



ステップ・モータを活用した自動HVAC空気再循環の簡素化

要約

このテクニカル・ノートでは、自動空気再循環バルブの要件と動作条件について説明し、既存のタイプのアクチュエータとこれらの要件の互換性について検討します。利用可能な複数の技術を比較すると、バイポーラ・ステップ・モータを内蔵した空気再循環フラップ・アクチュエータが、他のタイプのモータを使用するアクチュエータに比べて重要な利点を実現していることが明らかになります。特定のバイポーラ・ステップ・モータ・ドライブの技法を使用してシステム全体の性能向上に寄与する方法と、システム全体のコストを最小化する方法を示し

ON Semiconductor®

<http://onsemi.com>

TECHNICAL NOTE

ます。このテクニカル・ノートでは、このような新しいアクチュエータを高度に制御することができるモータ・ドライブICの入手状況と主要な特長について詳細に説明します。

はじめに

自動車用HVAC市場は成熟していますが、依然としてハイエンドの革新を実施する対象になっています。燃費、快適性、および安全性は、変化を推進する主要な材料です。簡潔なHVACシステムでは、連続的な外気流入が調整されてキャビンに入ります。この空気は、いずれかの通気用開口部から車外へ流れ出ます。通常、ドライブは手動の制御機能を使用して、外気供給を中断する(再循環)か継続する(外気オープン)かを選択できます。

再循環モードでは、ハイエンドHVACシステムは、いくつかのキャビン空気パラメータをモニタし、空調ユニットを通じて空気を再循環させて車室に戻し、外気の吸気口を最小に制限し、同時にドライブやシステム仕様で設定された空気パラメータを満たします。

理論的には[1]、このような自動再循環は、HVACシステムの燃料消費を35%削減できます。気候条件およびドライビング・サイクルに応じて、HVACシステムは100km [1]あたり最大3リットルの燃料を消費する可能性があります。これは、ローエンドHVACシステムを搭載した大型自動車が、自動再循

環機能の付加によって最大の利益を受けることを示しています。ただし、CO₂排出量の少ない高性能エンジンを搭載した小型車や中型車も、HVAC燃料消費が比較的多いため、スマート空気循環フラップからメリットが得られます。

予測では、半自動または全自動HVACシステムを搭載した車両の割合が年々増えると見込まれています。同時に、CO₂冷媒の導入によって、キャビンへのセンサ増設の必要性が生じる可能性があります。これらのトレンドは、CO₂センサ技術やすでに使用されているIAQ (Interior Air Quality、車内空気の質) センサ技術が、小型車や低排出仕様のHVACシステムを搭載した車両で再利用される機会が増えることを意味します。

自動再循環機能のセンサ部分は解決済みの可能性があります。フラップ電動化に関連する問題に対処するために、何らかの対策が必要です。このペーパーでは、再循環機能、システム要件、空気フラップ・アクチュエータ、およびアクチュエータの駆動に注目します。

空気再循環システム

空調システムは、現在の自動車で多くの電力を消費する要素の1つです。特に、コンプレッサは動作時に数千ワットを消費します。

空調システムによるエネルギー消費量を減らす方法の1つは、コンプレッサの効率を改善することです。ただし、エネルギーを節約するためのより重要な方法は、コンプレッサの「アクティブ時間」を短縮することです。この目的を達成するために、圧縮された冷媒のフローの下流に注目し、コンプレッサ

の動作時に実際に何が起きているかを検証する必要があります。

HVACシステムの効率は、気化器に供給される冷媒の量に大きく依存します。冷媒のフロー全体をより適切に制御するために、機械式膨張弁を、リニア駆動のステップ・モータで制御する電気機械式に置き換えることが以前は推奨されていました[2]。代わりに、気化器全体を流れるエア・フローの平均温度を低下させることができます(気化器がクーラのエ

アー・フローにさらされている場合は、要求される冷媒のフローは少なくても済み、コンプレッサの動作が減ることを意味します)。気化器全体のアー・フローの温度を低下させるには、比較的暖かい車外の空気ではなく、すでに冷却されている車内の空気かなりの量にわたって再利用することができます。自動再循環バルブを使用して、外気と車内の空気を適切な比率で混合することができます。HVACシステムの全体的なエネルギー効率にとって再循環機能は主要な要素であり、自動車の寿命に合わせて正常かつ最適化された動作が維持されることを保証するために、特別な注意を払う必要があります。さまざまなシステム要素と重要なパラメータ、および再循環機能の要件について考えてみましょう。

