ステッピング・モータおよびステッピング・モータ制御システム

TND6197/D

要約

本書ではステッピング・モータおよびステッピング・モータ制御システムの基本原理を説明します。ステッパの物理的特性、基本制御システムの電子回路、およびモータ制御に適したソフトウェア・アーキテクチャが含まれます。

はじめに

ステッピング・モータは整流子のない電気モータとみなすことができます。一般に、モータのすべての巻線は固定子の一部であり、また回転子は永久磁石かあるいは軟磁性材料の歯付ブロック(可変抵抗・モータの場合)のいずれかです。すべての整流はモータ・コントローラによって外部で処理しなければなりません。また、一般的にモータおよびコントローラは、モータがある方向またはその逆に回転できるだけでなく、任意の固定位置に保持できるように設計されています。大部分のステッパ(ステッピング・モータの別名)は、オーディオ周波数でステッピング可能であり、かなり素早くスピンできます。また、適切なコントローラを使用すれば、制御された方向に「即座に」始動および停止できます。

ステッパ・モータは主に位置決めアプリケーションに使用されますが、それ以外に選択の余地がないわけではありません。まず、全体を眺めて選択肢を確認してみましょう。

以下に位置決めモータ用途のための一般的なモータ選定に関する基本情報を示します。AC誘導モータやピエゾ・モータなど、他にも可能な選択肢がいくつかありますが、汎用の運動制御向けとしては、下記の3つのモータ・タイプが今日使用されている用途の圧倒的部分を占めます。

1. *ステッパ・モータ* – これらのモータは位置決め機能を内蔵しているので簡単に使えます。位置を維持するためのエンコーダもサーボ制御ループも必要ありません。主な短所は振動、ノイズ、および限定された速度範囲です。ブラシレスDCモータと同様に、多相ドライブを使用して外部で「整流」する必要があります。
2. *DCブラシ・モータ* – これらのモータはフィードバックのための位置エンコーダを必要とし、PID (Proportional, Integral and Derivative)コントローラまたは他のポジション・ループ・コントローラを使用して安定化されます。これらのモータは外部位相調整が不要で、電流を流してオフにするだけです。ただし、整流を行うモータ内部の機械ブラシはやがて摩耗して故障することがあります。
3. *ブラシレスDCモータ* – これらのモータにはフィードバック用エンコーダ付きサーボ制御や外部整流回路が必要です。ただし、ブラシはなく広い速度範囲にわたって高いトルクを供給します。DCブラシ・モータと比較すると、今日のブラシレスDCモータは歴史的な高コストが下がってきているため、サーボ制御用途に「頼りになる」選択肢を提供します。

用途によっては、サーボモータとステッピング・モータの選択肢があります。両方のモータ・タイプとも高精度な位置決めに関して同様に機能しますが、様々な点で異なります。サーボモータは何らかのアナログ・フィードバック制御システムを必要とします。一般に、これには回転子の位置に関するフィードバックを供給するポテンショメータ、モータを通じて目的位置と現在位置の差異に反比例する電流を駆動する何らかの組み合わせ回路が関係します。

ステッパとサーボのどちらかを選択する際は、多くの問題を考慮しなければなりません。どれが問題になるかはアプリケーション次第です。例えば、ステッピング・モータで行う位置決め繰返性はモータ回転子の形状に依存し、他方サーボモータでの位置決め繰返性は一般に、ポテンショメータとフィードバック回路内の他のアナログ部品の安定性に依存します。

ステッピング・モータは簡易なオープンループ制御システムで使用できます。オープンループ制御は一般に、静的負荷を持ち低い加速度で動作するシステムには十分ですが、高い加速度、特に変動負荷を持つ場合はクローズドループ制御が必須になることがあります。オープンループ制御システムでステッパがオーバトルクになると、回転子位置に関する全情報が失われるため、システムを再初期化する必要がありますが、サーボモータにはこの問題はありません。

ステッパ・モータ・タイプについて

ステッパ・モータには、*永久磁石*型と*可変抵抗*型の2種類があります(*ハイブリッド*・モータもあるがコントローラの観点からは永久磁石モータと区別できない)。モータにラベルがない場合、この2つは一般に電源が印加されていないときの感触で区別できます。永久磁石モータは指で回転子を捻ると

