

序説

著者: Gheorghe Turcan, Grig Barbulescu, Teodor Lina Microchip Technology Inc.

ブラシレスDC(BLDC)電動機や永久磁石同期電動機(PMSM)を駆動するには、台形駆動(または矩形波整流(転流))と正弦状駆動の代表的な2つの方法があります。

台形駆動はいくつかの帰還元によって指示される状態切り替えで状態機構を駆動するため、例え8ビットマイクロコントローラでも実装が簡単です。感知器なし解決策では回転指示部が電動機の逆起電力(BEMF:Back ElectroMotive Force)で、これは電動機の3つの相の各々の0交差検出(ZCD:Zero-Cross Detection)に基づいて60°毎に回転子の位置を提供します。

回転する電動機のBEMFを測定するため、巻き線は信号が歪められないように駆動されなければなりません。この状態は両方High側の時に発生し、この状態は半ブリッジのHigh側とLow側の両MOSFETが論理Lowレベルに駆動される時に遭遇します。

1つの完全な電氣的回転の6つの段階の2つが同時に1つの位相で必要な条件を満たし、他の位相の干渉がハードウェアとソフトウェア算法によって濾波されるため、BEMF測定は台形駆動で可能になります。

正弦状駆動は台形駆動と比べた時により低いトルク変動幅、より高い効率、定速でより良いトルクを持ちますが、より大きな複雑さの代償を持ちます。更に、正弦状駆動では3相全てが継続的に駆動されます。従って、直接的に採取されるべきBEMF用窓がありません。

正弦状駆動でBEMF採取に使われる通常の方法はベクトル制御(FOC:Field Oriented Control)で、これは詳細で高速な個別巻き線電流測定、複雑な数学的な変換、動的な信号の再構成と予測を必要とします。FOCに対してMCUは100MHzよりも高いクロック周波数、高速ADC、16ビットと32ビットのコアでだけ見られる数学的な処理力が必要です。

この技術概説で提供される方法は駆動が未だ正弦状で3相全てに対して継続している間に直接BEMF測定に必要な条件を作成し、従って複雑な採取と制御算法の必要をなくします。

この解決策は各60°回転に対して電動機からZCDを得る容易な方法を提供し、従って8ビットMCUでも管理して簡単な感知器なし正弦状電動機制御解決策を実装することができる程度に単純化した駆動同期の可能性を考案します。

本書は一般の方々の便宜のため有志により作成されたもので、Microchip社とは無関係であることを御承知ください。しおりの[はじめに]での内容にご注意ください。

目次

序説	1
1. 概要	3
2. 正弦状駆動測定窓挿入	4
3. BEMF測定と解釈	5
4. BEMFを使う駆動同期	6
5. BEMF採取実演	7
6. BEMF採取実演結果	12
7. 結び	13
8. 参照	14
9. 改訂履歴	15
Microchip情報	16
Microchipウェブサイト	16
製品変更通知サービス	16
お客様支援	16
Microchipデバイスコード保護機能	16
法的通知	16
商標	17
品質管理システム	17
世界的な販売とサービス	18

1. 概要

インダクタ(巻き線)が磁界を通過して移動する時に電圧が誘発されます。ブラシレス電動機は円形に配列された磁界内を回転する3つの巻き線の集合で、電気的な電圧が電動機の巻き線で誘発されます。BEMFは電動機回転時に起こる電圧を常に誘発します。理想的に、BEMFは0以外の速度で発生しますが、実際には雑音と制限された測定分解能のため、ZCD検出を通して回転子位置を提供することができる測定可能なBEMFを持つには、最小の分当たりの回転数(RPM:Rotation Per Minute)が必要とされます。

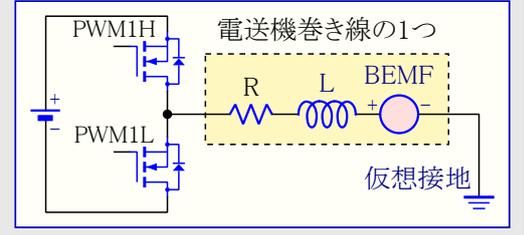
BEMF電圧は振幅、周波数、位相の3つの主要要素を持ちます。

振幅は回転子の速度に比例し、電動機特有です。

周波数は電動機の速度と極対数に比例します。電動機のRPMはBEMF周波数と電動機特性を捉えた式を使って計算することができます。

位相は固定子の回転磁界と回転子間の同期に重要です。位相と周波数は駆動同期(電動機での位相と速度の整列)と制御閉路の実装のための帰還として使われます。

図1-1. 3相ブラシレス電動機の1つの相



正しいBEMF測定とZCD検出のため、3相全ての駆動信号は測定に影響しないよう同時に禁止されなければなりません。台形駆動でも、1相が駆動されないだけなので、これは達成されません。他の2つは未だ駆動されていて雑音を生成します。ZCDは多数決検出算法と共にアナログとデジタルの濾波器を使って測定されます。より多くの情報については参考として[多数決検出算法](#)をご覧ください。これらの濾波器は雑音を減らすために必要とされ、ほぼ正確なZCD識別持ちますが、これらは実際のZCDと測定したZCD間に遅延をもたらします。

感知器なし正弦状駆動について、3相全てが継続的に伝導し、直接電動機BEMF測定に使うことができる平穏な測定窓はありません。従って、頼りになるFOC法は各巻き線電流を測定し、数学的なモードを通してBEMFを再現し、これは高性能なハードウェアを必要とし、8ビットMCUには適用できません。8ビットMCUで正弦状駆動に対して有力な方法は移動固定化閉路(PLL:Phase-Locked Loop)同期手法での感知器付き解決策によって与えられます。

この技術概説は駆動信号から位相測定点の外乱がなく要件に応じた直接BEMF窓を作成する新しい正弦状駆動法を紹介し、これは実際の電動機巻き線電流ZCDに近く簡単に濾波なしでのZCD検出を許します。