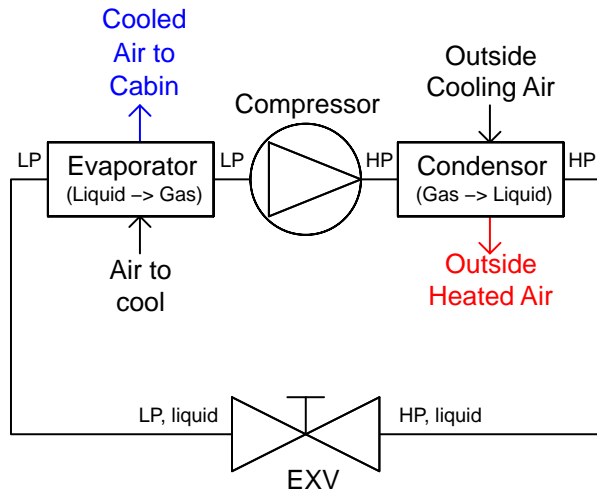


Figure 1. HVAC System

センサ

適応可能な空気再循環システムは、車内の空気の質を継続的にモニタする必要があります。外気を十分取り入れることができない場合は、不快感、頭痛、眠気が発生する可能性があります。ドライバはただちにこの症状に気がつくわけではないので、危険な状況を招くおそれがあります。人間による外気の消費状況を示す主要な指標は、 O_2 の減少および CO_2 と H_2O の増加です。現在、 CO_2 センサ技術は複数のTier 1およびTier 2メーカーから入手できますが、 O_2 センサまたは H_2O センサは車内の空気の成分組成の変化をセンサする目的でも使用できます。車内の空気の質を測定するこのようなセンサは、車外の空気の質を測定するセンサとは異なっています。後者は、汚染された空気を検出して、そのような空気の車内への流入を防止することを目的としています。適応可能な優れた空気再循環システムの最小要件は、車内の空気の質に基づく閉ループ制御です。同様に、制御された範囲かつ引き続き受け入れ可能なレベルで外気を減らすと、湿度のわずかな上昇が観測される可能性があります。ただし、この変化は、車内と車外の条件、HVACシステムのパラメータ、車室の容積、乗員の人数に大きく依存します。どのような

場合でも、車内の空気は気化器経由で再循環されるので、継続的に乾燥します。この観察結果からは、フロント・ウィンドウの結露が増すことは予想されませんが(したがって、追加の結露センサを設置する必要はありません)。

気化器

気化器で凝縮した水は、品質の高い排出と、ヒーターのコアからの適切な分離を必要とします。これは、水が再気化される(その結果、キャビンの湿度が上昇する)ことを防止するためです。さらに、気化器からの雑菌と悪臭の再循環を回避するために、気化器にアクティブな殺菌システム(紫外線光など)を取り付けることも考慮する必要があります。自動再循環機能のないHVACシステムにも、この方針が適用されることに注意してください。

ユーザ・インタフェース

再循環フラップのオン/オフを切り替えるユーザ・インタフェースは通常、押しボタンです。同じボタンを複数回押すことで、再循環フラップは開くか閉じる結果になり、LEDがフラップの状態を示します。2番目のLEDを追加すると、「自動再循環」と呼ばれる3番目の状態に入ったことを表示できます。この2番目のLEDは、ダッシュボードで最小限のスペースを必要とするのみで、他のハードウェアの変更は必要ありません。

電子制御ユニット

ECU(電子制御ユニット)は、センサの読み取り値と、事前設定された値に基づいて、再循環機能を動作させます。ECUは、外気の調整に対応する制御ループを閉じ、再循環フラップ・アクチュエータを操作して(Figure 2)、要求される CO_2 レベルを維持します。再循環フラップの操作頻度は、最大許容乗員数、車内の最小空気量、求められる CO_2 レベルからの最大許容逸脱幅の関数として表現されます。5人の乗員が 3 m^3 の車内にいるときに、 CO_2 濃度が30秒以内に 100 ppm 上昇することが容易に計算できます。

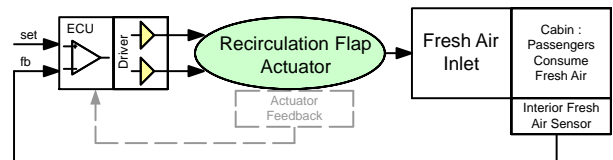


Figure 2. Automatic Recirculation System

空気再循環に対応する制御ループでは、「外気流入口」(Figure 2)で生じる圧力と空気の流速の変化を補正するために、主に低速の干渉が要求されます。このような変化が頻繁に発生するのは、市内または都市近郊のように、自動車の運転速度が変化する場合があります。送風装置の速度が原因で、送風装置の吸入側の圧力が変化した場合は、外気流入口からのアー・フローも変化します。最適な制御(低ノイズ)を達成するために、日光照射量の変動(曲線の多い道路、ビル、樹木、雲による断続的な陰の発生)を補

正する目的で、送風装置は気化器に対して可変の気流を誘導します。その結果、外気流入口を通過する可変の外気量を、乗員によって定期的に生成されるCO₂の量と釣り合わせる必要が生じます。再循環フラップの調整は継続的ですが、低速であり、既存のソフトウェア・サイクルの実行時間内に容易に収容できます。ただし、ソフトウェア・アルゴリズム自体は特別な注意を必要とします。いかなる状況でも適切な量の外気をドライバに供給することを保証するのは、安全性にかかわる問題だからです。