© Semiconductor Components Industries, LLC, 2015

「コギング」する傾向があり、可変抵抗・モータはほぼ自由に回転します(ただし、回転子の残留磁化のために少しコギングすることがある)。

オーム計でこの2つを区別することもできます。可変抵抗・モータには通常、3つ(場合によって4つ)の巻線とコモン・リターンがあり、永久磁石モータには通常、センタ・タップ付きまたはセンタ・タップなしの2つの独立した巻線があります。センタ・タップ付き巻線は単極永久磁石モータに使用されます。

ステッピング・モータは幅広い角度分解能の製品が提供されています。最も低精度のモータは一般に1ステップ当たり90度回転しますが、高分解能永久磁石モータは一般に1ステップ当たり1.8度あるいは0.72度もの精度を達成できます。適切なコントローラを使用すれば、大部分の永久磁石モータおよびハイブリッド・モータは半ステップで動作でき、一部のコントローラはこれより小さな分数ステップすなわちマイクロ・ステップを扱うことができます。

永久磁石ステッピング・モータと可変抵抗・ステッピング・モータの両方について、モータの1つの巻線だけが通電された場合、回転子(無負荷状態)は固定角度に移動し、トルクがモータの保持トルクを超えるまでその角度を保持し、トルクが保持トルクを超えると回転子が回転し、それぞれの連続均衡点で保持を試みます。

可変抵抗

このモータ・タイプは永久磁石を使用しません。そのため、拘束トルクつまり「戻り止め」トルクがなく回転子が回転できます。このタイプの構造は極めてまれであり、一般にはマイクロ・スライドの位置決めなど、大きなトルクを必要としない用途に使用されます。

永久磁石

別名を「キャンスタック型」または「ティンキャン型」モータといい、永久磁石回転子を使用しています。比較的低速度、低トルクのデバイスで、ステップ角度は45度または90度と大きくなっています。構造が簡単なので、これらのモータは低コストで製造でき、低電力用途にとって理想的な選択肢となっています。

ハイブリッド・ステッパ

このステッパ・モータ・バージョンは、可変抵抗・タイプと永久磁石タイプの賢明な組み合わせです。

ステッパ・モータの基本

ステッパ・モータの長所

- 回転角度は入力パルス数に比例する。
- 回転速度は入力パルスの周波数に比例する。
- 位置フィードバックが不要なオープンループ・システム
- 加速、減速、ステップの各コマンドに対する優れた応答
- 累積しない位置決め誤差(ステップ角の±5%)
- 優れた低速度および高トルク特性(ギヤ減速不要)
- 通電時の保持トルク
- 固有の戻り止め・トルク
- 双方向動作
- モータに損傷を与えないストールが可能
- ブラシがないためトラブルが少なく長寿命
- 精密ボール・ベアリング(ブランド/タイプによる)

ステッパ・モータの短所

- 適切に制御しないと共鳴が生じる可能性がある
- 極端な高速度では操作し難い
- オーバトルクの場合、すべての位置情報が失われるのでシステムの再初期化が必要
- 同じサイズの場合は、同等なDC/ACモータよりも生成トルクがはるかに小さい

巻線の接続

ステッパ・モータは多様なリード構成で製造されています。最も一般的なものは以下のとおりです。

- 4リード – バイポーラ
- 5リード – ユニポーラ
- 6リード – ユニポーラ、バイポーラ(直列接続)
- 8リード – ユニポーラ、バイポーラ(直列接続)&バイポーラ(並列接続)

ステッパ・モード

ステッパ・モータは多数の異なるシーケンスで駆動できます。これらのうち最も一般的なものは次のとおりです。

- ウェーブ駆動
  このモードではある時間内で1相のみ励磁されます。これはユニポーラ・モータでは利用可能な巻線の25%、バイポーラ・モータでは50%しか利用されないことを意味します。
- フルステップ駆動
  このモードでは任意の時間に2相が励磁されます。これはユニポーラ・モータでは利用可能な巻線の50%しか利用されないが、バイポーラ・モータでは100%利用されることを意味します。
- ハーフステップ駆動
  このモードでは、ウェーブ駆動とフルステップ駆動が交互に行われ、回転子がハーフステップで位置合わせされます。これはユニポーラ・モータでは利用可能な巻線の37.5% (平均)しか利用されず、バイポーラ・モータでは75%利用されることを意味します。