新しい正弦状駆動法は純粋なソフトウェアまたはソフトウェアとハードウェア能力の周辺機能の組み合わせで達成されるパルス幅変調(PWM:Pulse-Width Modulation)上昇事象整列と沈黙時間制御を必要とします。従って、提示された方法は補完PWM信号を生成することができるどれかの8ビットMCUで使うことができます。けれども、MicrochipのAVR® EBシステムで見つかるような専用ハードウェア周辺機能でコードの大きさが劇的に減らされ、割り込み時間が短縮されます。

2. 正弦状駆動測定窓挿入

駆動信号からの影響を取り除くため、BEMFは各々の半ブリッジの両トランジスタがLowに駆動される時に採取されなければなりません。

図2-1.で示されるように、補完PWM沈黙時間はBEMFを採取するための窓のようなものを提供します。この沈黙時間は半ブリッジで電流貫通を防ぐのに必要とされます。

とは言え、各相の沈黙時間は必ずしも整列しません。従って、提案した方法は6つ全てのPWM信号で1つの沈黙時間期間を増して沈黙時間が整列され、図2-2.で示されるように、BEMFを測定するのに十分な長さの窓を作ります。

図2-1. 沈黙時間とPWM信号の図解

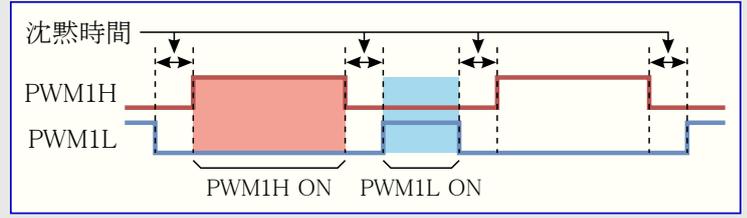
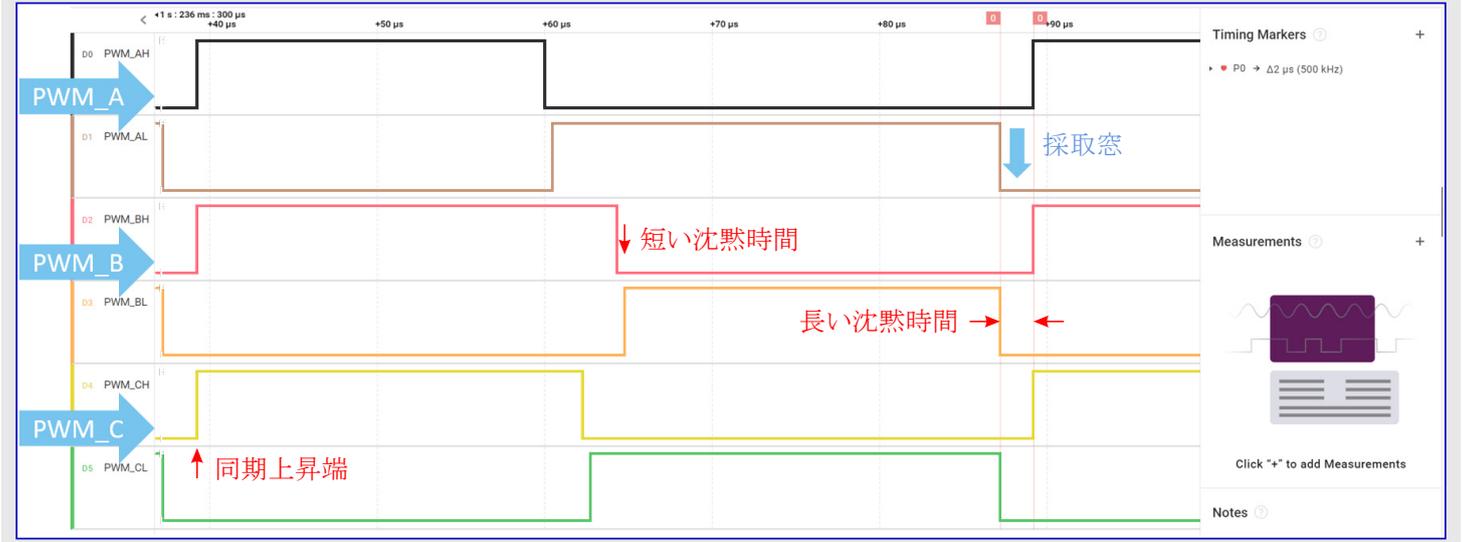


図2-2. 長い沈黙時間を可視化するための論理分析器取り込み図



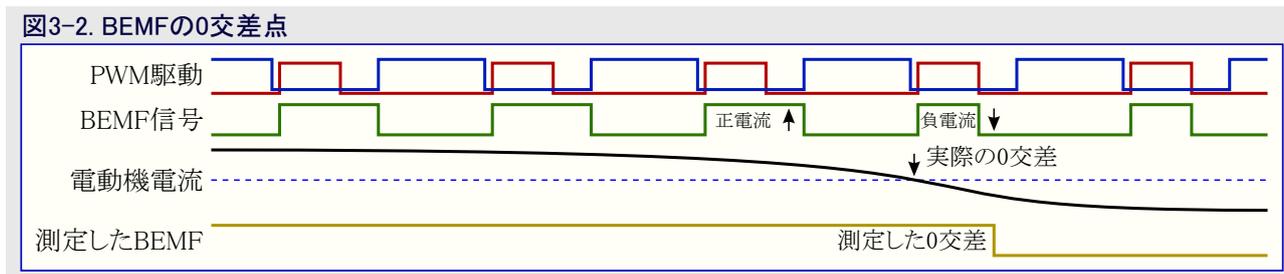
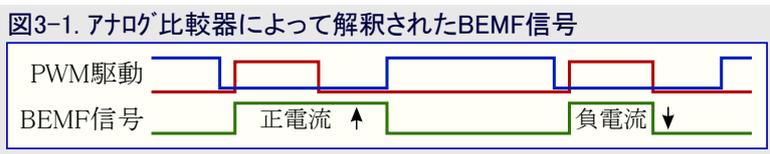
BEMF採取窓の挿入は通常の正弦状駆動と比べて時に次のような僅かな欠点を伴います。