フラップ・アクチュエータ

空気再循環フラップ・アクチュエータは、モータ駆動の小型バルブであり、ECU内部のドライバによ

って操作されます。フラップの役割は、キャビンに流入する外気の量を制御することです。この流入量を測定することは比較的容易であり、ダンパまたはバタフライ・バルブを通じて処理できます。安定的な制御アルゴリズムを実現するために、フラップの位置を常に把握する必要がありますので、何らかの種類ポジション・フィードバックが必須です。制御システムはアクチュエータのポジションを頻繁に再調整するので、モータの無接点動作とセンサレスのポジション・フィードバックが望まれます。以下では、フラップ・アクチュエータの要件について詳細に説明します。

再循環フラップ・アクチュエータの主要な動作条件と要件

フラップ・アクチュエータは、HVACシステム内に配置されています。HVACシステムは、空気ダクトが原因で、当初から比較的大きな体積になっています。ほとんどの車両システム内では、アクチュエータの重量とサイズが重要なパラメータになっています。通常、アクチュエータを形成しているのは、プラスチック製のハウジング、コネクタとギア減速システムの付いたモータ、および状況によってはポジション・センサです。さまざまな材質が関係しているため、アクチュエータの重量とサイズに影響を及ぼす多数の要因が存在します。長年にわたって、各社は要求されるモータのトルクとギア比のバランスを維持し、特定の機能に対してアクチュエータの重量とサイズを最適化するさまざまな手法を見出してきました。この事実にもかかわらず、依然として改善の余地があります。特に、ポジション・センサの除去と新しいモータ技術の導入です。

音響ノイズを小さくすることも、もう1つの重要な考慮事項です。アクチュエータは、乗員のいる車室に直接流入する気流の中で動作するからです。さらに、フラップは継続的に動作し(新しい目標ポジションが頻繁に指定される)、年月の経過に伴って音響ノイズが著しく増大することを避ける必要があります。

ポジションの更新レートは、アプリケーション・ソフトウェアのループ時間に依存し、例えば、数秒ごとになります。次のポジション更新が発生するまでは、フラップに対して印加される外部トルク(例えば、路面の凹凸や、風速の変化に伴う気圧の上昇)にかかわらず、アクチュエータは直前のポジションを維持する必要があります。これは、外力の影響下

でもアクチュエータがポジションを維持する(保持トルク)能力が要求されることを意味します。理想的には、最小の電流消費にとどめることが望まれます。また、アクチュエータには、停止設定点のような障害に時折突き当たった場合でも、正常に動作するだけの堅牢性が求められます。再循環フラップは通常、「閉鎖」ポジションまたはその付近で動作します。5人の乗員を収容できる自動車用に、HVACシステムを設計することを考えてみましょう。その場合は、最大乗員が搭乗して平均的な速度で走行する場合に、快適にドライブできるように外気を供給することを前提として、外気流入口を設計します。ただし、自動車の平均的な搭乗乗員数は1.0をわずかに上回る程度です。速度の増加に伴って気圧が上昇することを考慮に入れると、ほとんどの時間にわたって、フラップの動作範囲は全動作範囲のうち最初の20%の区間にとどまります。

この想定により、アクチュエータの機械的および電氣的安定性に関する次の品質要件が発生します。つまり、比較的限定されたポジション範囲内で、モータ、センサ、ギアがいずれも劣化せずに、寿命の全期間にわたって継続的に動作する十分な安定性が必要です。考慮する必要のある他の要素は、アクチュエータの動作に伴うEMC放射の抑制、アクチュエータのコスト、ECU内で必要とされるドライバのコスト、ECU相互間での配線のコスト、できるだけアクチュエータを小型化することです。

今度は、利用可能ないくつかのHVACフラップ・アクチュエータ技術について考慮し、自動化された再循環フラップで使用する場合の適合度について説明します。

利用可能な再循環フラップ技術

再循環空気フラップも含め、HVAC空気フラップを動かすためのソリューションが複数存在します。各技術は、フラップ・アクチュエータ内で使用するモータの種類、およびモータ制御の詳細と特長が異なります。

ブラシ付きDCモータ

ブラシ付きDC(BDC)モータは、内部整流型の電気モータであり、2つの端子に電圧が印加されているときに回転します。モータ巻線内の電流を切り替えるためのコントローラを必要とせず、BDCモータ巻線の整流は機械的に実施されます。整流子と呼ばれる、セグメントが付いた銅製のスリーブがBDCモータの軸に取り付けられています。モータが回転すると、カーボン・ブラシがスライドして整流子に重なり、別のセグメントと接触します。各セグメントは、異なるロータ巻線に接続されています。したがって、複数のブラシの間に電圧を印加すると、モータ内で動的磁界が生成されます。BDCモータは成熟しており、比較的安価な技術です。ドライバからモータ端子までの配線も2本のみです。BDCモータの制御は簡単です。例えば、2個のトランジスタを使用するハーフブリッジにより、双方向の駆動を実現できます。空気再循環フラップのようにポジション・フィードバックが求められる場合は、ポジション・センサを追加する必要があります。さまざまなセンサが存在しますが、最も一般的に使用されているのは、ホール効果センサとポテンシオメータです。このセンサ(例えば、Figure 3に示したポテンシオメータ)を、対応するECUの配線に接続する場合は、電気的コネクタのサイズによる影響が、システム・コストのかなりの部分を占めます。