用途

- 産業用機械
  ステッパ・モータは自動車計器や工作機械自動製造装置で使用されます。MFGにおけるロボティクス、検査、およびプロセス・フロー
- セキュリティ
  セキュリティ業界向けの新しい監視製品セキュリティ・カメラPAN/ZOOM/TILTを含む
- 医療
  ステッパ・モータは医療用スキャナ、サンプラの内部で使用されており、また歯科用デジタル写真、液体ポンプ、呼吸装置、および血液分析装置でも使用されています。
- 家電
  デジタル・カメラの自動焦点およびズーム機能用のカメラ内ステッパ・モータ
- また、事務機械、コンピュータ周辺機器にも使用されています。

オンセミのステッパ・モータ・ドライバ・ソリューション

セキュリティ、医療、産業用用途への集中、そしてシステム・レベルの設計コストおよび組立コストの削減を目的として、どのメーカもさらに高度な統合および全体的なコスト・ダウンに取り組んでいます。デジタル世界での高度な統合は、何も新しいものではなく、18ヶ月ごとに速度は倍になり、集積回路のサイズは50%近くも縮小されてきました。モータが通常配置されるパワー・アナログ世界は、思うほど簡単ではありません。モータの馬力、モータ駆動時の熱放散、および迷走電流を考慮に入れます。また、ドライバは効率が良く、小型で、かつ容易にアナログ・モータの世界に統合できなければなりません。

コスト、精度、使いやすさに重点を置いて、この世界はステッパ・モータ・アプリケーションに目を向けました。前述のとおり、理論上ステッパ・モータは驚くほど簡素です。ブラシや接点はありません。基本的に、ステッパ・モータは電機子を回転させるように磁界が電気的に切り替えられる非同期型モータです。ステッパ・モータは、デジタル・パルスをメカニカル・シャフトの回転に変換するため、言わば「デジタル・モータ」です。

ステッパ・モータでの電流の制御

H-ブリッジ–電圧モードを使用した2モータ・コイルでの電流の制御

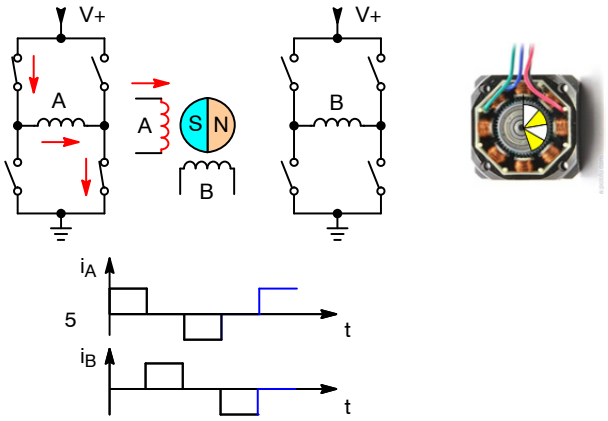

Figure 1. Voltage Mode

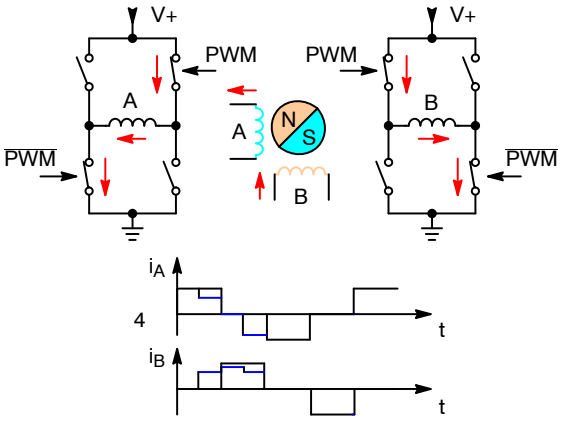

Figure 2. PWM Mode – Microstepping

ステッパ・モータ・ドライバは、以下の主要要素に頼る必要があります。

<u>トルク/トルク効率：</u>

トルクとは物体を軸のまわりに回転させる力のことです。トルクを生成するには2つの要素が必要です。すなわち、永久磁石で生成される回転子磁界と固定子電流で生成される固定子磁界です。磁界が反対方向のときにトルクが最大になります($\theta = -\pi/2$および$\theta = \pi/2$のとき)。トルクはコイル電流が増えると大きくなり、最大伝達トルクが負荷と等しくなったときに最大効率が達成されます。主な要点 – 最大トルクは安定領域の端で伝達され、ドライバ・ロジックで対応していない場合は、モータのストールを招く危険性があります。