1. 挿入された沈黙時間持続時間のため、PWMデューティサイクル範囲はPWM周波数とBEMFを正しく評価するための時間に依存する割合によって減らされます。
 2. 半ブリッジ(のFET)の本体ダイオードはより長い沈黙時間のためにより熱くなります。BEMFが正の時により大きな電力損失があります。
- これらの欠点を除き、この方法は3相電動機(BLDCまたはPMSM)の正弦状感知器なし制御に対する安価な代替で、1つの完全なPWM周回で多くの計算能力を必要としないため、8ビットMCUで実装することができます。通常、電動機制御には20kHzのPWM切り替え速度が使われ、故に完全なPWM周期持続時間は50μsです。

3. BEMF測定と解釈

A/D変換器(ADC)やアナログ比較器(AC)のような複数の周辺機能をBEMF採取と0交差検出に使うことができます。この方法ではアナログ比較器がBEMFを採取します。全てのPWM駆動信号は同期して論理的にLowでなければならず、巻き線は駆動されず、全ての伝搬遅延後に測定した信号が電動機のBEMFです。

アナログ比較器は図4-1.で示されるように、正入力に分割した電動機の相信号と負入力に電動機の結合中立点が接続されます。中立点はソフトウェアで再構成されるか、またはハードウェアで星形構成で抵抗器を使うかのどちらかでできます。比較器出力採取は沈黙時間周期と可能な遅延が一致するように時間を合わされます。比較器出力は巻き線を通る電流位置に等しいBEMF位置を提供します。この信号を使い、0交差検出を見つけて回転子の位置を推定することが可能です。図3-1.はアナログ比較器出力、図3-2.は0交差点の概要を示します。

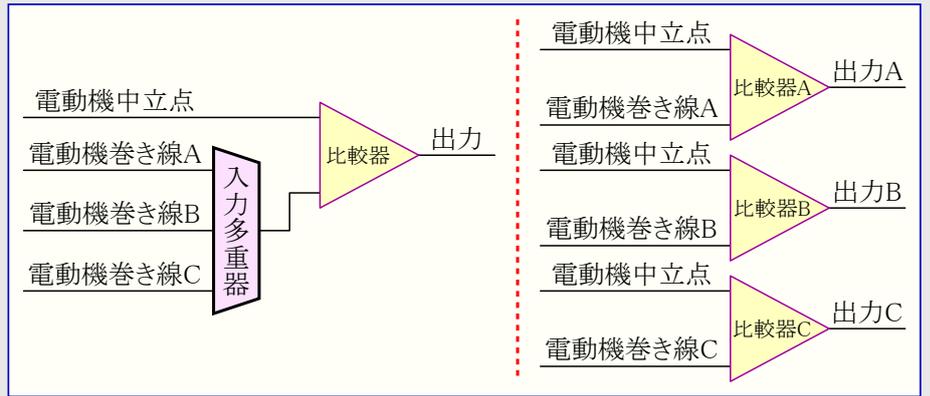


4. BEMFを使う駆動同期

ZCDは一度に1つの相に対してだけ起こるので、3相全てを同時に採取する必要があります。従って、BEMFを採取するのに必要とする部品は図4-1.で示されるように、3つの比較器または多重化した入力選択を持つ1つの比較器のどちらかによって与えることができます。

比較器遅延とMUX(多重器)安定化が考慮されなければなりません。遅延を避けるため、優先選択法を使うことができます。これは0交差に到達するまで電動機の最初の相を測定し、その後、次に0交差まで2つ目の相を測定し、以下同様です。

図4-1. 可能なアナログ比較器構成



採取したBEMFの値に基づき、電動機は駆動磁界を前または後ろにすることができます。駆動磁界と電動機間の誤差を減らすには、電動機整流(転流)の同期を改善するために制御算法を導入することができます。図4-2.は電動機が駆動磁界の後ろにある時に、3つ全ての濾波したBEMFチャネルを持つ3つ全ての駆動チャネルの描画を示します。

BEMFのZCDから得られた情報に基づき、次のように有り得る3つの場合があります。

1. BEMF信号は駆動信号の前で、故に同期を保つために駆動速度は減らされなければなりません。
2. BEMF信号は駆動信号の後ろで、故に同期を保つために駆動速度は増されなければなりません。
3. BEMF信号と駆動信号は範囲内で互いに同位相です。

図4-3.と図4-4.は1つの電動機相とそれのBEMF信号に対する上の1.と2.を示します。最初の図はBEMFが駆動の前の時の場合を示します。2つ目の図はBEMFが駆動の後ろの時の場合を示します。