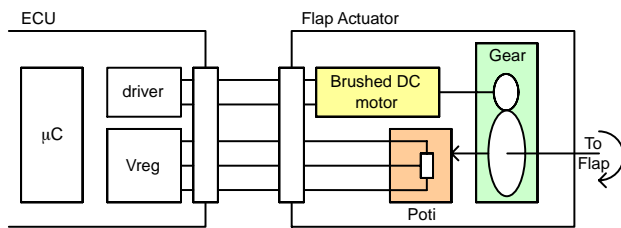


Figure 3. Brushed DC Flap Actuator with Sensor

それ以外に、多くは特許によって保護された技法(例えば、パルスのカウント)が存在し、これらはセンサなしで動作しますが、モータ・ドライバと制御アルゴリズムの複雑度が上昇します。また、BDCモータの一部であるブラシと整流子は磨耗する傾向が強いことに注意を払う必要があります。空気再循環フラップは頻繁に動作する必要があるため、ブラシの劣化は、BDCモータを採用した再循環フラップの長期の機械的信頼性にストレスをもたらすことになります。また、BDCモータで使用されているブラシ付きの整流子という原理は、非常に誘導性の強い負荷に対して、短時間の大量電流が連続的にスイッチングされることも意味し、整流子でスパークが発生す

る可能性があります。このような放電現象は、広いスペクトルにわたる電界という形で電磁放射を引き起こすので、最新のEMC(電磁両立性)の要件を満たすように特別な注意を払う必要があります。

ステッパ・モータ

ステッパ・モータは同期型の電気モータであり、1回転を整数のステップに分割します。このモータはブラシレスであり、ブラシ付き整流子に関連付けられる機械的磨耗の傾向はありません。ステッパ・モータには、固定数の「フェーズ」があり、これは中央にある歯車の形をした鉄製の部品の周囲に配置された「歯止め付き」の電磁石の数に一致します。これらの電磁石は、電磁石を取り巻く電気巻線内の電圧または電流を制御する外部回路からエネルギーを供給されます。電磁石にエネルギーを供給する適切な手法を使用すると、高精度の角度でモータを回転させることができます。

ユニポーラ・ステッパ・モータ

ユニポーラ・ステッパ・モータには、フェーズごとに2組の巻線があります。Figure 4に示すように、これらの巻線はECUに対して電氣的に接続されており、(センサによるポジション・フィードバックを行う)BDCモータ・ソリューションの場合と同様に、通常は5本の配線を必要とします。モータ駆動のバルブでユニポーラ・ステッパ・モータを使用する方針を選択するかどうかは主に、低コストのドライバIC、または4回路ローサイド・ドライバのようなドライバ回路を入手できるかどうかによって依存します。BDCモータと同様、多くの場合は、ローエンドからミドルクラスの自動車に搭載されている(半)自動HVACシステムで見受けられます。ユニポーラ・アプローチの1つの欠点は、いつでも半分の数の巻線のみでエネルギーが供給されることです(基本的に、ユニポーラ・ステッパ・モータは、モータの回転に必要なとされる量に比べて2倍の銅を使用します)。

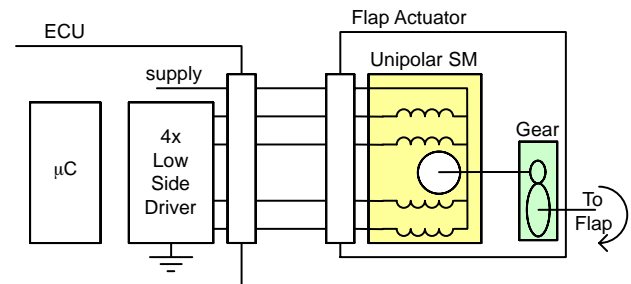


Figure 4. Unipolar Stepper Flap Actuator

バイポーラ・ステッパ・モータ

バイポーラ・ステッパ・モータには、フェーズごとに1組の巻線があります。ユニポーラ・モータと比較して、この方式ではサイズと重量の利点があります。同様のモータ特性を持つユニポーラ・モータ