<u>負荷角度：</u>

負荷角度δは固定子と回転子磁界間の角度です。これは生成されたトルクと負荷の間の平衡点“p”です。負荷を増やすと負荷角度δも大きくなります。

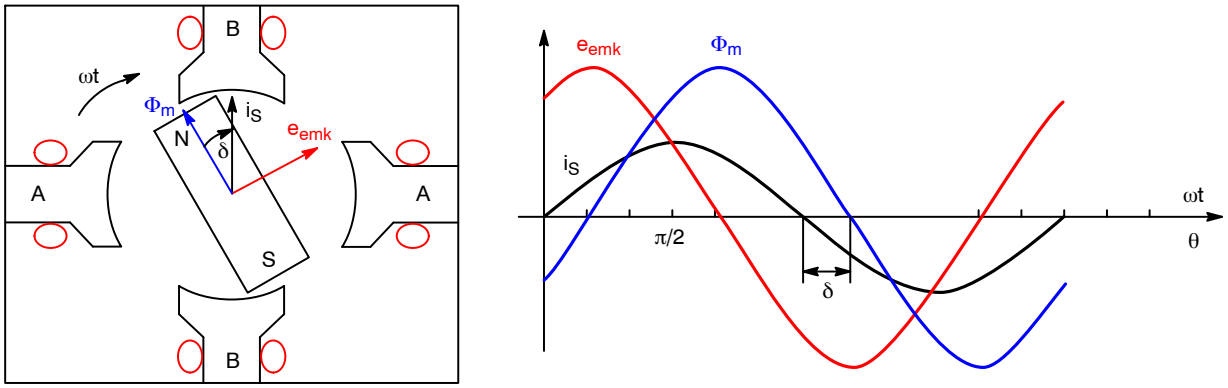

Figure 3. Load Angle

電流制御：

パルス幅変調(PWM)を使用しH-ブリッジを切り替えることによって、Votlage4がモータ巻線のコイル両端でチョッピングされます。コイル両端に電圧が生じると電流が増加します。コイルが短絡すると電流が減少します(減衰するとも言う)。