図4-2. 各相に対する電動機の相と測定したBEMF

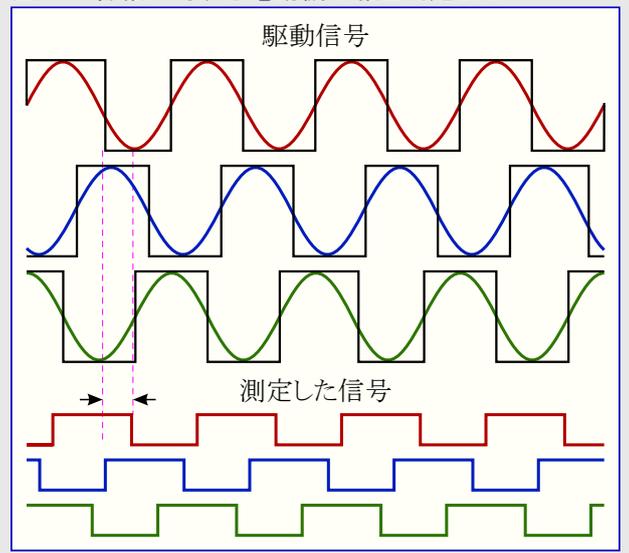


図4-3. 正弦駆動信号前のBEMF信号

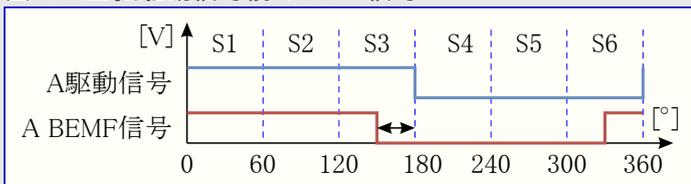
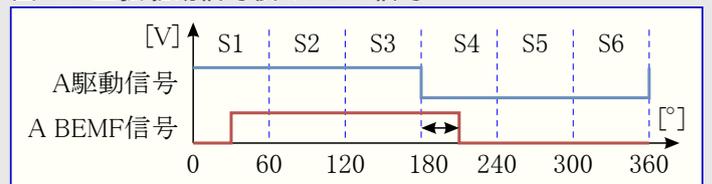


図4-4. 正弦駆動信号後のBEMF信号



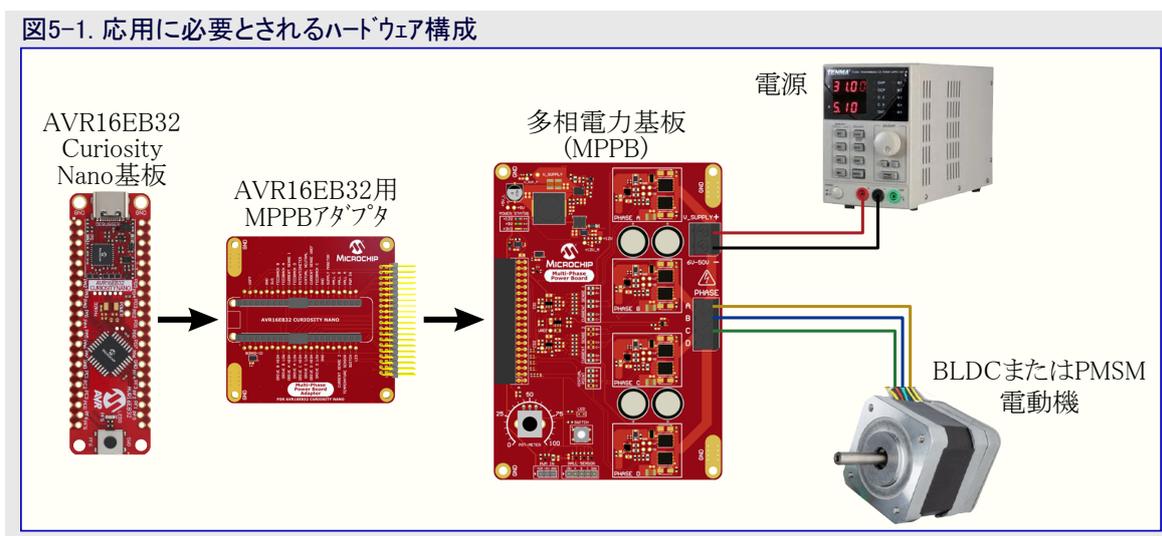
5. BEMF採取実演

この例は正弦状駆動で3相のブラシレス直流電動機(BLDC)や永久磁石同期電動機(PMSM)を回すために6つの補完PWM信号を生成するようにタイマ/カウンタ型(TCE)と波形生成拡張(WEX)の周辺機能を設定する方法を示します。この例は電動機が回っている時に逆起電力(BEMF)を測定するためにアナログ比較器(AC)周辺機能も構成設定します。

測定窓はPWM周期中の2つの沈黙時間の1つです。2 μ sへの沈黙時間増加は駆動信号によって影響されずに電流0交差を検出するのに十分な採取窓を与えます。別の沈黙時間期間は500nsです。完全なPWM周期は50 μ s(電動機制御応用で一般的に使われる、古典的な20kHzのMOSFET切り替え周波数)を持ちます。

この例では同期または閉路算法なしで強制整流(転流)を使って電動機が回ります。このコード例は沈黙時間中の新しい測定法を強調します。それがこの応用の主な目的ではないので、電動機は走行時に変更されない一定の速度と振幅で回ります。

下の画像はこの応用で使われた構成を示します。



MPLAB[®]コード構成部(MCC)Melody、MCC Melody(MCC Classicは不支援)を使ってこのプロジェクトを生成するには次の手順に従ってください。

1. AVR16EB32用MPLAB[®] X IDEプロジェクトを作成してください。
2. ツールバーからMCCを開き、[ここ](#)でMCCプラグインをインストールするより多くの情報を見つけてください。
3. MCC Content Manager(内容管理部)ウィザードでMCC Melodyを選び、その後にFinish(終了)をクリックしてください。
4. Project Resources(プロジェクト資源)をクリックし、System(システム)へ行き、CLKCTRLを選び、前置分周器許可釦を禁止してください。
5. Device Resources(デバイス資源)からDrivers(ドライバ)へ行ってTimer(計時器)窓でTCE単位部を追加し、その後に以下の構成設定を行ってください。
 - Module Enable(単位部許可): 既定で許可されなければなりません。そうでなければ、釦を切り替えてください(許可なら青に変わります)。
 - Clock Selection(クロック選択): System clock(システム クロック) (既定で分周器は1 - システム クロックでなければなりません。)
 - Counter Direction(計数器方向): UP(上昇計数)
 - Waveform Generation Mode(波形生成動作形態): TOP溢れでの単一傾斜PWM動作
 - Requested Period [s](要求周期): 0.00005
 - Duty Cycle 0 [%](デューティ サイクル0): 0
 - Duty Cycle 1 [%](デューティ サイクル1): 0
 - Duty Cycle 2 [%](デューティ サイクル2): 0
 - Duty Cycle 3 [%](デューティ サイクル3): 98.5
 - Waveform Output n(波形出力n): Waveform Output 0,1,2,3のEnable列で枠をチェックしてください。
 - Scale mode(尺度調整動作): CMP値は中央から尺度調整され、50% DC(デューティ サイクル)
 - Scaled Writing to register(レジスタへの尺度書き込み): Normal(標準)
 - Amplitude Control Enable(振幅制御許可): 釦を切り替えてください(許可されたなら、青に変わります。)
 - Amplitude Value(振幅値): 0.1
 - Generate ISR(割り込み処理ルーチン生成): 釦を切り替えてください(許可されたなら、青に変わります。)
 - Compare 3 Interrupt Enable(比較3割り込み許可): 釦を切り替えてください(許可されたなら、青に変わります。)