に対して、巻線で使用される銅の量がおよそ半分で済むからです。これはバイポーラ・ステッパ・モータ・アーキテクチャの重要な利点であり、技術者は最小の電圧と重量を生かして、最適なエネルギー経済性を達成できます。Figure 5に示すように、2組の巻線がECUに対して電氣的に接続されており、(ユニポーラ・ステッパ・モータやセンサ付きBDCモータの5本に比べて)通常はモータの動作に必要なとする配線が4本で済みます。バイポーラ・ステッパ・モータは通常、デュアルのフルブリッジ・トランジスタを組み合わせて駆動し、1つのブリッジが1組の巻線に対応します。電磁駆動のフラップ・アクチュエータを対象とする、自動車に適したバイポーラ・ステッパ・モータは長年にわたって存在しており、ハイエンドのHVACシステムで見受けられます。これらのモータは、専用の低コスト空気再循環バルブで再利

用することもでき、ドライブの構成はFigure 5に示すとおりです。ここでは、ステッパ・モータ・ドライブはECU内部に配置されており、配線を4本のみ使用してセンサレス・アクチュエータに接続されています。

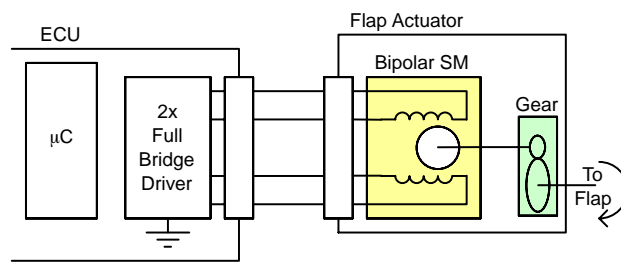


Figure 5. Unipolar Stepper Flap Actuator

ステッパ・モータ・ドライブの技術

音響ノイズおよび電気ノイズからの保護や、長期の信頼性のような要素に関して、アクチュエータの動作を最適化するために、ステッパ・モータ・ドライブの高度な技術の開発が進められてきました。従来型のアーキテクチャと比較すると、アクチュエータを対象とする新しいバイポーラ・ステッパ・モータ技術はよりバランスの取れたソリューションを実現します。システムの利点を増やし(例えば、特長と品質の組み合わせを最適化)、しかもシステム全体のコストを割高にしていません。

マイクロステッピング

ステッパ・モータの基本的な動きは、巻線を切り替えることによって達成されます。この結果、オン/オフを切り替える形で電磁石にエネルギーを供給することになります。このことを、「フルステップ」動作と呼びます。歯止め単位、またはステップ単位で、回転子と固定子にかみ合わせるからです。これは精度の低い動作モードであり、システムの振動を引き起こす可能性があり、動作中の音響ノイズ増大に寄与します。発生する可能性のあるもう1つの悪影響は、ステップ情報損失です(つまり、ステップがスキップされます)。適切な設計を行わない場合は、この悪影響によって、システムがアクチュエータの正確なポジションを把握できなくなります。ステッパ・モータをマイクロステッピング・モードで動作させることにより、これらの悪影響は回避可能であり、または少なくとも緩和することができます。つまり、モータをあるステップから次のステップに移動させるために、複数のサブポジション、言い換えるとマイクロステップを経由するように、巻線にエネルギーを供給することを意味します。このように連続性の高い方法でモータを動かすと、モータ・システムの安定性に望ましい影響を及ぼし、音響ノイズとステップ情報損失の回避という観点で性能を向上させる結果になります。

センサレスの閉ループ動作

ほとんどのステッパ・モータ・ドライブの動作方式は開ループに基づいており、システム内のフィードバックを欠いているので、システムに関連するあらゆる状況で、認識できないステップ情報損失を回避するために、ステッパ・モータを過剰サイズに設定する必要が生じます(これは、例えばモータ負荷の関数になります)。センサレスでステップ情報損失を検出する閉ループ・アプローチにより、過剰サイズの度合いを小さくすることができます。ステッパ・モータには性質上、「仮想」センサが内在されています。つまり、モータの逆起電力(Back Electromechanical Force)、言い換えるとBEMF信号をモニタすることにより、モータの動作モード(特定の速度で動作中、停止状態など)を推定できます。

停止設定点の高信頼性検出および高精度の比例制御

空調フラップ用の制御アクチュエータも、BEMFセンサ機能を活用できます。BEMF信号に基づく停止検出アルゴリズムを組み込んだステッパ・モータ・ドライブを使用すると、システムはHVAC送風チャンネル内にあるフラップの停止設定点を非常に高い精度で検出できます。通常、この停止設定点に達するのは、動作中に意図的に移動させることが原因です。例えば、フラップが閉鎖ポジション付近で動作している場合です。停止設定点に突き当たる現象は、誤動作、または小さな機械的公差が原因で発生することもあります。通常、フラップが完全開放から完全閉鎖のポジションに移動するまでに、1,000回以上のフルステップが必要です。アクチュエータ内部のギア構造、空気ダクトの熱膨張、フラップ周辺の機械的公差が原因で、アクチュエータのフルストロークは、フルステップにして10回分以上変化する可能性があります。フラップが閉鎖ポジション付近にあるときに流入する空気量は、フラップのポジションの非線形関数であると理解することが重要

