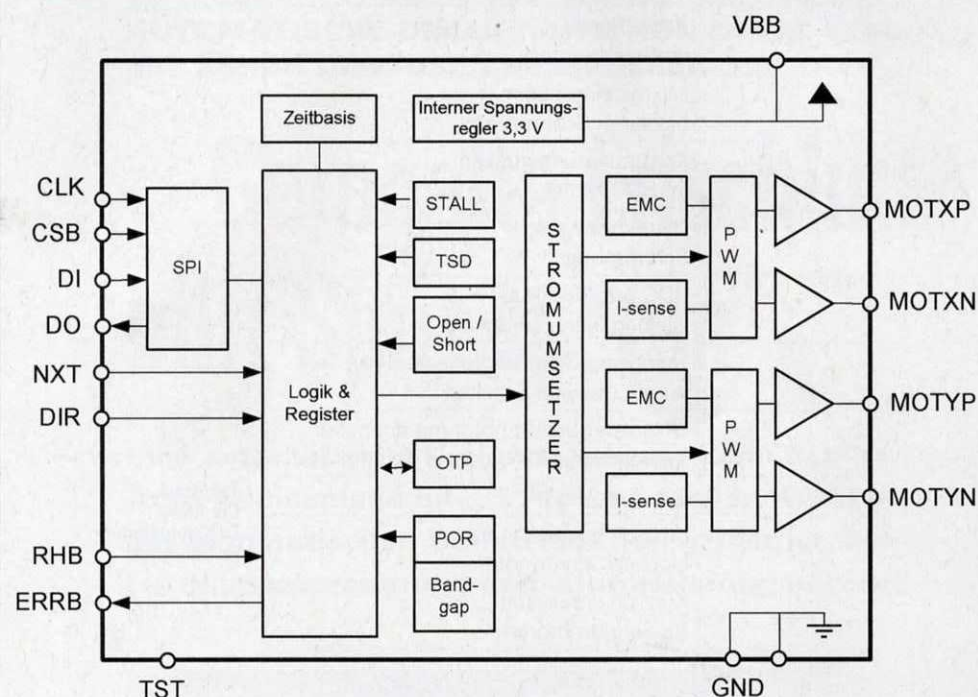


Bild 2. Treiber-IC für bipolare Schrittmotoren

Vorteile des virtuellen Sensors

Ein integrierter Algorithmus zur Blockiererkennung basiert auf dem Gegen-EMK-Signal und ermöglicht es dem System, den Endanschlag der Luftklappe genau festzustellen. Typischerweise wird dieser Endpunkt während der Bewegung bewusst erreicht, etwa wenn die Klappe in einer fast geschlossenen Position betrieben wird. Der Gesichtspunkt eines geschlossenen (oder eines pseudo-geschlossenen) Regelkreises besteht darin, hin und wieder absichtlich in eine Blockierung zu fahren. Die Blockiererkennung erlaubt dann eine genaue Festlegung der neuen Positionen, ausgehend von der Position einer voll geschlossenen Klappe. Damit lassen sich selbst kleinste Klappen-

öffnungen genau und reproduzierbar einstellen, was eine echte Proportionalsteuerung ermöglicht.

Diese Funktionsweise bietet gegenüber herkömmlichen Methoden mit offenem Regelkreis und absoluter Positionierung auf der Basis von Zählschritten wesentliche Vorteile. Um sicherzustellen, dass die Endposition während eines Referenzlaufs erreicht wird, muss der Schrittmotor elektrisch mehrere Schritte über die geschätzte Endposition hinaus angetrieben werden. Dies führt zu einem blockierten Motor mit entsprechender Geräuschentwicklung sowie zu mechanischem und magnetischem Verschleiß. Ein Baustein, der die Endposition innerhalb eines Vollschriffs erkennt, verhindert diese Geräusch- und Vibrationsbildung im

Moment der Blockierung. Eine Blockiererkennung innerhalb eines Vollschriffs ermöglicht es auch den Rotor- und Stator-Magnetfeldern, synchron zu bleiben. Dies verringert die Gefahr von magnetischem Verschleiß, der durch die Entmagnetisierung des Rotors aufgrund der Stator-Magnetfelder auftritt. Das Antriebsdrehmoment bleibt somit über die Dauer der gesamten Lebensdauer voll erhalten.