6. Device Resources(デバイス資源)からDrivers(ドライバ)へ行ってWEX単位部を追加し、その後に以下の構成設定を行ってください。
 - Input Matrix(入力配列): DIRECT(直接)
 - Update Source(更新供給元): TCE(出力信号用更新条件はTCEによって指示されます。)
 - Override Settings(上書き設定): Waveform Output 0~5のOutput Enable列で全ての枠をチェックしてください。
 - Dead-time Inersion Channel 0 Enable(沈黙時間挿入チャネル0許可): 釦を切り替えてください(許可なら、青に変わります。)
 - Dead-time Inersion Channel 1 Enable(沈黙時間挿入チャネル1許可): 釦を切り替えてください(許可なら、青に変わります。)
 - Dead-time Inersion Channel 2 Enable(沈黙時間挿入チャネル2許可): 釦を切り替えてください(許可なら、青に変わります。)
 - Requested Dead-time Low Side [μ s](要求沈黙時間Low側): 2
 - Requested Dead-time High Side [μ s](要求沈黙時間High側): 0.5
7. Device Resources(デバイス資源)からDrivers(ドライバ)へ行ってAC0単位部を追加し、その後に以下の構成設定を行ってください。
 - Enable(許可): 釦を切り替えてください(許可なら、青に変わります。)
 - Positive input MUX Selection(正入力多重器選択): Positive Pin 5(正入力ピン5)
 - Negative input MUX Selection(負入力多重器選択): Negative Pin 1(負入力ピン1)
 - Output Pad Enable(出力パッド許可): 釦を切り替えてください(許可なら、青に変わります。)
8. Pin Grid View(ピン格子表示)窓で - WEX_WO0~5ピンがPORTAでの出力として固定化されているかを調べてください。このピンはWaveform Output nのEnable列での枠をチェックすると、固定化されます。ポートを変更するにはPin Grid Viewで別のポートからそのピンをクリックしてください。PA7ピンがAC出力として設定されているかを調べてください。PD4とPD0のピンがACの入力として設定されているかを調べてください。また、他の2つの電動機相用のACの入力として別に2つのピンが必要です。PD5とPD6をクリックしてPins⇒GPIOから入力として設定してください。最後に、採取したBEMFと採取時期を示すピンがPins⇒GPIOから出力として設定されなければなりません。これらのピンはPF1、PF2、PF3、PF4です。
9. Project Resources(プロジェクト資源)窓で - MCCが指定したドライバと構成設定の全てを生成するようにGenerate(生成)釦をクリックしてください。
10. 上で説明した構成でMCC Melodyがプロジェクト ファイルを生成した後、main.cファイルの内容を以下で上書きしてください。マクロ定義、変数、それと電動機を駆動するのに使う参照表(LUT)を追加してください。

```

/* BLDC電動機の極対数 */
#define MOTOR_PAIR_POLES          4

/* HzでのMOSFET切り替え周波数 */
#define F_SAMPLING                20000.0

/* uint16_t範囲割り当て: 0~359.99電氣的角度⇒0~65535 */
#define DEGREES_TO_U16(DEG)      ((float)(DEG) * 65536.0 / 360.0 + 0.5) /

* RPMからLUT移動速度への速度変換 */
#define RPM_TO_U16(RPM)          ((float)(RPM) * 65536.0 * (float)
                                  (MOTOR_PAIR_POLES)) / ((float)(F_SAMPLING) * 60.0) + 0.5)

/* 正弦波信号の振幅、従ってU.Q.1.15形式で0~1.00の範囲でデューティサイクルの尺度調整値を設定。
 * デューティサイクル尺度調整はTCEのハードウェア高速処理部を使ってハードウェアで行われます。*/
#define AMP_TO_U16(X)            (uint16_t)(32768.0*(X) + 0.5)

/* 正電動機の世界 - 120RPM */
#define SPEED                     RPM_TO_U16(120)

/* 正弦波の振幅 - 10% */
#define AMPLITUDE                 AMP_TO_U16(0.1)

#include "mcc_generated_files/system/system.h"

typedef enum
{
    MUX_PHASE_A = (AC_MUXPOS_AINP5_gc | AC_MUXNEG_AINN1_gc),
    MUX_PHASE_B = (AC_MUXPOS_AINP6_gc | AC_MUXNEG_AINN1_gc),
    MUX_PHASE_C = (AC_MUXPOS_AINP3_gc | AC_MUXNEG_AINN1_gc),
} mux_t;