です。その結果、フラップが少量のエア・フローを制御する場合は、比較的大きな誤差が観測されることとなります。したがって、HVACダクトに流入する空気量を高精度制御し、フラップに完全に比例させるには、アダプティブな閉ループ・アルゴリズムを採用する必要があります。閉ループという形態(または単純に擬似的な閉ループ)には、時折意図的に停止状態になるように移動させることが関係しています。その場合、停止検出を活用し、完全閉鎖のフラップ・ポジションを起点として、新しいポジションに正確なマーキングを付けることができます。この操作を実行することで、フラップの開口が最小であっても正確に維持し、繰り返しそのポジションに到達し、本当の意味で比例制御を達成することができます。この動作モードが、ステップを数えることを基本とする開ループの絶対ポジショニングを使用する従来の手法に比べて有利であることは明らかです。従来の手法では基準ポジションを再生成できないので、ポジションのオフセット(例えば、過負荷の条件下でのステップ情報損失)を招く永続的な根本原因を回避する必要があります。その結果、過剰サイズが求められ、部分最適化されたシステムにとどまります。(停止検出を行わない)他の手法も、停止設定点のポジションをそれほど正確に把握していません。したがって、基準実行で停止設定点に確実に到達するために、それらの手法では停止設定点の推定ポジションを複数ステップ分超過してステップ・モータを駆動する必要があります。この結果、動きをブロックされたモータは音響ノイズを発生させ、機械的および磁氣的磨耗も生じます。長期の信頼性を保証するために、この動作モードで発生する機械的振動に耐える特別なタイプのアクチュエータが要求されます。一方、フルステップ1回分以内の精度で停止設定点を検出するデバイスを使用すると、停止状態のときにノイズと振動を回避できます。また、フルステップ1回分以内の精度で停止検出を行える場合は、回転子と固定子の磁界も動機状態にとどまります。この結果、固定子のAC磁界によって回転子が消磁されることを原因とする磁気磨耗のリスクを回避し、寿命全体にわたって安定したアクチュエータのトルクを維持するのに役立ちます。

アダプティブなスピード制御

フラップをできるだけ早く閉鎖する必要が生じた状況では、スピード重視のポジショニングが重要です。例えば、外気センサが、汚染された外気存在を検出し、再循環フラップを閉鎖する場合は、バックEMF (BEMF)信号を活用すると、アダプティブな専用の高速モータ・ドライブ・アルゴリズムを通じて、ステップ・モータに対してスピード重視の操作を実行することができます。この結果、ステップ・モータはブラシ付きDCモータを採用したアクチュエータの利点の1つに対抗することができます。特に、電源電圧と負荷の許容する範囲で、できるだけ早く回転させる能力です。ステップ・モータはできるだけ速い速度で動作し、アクチュエータとフラップの特性(例えば、負荷)に合わせて速度を自動的に適応させます。このアダプティブな高速動作の間に、センサレスの停止検出が機能し、誤差のないポジショニングを保証します。これらのアルゴリズムにより、1秒あたり最大1,000回のフルステップを実行できます。

共振の回避

BEMF信号は非常に有用であり、停止検出とアダプティブな速度制御に加えて、共振の問題のトラブルシューティングにも役立ちます。共振の問題に関係する最初の困難は、システムへの適切なセンサの設置が容易ではないことです。2番目の困難は、設置したセンサがモータ軸の質量または摩擦を変化させてはならないことです。仮にこれらが変化する場合は、測定対象である共振の挙動が変化してしまいます。ここで、「組み込まれた仮想センサ」を活用して共振の挙動、および関連するロータの移動を観測すると、この困難を容易に解決できます。詳細については、[3]を参照してください。

フラップ・アクチュエータ技術の概要

Table 1に、ここまでで説明したフラップ・アクチュエータ技術の「用途ごとの適性」を要約します。ブラシ付きDCモータとユニポーラ・ステッパ・モータのどちらにも、それぞれの利点と欠点があります。

バイポーラ・ステッパ・モータ技術は、両方の技術の利点を実現し、これまでに検討したすべての要件を満たすと考えられます。

Table 1. SUMMARY OF ACTUATOR TECHNOLOGIES

Actuator Characteristic	Brush DC	Unipolar Stepper	Bipolar Stepper	Comment
Wear-Out & Durability	-	++	++	No Brushes in Stepper
Audible Noise	-	+	++	Microstepping in Bipolar Stepper
EMC	-	+	+	Commutation Sparks in Brushed Motor
Holding Torque	-	++	++	Hold-current in Stepper
Sensorless Operation	+	++	++	BDC Requires Pulse-count if Sensorless
Cost of Control Circuit	+	++	-	Unipolar Requires only 4 Low-side Switches
Cost of Motor	++	-	++	Unipolar Stepper has 2x Cu vs. Bipolar
Number of Wires	2 to 5	5	4	
Stall Detection	++	-	++	Recently Developed for Bipolar Stepper
High-speed Flap Closing	++	-	++	Recently Developed for Bipolar Stepper