Eine geschwindigkeitskritische Positionierung ist in den Situationen wichtig, in denen die Klappe so schnell wie möglich geschlossen werden muss, etwa wenn ein externer Sensor verschmutzte Außenluft erkennt. Das Gegen-EMK-Signal ermöglicht einen geschwindigkeitskritischen Betrieb für Schrittmotoren, indem adaptive Motordrehzahlalgorithmen mit integriert werden. Schrittmotoren können dann einen der Hauptvorteile von BDC-Antrieben erreichen: sich so schnell zu bewegen, wie es die Versorgungsspannung und Last erlaubt. Der Schrittmotor wird mit der schnellstmöglichen Geschwindigkeit betrieben und passt die Geschwindigkeit automatisch an die Antriebs- und Klappencharakteristik (Last) an. Während dieses geschwindigkeitsvariablen Betriebs kommt eine sensorlose Blockiererkennung zum Einsatz, die eine fehlerfreie Positionierung garantiert. Dieser Algorithmus erlaubt Geschwindigkeiten bis zu 1000 Vollschriffen pro Sekunde.

Tabelle A fasst die genannten Luftklappenantriebstechniken zusammen. Sowohl der BDC- als auch der unipolare Schrittmotor haben ihre Vor- und Nachteile. Die neue Technologie mit bipolaren Schrittmotoren bietet den besten Kompromiss und erfüllt sämtliche Anforderungen. Der Tier-1-Klimaanlagenhersteller muss sich demnach für eine Technologie entscheiden. Die Systemkosten sind bei allen drei Antrieben vergleichbar. Werden jedoch nur die Anschaffungskosten des Motors selbst berücksichtigt, muss sich der Fahrzeughersteller am Ende mit einer weniger geeigneten Lösung zufrieden geben.

FAZIT

Bipolarer Schrittmotor plus Treiber. Automatische Umluftklappen in Kfz-Klimaanlagen können dazu beitragen, Kraftstoff zu sparen. Bestehende Klappenantriebstechniken wurden hinsichtlich ihrer Betriebsvoraussetzungen für einen Umluftbetrieb diskutiert. Sowohl BDC-Motor- als auch unipolare Schrittmotorantriebe sind mit einigen technischen Anforderungen nicht kompatibel. Ein bipolarer Schrittmotor bietet zusammen mit einem neuen Treiber-IC die beste Lösung, um die Anforderungen an einen hochqualitativen Betrieb von Umluftklappen für die Zukunft zu gewährleisten.

Neuer Umluftklappen-Treiber-IC

Bild 2 zeigt das Blockdiagramm eines integrierten Schaltkreises, der bipolare Schrittmotoren antreiben kann und die oben genannten Techniken bietet. Der IC wird innerhalb der ECU platziert, und zwei H-Vollbrücken steuern die beiden Phasen des bipolaren Schrittmotors an. Der Mikrocontroller innerhalb der ECU kommuniziert

mit dem IC über eine SPI-Schnittstelle und eine Reihe dedizierter Signale.

Eine Stromumsetzertabelle, die in den Treiber integriert ist, versorgt die Wicklungen mit dem richtigen Strom. Die

MCU muss die SPI-Register nur einmal setzen, was den Wicklungsspitzenstrom, den Mikroschrittmodus und die Standardbewegungsrichtung festlegt. Danach kann sich der Schrittmotor durch die Umsetzertabelle bewegen, indem nur Next-Signale an den IC gesendet werden (NXT-Pin in **Bild 2**). Der Motortreiber arbeitet dann selbstständig weiter und generiert das gewünschte Stromsignal für Voll-, Halb- oder sinusförmige Mikroschrittbewegungen. Die Geschwindigkeit bei der Anwendung der Next-Pulse definiert die Geschwindigkeit der Motorbewegung.

Ein einfacher, aber hochwirksamer Blockiererkennungsalgorithmus ist implementiert und lässt sich über den SPI-Bus aktivieren. Der Baustein unterstützt auch eine adaptive Geschwindigkeitsregelung zum Schließen der Umluftklappe mit maximaler Geschwindigkeit. Auch Diagnosefunktionen sind integriert, um Fehlerzustände zu erkennen und System- oder

IC-Schäden zu vermeiden. Der Treiber verfügt über einen Interrupt-Pin, über den die MCU bei auftretenden Fehlern gewarnt wird (ERRB in **Bild 2**). (m/)



LITERATUR

- 1 Thomas E. J. Heckenberger, Peter Kroner, Marcus Weinbrenner, Ralf Manski, Andreas Kemle und John Tepas: „Contribution of the Air Conditioning System to Reduced Power Consumption in Cars“; Convergence 2008, Detroit, Michigan, Oktober 20-22, 2008
- 2 Christiam Gasparini und Johannes Vorenholt: „Stepper Motor Resonance Measurement Setup with the AMIS-3052x/NCV7052x Evaluation Kit“; www.onsemi.com, AND8371/D, Feb. 2009



DIE AUTOREN

BART DE COCK

ist Automotive Product Manager bei ON Semiconductor Belgium in Oudenaarde/Belgien.



STEVEN DE PRETER

ist bei ON Semiconductor Belgien als Engineering Manager tätig.



www.EL-info.de

525504