```

```

/* 正弦状駆動を生成するのに使われるLUT */
static const uint16_t sine_lookup_table[] =
{
    16384, 16786, 17187, 17589, 17989, 18389, 18788, 19185, 19580, 19973, 20364,
    20753, 21140, 21523, 21903, 22280, 22653, 23023, 23389, 23750, 24107, 24459, 24807,
    25149, 25486, 25818, 26143, 26463, 26777, 27085, 27386, 27681, 27969, 28250, 28523,
    28790, 29049, 29300, 29543, 29779, 30006, 30226, 30437, 30639, 30833, 31018, 31194,
    31362, 31520, 31670, 31810, 31941, 32062, 32174, 32276, 32369, 32453, 32526, 32590,
    32644, 32689, 32723, 32748, 32763, 32768, 32763, 32748, 32723, 32689, 32644, 32590,
    32526, 32453, 32369, 32276, 32174, 32062, 31941, 31810, 31670, 31520, 31362, 31194,
    31018, 30833, 30639, 30437, 30226, 30006, 29779, 29543, 29300, 29049, 28790, 28523,
    28250, 27969, 27681, 27386, 27085, 26777, 26463, 26143, 25818, 25486, 25149, 24807,
    24459, 24107, 23750, 23389, 23023, 22653, 22280, 21903, 21523, 21140, 20753, 20364,
    19973, 19580, 19185, 18788, 18389, 17989, 17589, 17187, 16786, 16384, 15981, 15580,
    15178, 14778, 14378, 13979, 13582, 13187, 12794, 12403, 12014, 11627, 11244, 10864,
    10487, 10114, 9744, 9378, 9017, 8660, 8308, 7960, 7618, 7281, 6949, 6624, 6304, 5990,
    5682, 5381, 5086, 4798, 4517, 4244, 3977, 3718, 3467, 3224, 2988, 2761, 2541, 2330,
    2128, 1934, 1749, 1573, 1405, 1247, 1097, 957, 826, 705, 593, 491, 398, 314, 241,
    177, 123, 78, 44, 19, 4, 0, 4, 19, 44, 78, 123, 177, 241, 314, 398, 491, 593, 705,
    826, 957, 1097, 1247, 1405, 1573, 1749, 1934, 2128, 2330, 2541, 2761, 2988, 3224,
    3467, 3718, 3977, 4244, 4517, 4798, 5086, 5381, 5682, 5990, 6304, 6624, 6949, 7281,
    7618, 7960, 8308, 8660, 9017, 9378, 9744, 10114, 10487, 10864, 11244, 11627, 12014,
    12403, 12794, 13187, 13582, 13979, 14378, 14778, 15178, 15580, 15981
};

```

Motor_Drive関数を追加してください。この関数は駆動信号を更新して与えられた速度で正弦状駆動を生成します。

```

/* 駆動を更新するために50μs毎に呼ばれる関数 */
void Motor_Drive(void)
{
    /* 走行時にLUTを通して回る計数器。
     * これらの計数器は電動機の各相間で120°の位相を生成するのに使われます。 */
    static uint16_t phase_a = DEGREES_TO_U16(0.0);
    static uint16_t phase_b = DEGREES_TO_U16(120.0);
    static uint16_t phase_c = DEGREES_TO_U16(240.0);
    static const uint16_t speed = SPEED;

    /* TCEのCMPチャンネルに書かれる値 */
    uint16_t drive_a, drive_b, drive_c;

    /* 計数器を更新 */
    phase_a += speed;
    phase_b += speed;
    phase_c += speed;

    /* 各CMPチャンネルに対してLUTから新しい変数を選択 */
    drive_a = sine_lookup_table[(phase_a >> 8)];
    drive_b = sine_lookup_table[(phase_b >> 8)];
    drive_c = sine_lookup_table[(phase_c >> 8)];

    /* 新しい値でCMPチャンネルの値を更新 */
    TCE0_CompareChannels012BufferedSet(drive_a, drive_b, drive_c);
}

```

Max_Set関数を追加してください。この関数はこの例が1つのアナログ比較器だけを使うため、1つの相から別の相へBEMF監視を切り替えます。

```
/* 走行時に3相全てを監視するために多重器を切り替える関数 */
void Mux_Set(uint8_t mode)
{
    uint8_t temp;
    temp = ACO.MUXCTRL;
    temp &= ~(AC_MUXPOS_gm | AC_MUXNEG_gm);
    temp |= mode;
    ACO.MUXCTRL = temp;
}
```

BEMF_Read関数を追加してください。この関数はBEMFを採取して汎用入出力(GPIO)でそれらを表示します。この関数はMax_SetとMotor_Driveの関数も呼び出します。

```
/* BEMF状態を読むために拡大した沈黙時間中に呼ばれる関数 */
void BEMF_Read(void)
{
    bool bemf_state;
    static mux_t mux = MUX_PHASE_A;

    /* I/O交互切り替えによって記されるBEMF採取点 */
    IO_PF4_SetHigh();
    bemf_state = ((ACO.STATUS & AC_CMPSTATE_bm) != 0);
    IO_PF4_SetLow();

    /* 1つの相から別の相へAC0多重器切り替え */
    switch(mux)
    {
        case MUX_PHASE_A: if(bemf_state) {IO_PF1_SetHigh();} else {IO_PF1_SetLow();}
                          mux = MUX_PHASE_B; break;
        case MUX_PHASE_B: if(bemf_state) {IO_PF2_SetHigh();} else {IO_PF2_SetLow();}
                          mux = MUX_PHASE_C; break;
        case MUX_PHASE_C: if(bemf_state) {IO_PF3_SetHigh();} else {IO_PF3_SetLow();}
                          mux = MUX_PHASE_A; break;
        default: mux = MUX_PHASE_A; break;
    }

    /* 電動機の別の相を監視するためにアナログ比較器多重器を更新 */
    Mux_Set(mux);

    /* 電動機回転を維持するために駆動を更新 */
    Motor_Drive();
}
```

main.cファイルを編集してください。BEMF_Read関数をTCE CMP3チャンネル用呼び戻しとして登録し、TCEハードウェア尺度調整高速処理部を許可し、望む振幅水準に設定してください。

```
int main(void)
{
    SYSTEM_Initialize();

    /* BEMF採取関数を呼び戻しとして登録 */
    TCE0_Compare3CallbackRegister(BEMF_Read);

    /* TCEのCMP3チャンネルでのBEMF読み取りタイミングの失敗を避けるため、
     * 初期化後にハードウェア尺度調整高速処理部を許可 */
    TCE0_ScaleEnable(true);

    TCE0_AmplitudeSet(AMPLITUDE);
}
```

```
while(1)
{
}
}
```