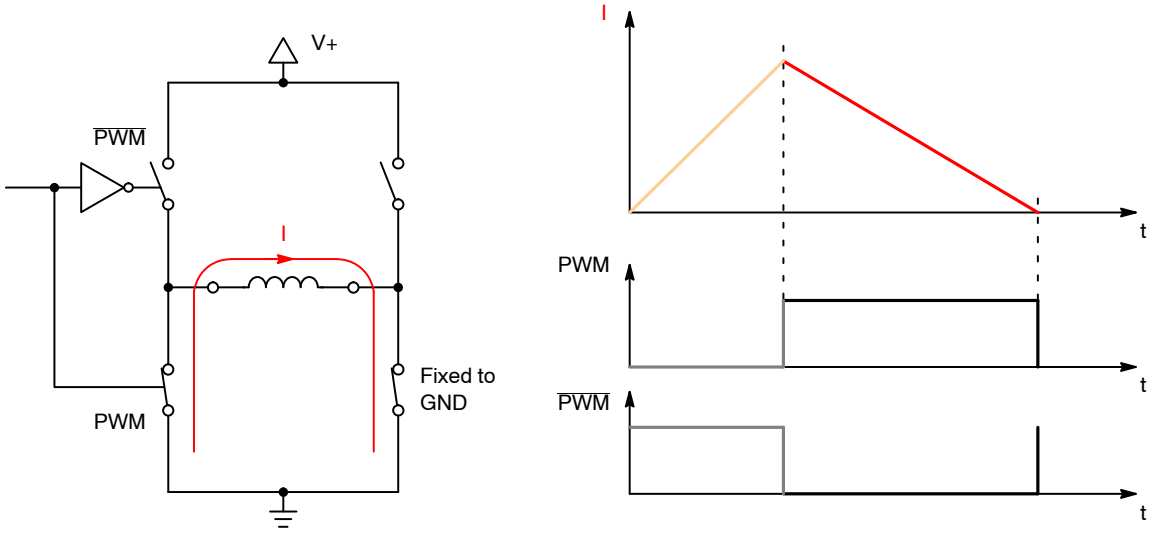

Figure 4. Current Control

ステッパ・モータのドライバとアプリケーションが直面する主な問題

セキュリティ・カメラ

世界中でセキュリティが最大の懸念となっており、IPセキュリティ・カメラの使用は過去5年間で4倍にもなっています。デジタル・カメラを使用し最先端テクノロジを取り込んでいますが、最大の障害は低コストのCMOSおよびCCDイメージ・センサの使用が増えていることです。ビデオ品質はセンサの分解能とビデオの歪みである「デジタル・アーチファクト」に大きく依存しており、カメラのパンまたはチルト時にはっきりわかります。本来、この問題はシャフト・エンコーダ品質に基づく高分解能サーボ・フィードバックを持つ高価なアナログ・モニタ・ドライバで対処していました。このようなドライバの使用は、非常に高額となり、ビデオ品質の向上とコストおよび複雑さの低減を目的として、異なるアプローチを導入する必要がありました。

オンセミLV8714Aの紹介
(高集積度デュアル・チャネル、PWM定電流、電流制御ステッパ・モータ・ドライバ)

LV8714Aは、ドライバ、PWMロジックと共にフル・クワッドH-ブリッジ・パワー・スイッチを内蔵しており、必要に応じて2個のステッパ・モータまたは4個のDCブラシ付きモータを駆動できます。LV8714を使用すれば、どの設計者もPan/Tilt機能付きセキュリティ・カメラをゼロからフル・デザインまで、数ヶ月といわず数週間で完成させることができます。LV8714Aでは、各Hブリッジに基準電圧入力を利用できるため、両方のモータを同時に駆動できます。4～16.5 Vの幅広い入力電圧範囲により、次のどのカメラ・アプリケーションに対しても完璧です。

- PoEセキュリティ・カメラ
- PoE POS端末
- ドキュメント・スキャナ

- 組立ラインの品質管理
- フラットベッド・スキャナおよび多機能プリンタ

次のような多数の安全要因が組み込まれています。

1. さらなるコスト低減のための単一電源電圧
2. 低Rds(on)内部FETによる高効率および低消費電力
3. 部品点数削減および消費電力のさらなる削減のための内部電流センス抵抗。消費電力を競合他社よりも35%低減
4. 外付部品を使用しない過電流およびサーマル・シャットダウン保護機能を備えた完璧な安全設計