これらすべての機能に対して適切な重みを割り当てることは、Tier 1 HVACシステム・メーカーの責任です。観察に基づく所見：3種類のアクチュエータのいずれでも、システム・レベルのコストは互いに類

似しています。ただし、モータ・ドライバ自体の購入コストのみを考慮する場合は、自動車メーカーは最終的に部分最適化ソリューションを選択する可能性があります。

ドライバIC

「ステッパ・モータ・ドライバの技術」セクションで説明した技術に応じてバイポーラ・ステッパ・モータを駆動するICは、現時点で入手可能です。このようなICの代表的なブロック図をFigure 6に示します。このICは、ECU内部に配置し、2つのフルHブリッジがバイポーラ・ステッパ・モータの2つの相を駆動します。ECUのマイクロコントローラはSPIインタフェースと一連の専用信号を使用して、ICとの通信を行います。ドライバに組み込まれている電流変換テーブルにより、巻線に対して適切な電流が供給されます。マイクロコントローラは、巻線電流のピーク値、マイクロステップ・モード、および移動のデフォルトの方向を定義するSPIレジスタを1回設定するだけで済みます。この後、マイコンは「次の」信号のみをICに供給することで、変換テーブルを順に制御します(Figure 6のNXTピンを参照)。次いで、モータ・ドライバがその後の処理全般を担当し、フルステップ、ハーフステップ、または正弦波のマイクロステップ動作に対応する、要求された電流波形を生成します。「次の」パルスを供給する

速度によって、モータの動作速度が定義されます。また、「方向」ピン(Figure 6のDIRピンを参照)の状態によって、モータの回転方向が定義されます。

簡潔であっても非常に有効な静止検出アルゴリズムが実装されており、SPIバスを通じてアクティブにすることができます。より高度な制御を実施する場合は、センサレス機能を通じてモータのBEMFサンプルを取得でき、これはSPI通信を経由して読み取ることができます。その後、収集したサンプルを使用して、例えば、アダプティブな速度制御アルゴリズムで、再循環フラップを最大速度で閉鎖することができます。

HVACシステムの電子回路は、自動車アプリケーションで発生する可能性のあるストレスやエラー条件から保護する必要があります。したがって、適切な診断機能を実装して、該当するすべてのエラー条件を検出し、システムとICを破損から保護します。このICには、エラーが発生したときにマイクロコントローラに警告を送信する、割り込み信号の出力ピン(Figure 6のERRBピンを参照)があります。

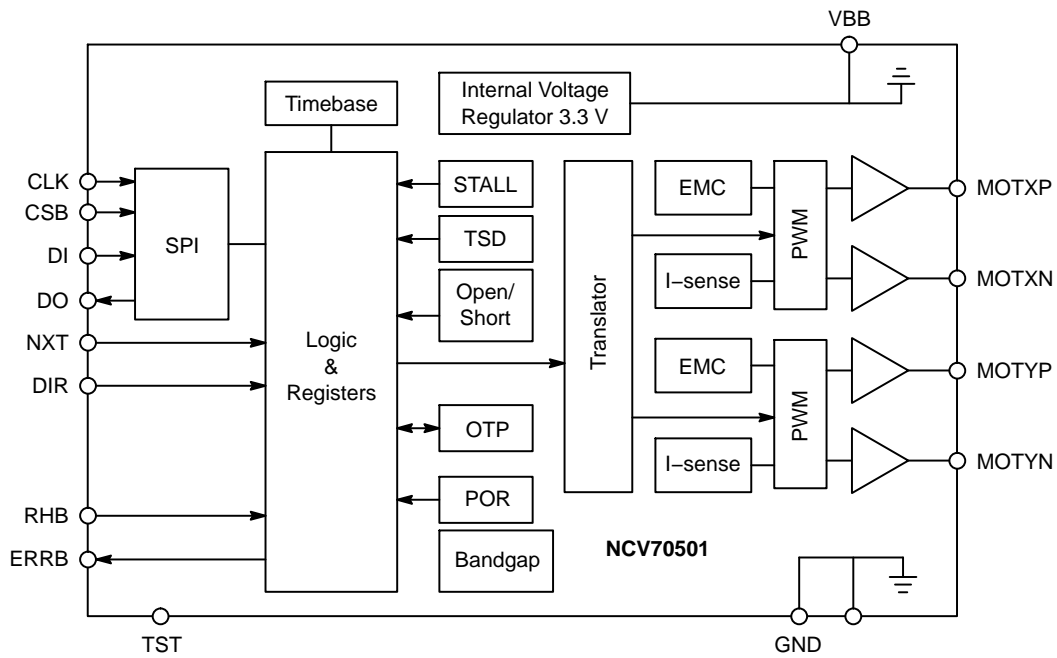


Figure 6. Bipolar Stepper Motor Driver IC (NCV70501) – Block Diagram

結論

自動空気再循環バルブは、小型および中型車両の燃費向上に役立ちます。このような再循環バルブの動作要件の観点で、既存のフラップ・アクチュエータ技術を議論してきました。ブラシDCモータ・アクチュエータとユニポーラ・ステッパ・モータ・アクチュエータのどちらも、一部の技術要件が適合しな