11. 今や、プロジェクトを構築してMPLAB X IDEから走行することができます。走行時、電動機が回っている間、電動機の各相からのBEMFがACで測定され、いくつかのGPIO出力ピンを使って示されます。測定したBEMFが電動機の相の正弦状駆動信号に従うのを観察することができます。

6. BEMF採取実演結果

下は沈黙時間中のBEMFの採取時期と、採取したBEMFが電動機の相の駆動信号にどう従うかを示すロジックアナライザの複製の図です。

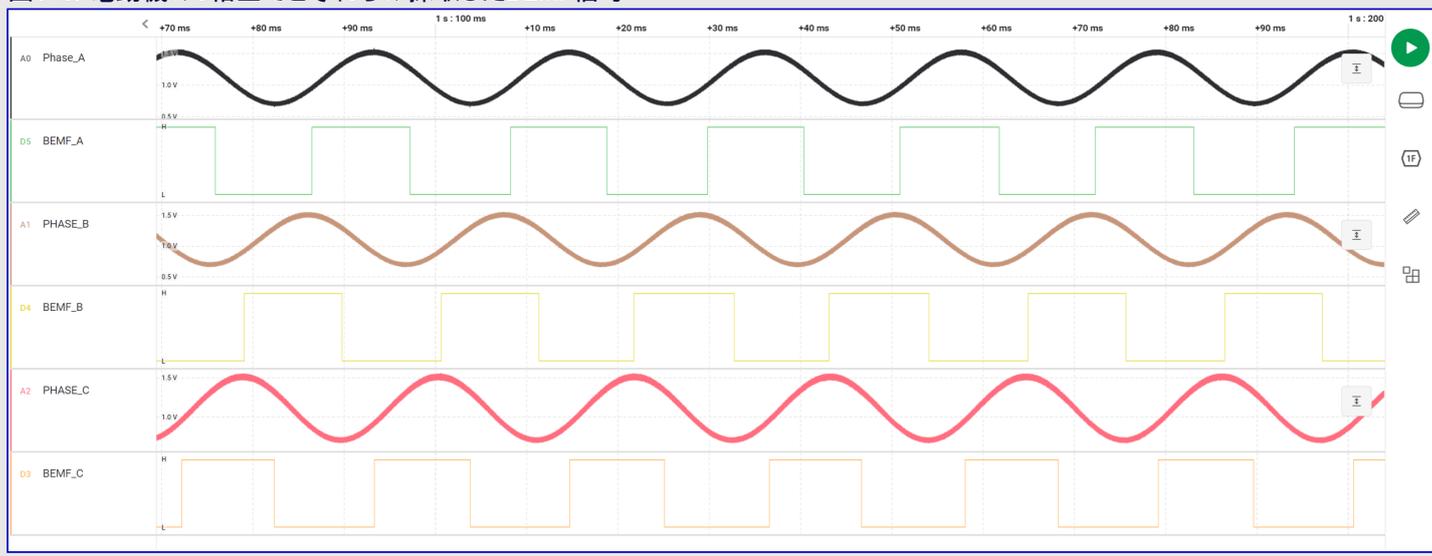
図6-1. 沈黙時間中のBEMFの採取点



図6-2. 電動機の1つの相に対するBEMF採取、アナログ比較器 対 採取したBEMF



図6-3. 電動機の3相全てとそれらの採取したBEMF信号



この複製では正弦状駆動を観察するために相信号はハードウェア低域通過濾波器で濾波されます。

ここで、この章で記述したのと同じ機能を持つ、MCCが生成したAVR16EB32用コード例を見つけることができます。



MPLAB DISCOVERでコード例を見るにはクリックしてください。

7. 結び

この技術概説は感知器なし正弦状動作で駆動されるBLDCやPMSMの電動機の相からBEMFを測定する方法を提供します。トランジスタ切り替えに追加される沈黙時間の1つの拡大は奇麗なBEMF信号測定のために充分大きな採取窓を作ります。この方法は16ビットや32ビットのコアの全ての能力を持たない8ビットMCUを使って実装することができます。

この方法使用時、回転子の位置についての情報はBEMFの0交差信号が検出される時の60°毎に得ることができ、駆動は電動機との同期を保つために更新されます。最高効率では巻き線を渡る電圧低下が最小なので、BEMFが駆動電圧で同期される時に達成されます。

この文書で提示された方法と比べ、FOC算法は回転子位置情報をもっと頻繁(PWM周期毎)に得られるため、未だより良い方法です。BEMFを測定するのに沈黙時間を使うこの新しい方法は、制御があまり複雑にされる必要なく、動的負荷変動があまり高くない低価格応用に適用することができます。

ファンとポンプのような応用はBEMF検出にこの測定方法を使い、感知器なし正弦状駆動を持つことができます。雑音と効率の面から、この新しく提案された方法で得られる制御は未だ従来の台形駆動よりも優れています。

8. 参照

- “AVR16EB14/20/28/32暫定データシート”(DS40002522)、Microchip Technology Inc., 2023
- “AVR16EB32 Curiosity Nanoピン配置” Microchip Technology Inc., 2023
- タイマ/カウンタE型(TCE)とWEXでの開始に際して Microchip Technology Inc., 2023
- 多相電力基板 (MPPB) Microchip Technology Inc., 2024
- MPPBへのAVR-EB Curiosity Nanoアダプタ Microchip Technology Inc., 2024