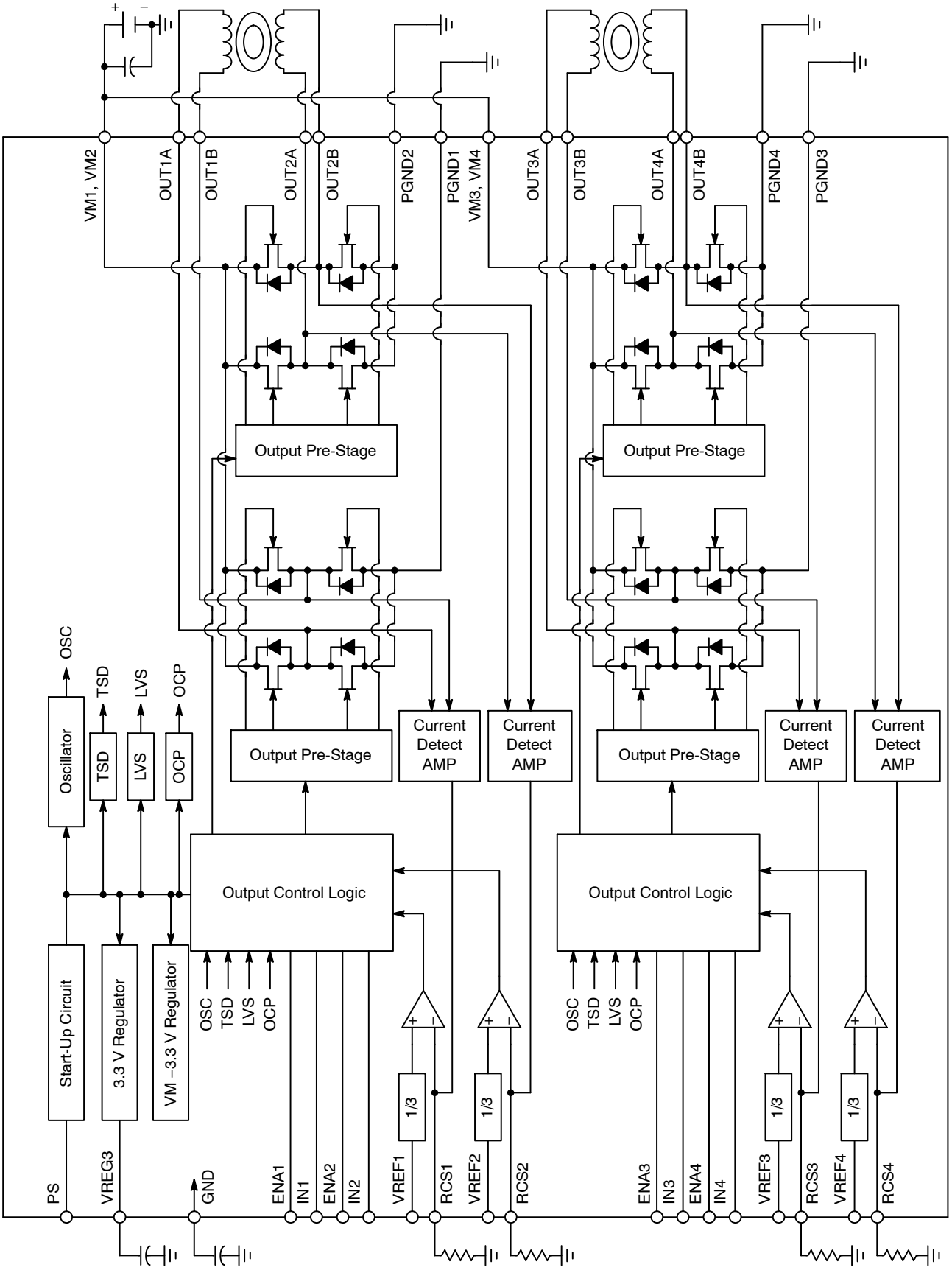

Figure 5. Schematic

onsemi, onsemi, and other names, marks, and brands are registered and/or common law trademarks of Semiconductor Components Industries, LLC dba "**onsemi**" or its affiliates and/or subsidiaries in the United States and/or other countries. **onsemi** owns the rights to a number of patents, trademarks, copyrights, trade secrets, and other intellectual property. A listing of **onsemi's** product/patent coverage may be accessed at www.onsemi.com/site/pdf/Patent−Marking.pdf. **onsemi** reserves the right to make changes at any time to any products or information herein, without notice. The information herein is provided "as−is" and **onsemi** makes no warranty, representation or guarantee regarding the accuracy of the information, product features, availability, functionality, or suitability of its products for any particular purpose, nor does **onsemi** assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation special, consequential or incidental damages. Buyer is responsible for its products and applications using **onsemi** products, including compliance with all laws, regulations and safety requirements or standards, regardless of any support or applications information provided by **onsemi**. "Typical" parameters which may be provided in **onsemi** data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. **onsemi** does not convey any license under any of its intellectual property rights nor the rights of others. **onsemi** products are not designed, intended, or authorized for use as a critical component in life support systems or any FDA Class 3 medical devices or medical devices with a same or similar classification in a foreign jurisdiction or any devices intended for implantation in the human body. Should Buyer purchase or use **onsemi** products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold **onsemi** and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that **onsemi** was negligent regarding the design or manufacture of the part. **onsemi** is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer. This literature is subject to all applicable copyright laws and is not for resale in any manner.

PUBLICATION ORDERING INFORMATION

LITERATURE FULFILLMENT:
Email Requests to: orderlit@onsemi.com

onsemi Website: www.onsemi.com

TECHNICAL SUPPORT
North American Technical Support:
Voice Mail: 1 800−282−9855 Toll Free USA/Canada
Phone: 011 421 33 790 2910

Europe, Middle East and Africa Technical Support:
Phone: 00421 33 790 2910
For additional information, please contact your local Sales Representative

◊