いことが明らかになっています。バイポーラ・ステッパ・モータ・バルブを新しいドライバと併用すれば、将来の空気再循環バルブの厳密な動作要件に適合する最高の技術的ソリューションを実現できます。

参考文献

- [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*”, Convergence 2008, Detroit, Michigan, October 2022, 2008.
- [2] Bart De Cock: “*LIN Mechatronics Applied to HVAC Expansion Valves*”, European Mechatronics Meeting, Paris, France, June 24 & 25 2009.
- [3] Christiam Gasparini and Johannes Vorenholt: “*Stepper Motor Resonance Measurement Setup with the AMIS-3052x/NCV7052x Evaluation Kit*”, www.onsemi.com, AND8371/D, Feb-2009.

用語集

HVAC : 暖房、通気、および空調 (Heating, Ventilation and Air-Conditioning)	EMC : : 電磁両立性(Electro-Magnetic Compatibility)
IAQ : 車内空気の質(Interior Air Quality)	AC : 交流(Alternating Current)
IC : 集積回路(Integrated Circuit)	BEMF : : 逆起電力(Back-Electro-Mechanical Force)
ECU : 電子制御ユニット(Electronic Control Unit)	SPI : シリアル・ペリフェラル・インタフェース (Serial Peripheral Interface)
UV : 紫外線光(Ultraviolet (light))	EXV : 膨張弁(Expansion Valve)
LED : 発光ダイオード(Light Emitting Diode)	LP : 低圧(Low Pressure)
BDC : ブラシ付き直流モータ (Brush(ed) Direct Current (motor))	HP : 高圧(High Pressure)

ON Semiconductor及びONのロゴはSemiconductor Components Industries, LLC (SCILLC)の登録商標です。SCILLCは特許、商標、著作権、トレードシークレット(営業秘密)と他の知的所有権に対する権利を保有します。SCILLCの製品/特許の適用対象リストについては、以下のリンクからご覧いただけます。www.onsemi.com/site/pdf/Patent-Marking.pdf。SCILLCは通告なしで、本書記載の製品の変更を行うことがあります。SCILLCは、いかなる特定の目的での製品の適合性について保証しておらず、また、お客様の製品において回路の応用や使用から生じた責任、特に、直接的、間接的、偶発的な損害に対して、いかなる責任も負うことはできません。SCILLCデータシートや仕様書に示される可能性のある「標準的」パラメータは、アプリケーションによっては異なることもあり、実際の性能も時間の経過により変化する可能性があります。「標準的」パラメータを含むすべての動作パラメータは、ご使用になるアプリケーションに応じて、お客様の専門技術者において十分検証されるようお願い致します。SCILLCは、その特許権やその他の権利の下、いかなるライセンスも許諾しません。SCILLC製品は、人体への外科的移植を目的とするシステムへの使用、生命維持を目的としたアプリケーション、また、SCILLC製品の不具合による死傷等の事故が起り得るようなアプリケーションなどへの使用を意図した設計はされておらず、また、これらを使用対象としておりません。お客様が、このような意図されたものではない、許可されていないアプリケーション用にSCILLC製品を購入または使用した場合、たとえ、SCILLCがその部品の設計または製造に関して過失があったと主張されたとしても、そのような意図せぬ使用、また未許可の使用に関連した死傷等から、直接、又は間接的に生じるすべてのクレーム、費用、損害、経費、および弁護士料などを、お客様の責任において補償をお願いいたします。また、SCILLCとその役員、従業員、子会社、関連会社、代理店に対して、いかなる損害も与えないものとなります。SCILLCは雇用機会均等/差別撤廃雇用主です。この資料は適用されるあらゆる著作権法の対象となっており、いかなる方法によっても再販することはできません。

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:

Literature Distribution Center for ON Semiconductor
P.O. Box 5163, Denver, Colorado 80217 USA
Phone: 303-675-2175 or 800-344-3860 Toll Free USA/Canada
Fax: 303-675-2176 or 800-344-3867 Toll Free USA/Canada
Email: orderlit@onsemi.com

N. American Technical Support: 800-282-9855 Toll Free
USA/Canada
Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 421 33 790 2910
Japan Customer Focus Center
Phone: 81-3-5817-1050

ON Semiconductor Website: www.onsemi.com

Order Literature: <http://www.onsemi.com/orderlit>

For additional information, please contact your local Sales Representative