9. 改訂履歴

文書改訂	日付	注釈
A	2024年2月	初版文書公開

Microchip情報

Microchipウェブ サイト

Microchipはwww.microchip.com/で当社のウェブ サイト経由でのオンライン支援を提供します。このウェブ サイトはお客様がファイルや情報を容易に利用可能にするのに使われます。利用可能な情報のいくつかは以下を含みます。

- **製品支援** – データシートと障害情報、応用記述と試供プログラム、設計資源、使用者の手引きとハードウェア支援資料、最新ソフトウェア配布と保管されたソフトウェア
- **一般的な技術支援** – 良くある質問(FAQ)、技術支援要求、オンライン検討グループ、Microchip設計協力課程会員一覧
- **Microchipの事業** – 製品選択器と注文の手引き、最新Microchip報道発表、セミナーとイベントの一覧、Microchip営業所の一覧、代理店と代表する工場

製品変更通知サービス

Microchipの製品変更通知サービスはMicrochip製品を最新に保つのに役立ちます。加入者は指定した製品系統や興味のある開発ツールに関連する変更、更新、改訂、障害情報がある場合に必ず電子メール通知を受け取ります。

登録するにはwww.microchip.com/pcnへ行って登録指示に従ってください。

お客様支援

Microchip製品の使用者は以下のいくつかのチャネルを通して支援を受け取ることができます。

- 代理店または販売会社
- 最寄りの営業所
- 組み込み解決技術者(ESE:Embedded Solutions Engineer)
- 技術支援

お客様は支援に関してこれらの代理店、販売会社、またはESEに連絡を取るべきです。最寄りの営業所もお客様の手助けに利用できます。営業所と位置の一覧はこの資料の後ろに含まれます。

技術支援はwww.microchip.com/supportでのウェブ サイトを通して利用できます。

Microchipデバイス コード保護機能

Microchip製品での以下のコード保護機能の詳細に注意してください。

- Microchip製品はそれら特定のMicrochipデータシートに含まれる仕様に合致します。
- Microchipは動作仕様内で意図した方法と通常条件下で使われる時に、その製品系統が安全であると考えます。
- Microchipはその知的所有権を尊重し、積極的に保護します。Microchip製品のコード保護機能を侵害する試みは固く禁じられ、デジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。
- Microchipや他のどの半導体製造業者もそのコードの安全を保証することはできません。コード保護は製品が”破ることができない”ことを当社が保証すると言うことを意味しません。コード保護は常に進化しています。Microchipは当社製品のコード保護機能を継続的に改善することを約束します。

法的通知

この刊行物と契約での情報は設計、試験、応用とのMicrochip製品の統合を含め、Microchip製品でだけ使えます。他の何れの方法でのこの情報の使用はこれらの条件に違反します。デバイス応用などに関する情報は皆さまの便宜のためにだけ提供され、更新によって取り換えられるかもしれません。皆さまの応用が皆さまの仕様に合致するのを保証するのは皆さまの責任です。追加支援については最寄りのMicrochip営業所にお問い合わせ頂くか、www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-support-servicesで追加支援を得てください。

この情報はMicrochipによって「現状そのまま」で提供されます。Microchipは非侵害、商品性、特定目的に対する適合性の何れの黙示的保証やその条件、品質、性能に関する保証を含め、明示的にも黙示的にもその情報に関連して書面または表記された書面または黙示の如何なる表明や保証もしません。

如何なる場合においても、Microchipは情報またはその使用に関連するあらゆる種類の間接的、特別的、懲罰的、偶発的または結果的な損失、損害、費用または経費に対して責任を負わないものとします。法律で認められている最大限の範囲で、情報またはその使用に関連する全ての請求に対するMicrochipの全責任は、もしあれば、情報のためにMicrochipへ直接支払った料金を超えないものとします。生命維持や安全応用でのMicrochipデバイスの使用は完全に購入者の危険性で、購入者はそのような使用に起因する全ての損害、請求、訴訟、費用からMicrochipを擁護し、補償し、免責することに同意します。他に言及されない限り、Microchipのどの知的財産権下でも暗黙的または違う方法で許認可は譲渡されません。

商標

Microchipの名前とロゴ、Microchip、Adaptec、AVR、AVR、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maxStylus、maxTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi、MOST、MOST、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST、Super Flash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron、XMEGAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

AgileSwitch、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、IntelliMOS、Libero、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、ZLは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの登録商標です。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified、MPLIB、MPLINK、mSiC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICKit、PICtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、USBCheck、VariSense、Vector Blox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect、ZENAは米国と他の国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの商標です。

SQTPは米国に於けるMicrochip Technology Incorporatedの役務標章です。

Adaptec、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology、Symmcomは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の登録商標です。

GestICは他の国に於けるMicrochip Technology Inc.の子会社であるMicrochip Technology Germany II GmbH & Co. KGの登録商標です。

ここで言及した以外の全ての商標はそれら各々の会社の所有物です。

© 2024年、Microchip Technology Incorporatedとその子会社、不許複製

品質管理システム

Microchipの品質管理システムに関する情報についてはwww.microchip.com/qualityを訪ねてください。

日本語© HERO 2024.

本技術概説はMicrochipのTB3349技術概説(DS90003349A-2024年2月)の翻訳日本語版です。日本語では不自然となる重複する形容表現は省略されている場合があります。日本語では難解となる表現は大幅に意識されている部分もあります。必要に応じて一部加筆されています。頁割の変更により、原本より頁数が少なくなっています。

必要と思われる部分には()内に英語表記や略称などを残す形で表記しています。

青字の部分はリンクとなっています。一般的に赤字の0,1は論理0,1を表します。その他の赤字は重要な部分を表します。

世界的な販売とサービス

米国	亜細亜/太平洋	亜細亜/太平洋	欧州
本社 2355 West Chandler Blvd. Chandler, AZ 85224-6199 Tel: 480-792-7200 Fax: 480-792-7277 技術支援: www.microchip.com/support ウェブアドレス: www.microchip.com	オーストラリア - シドニー Tel: 61-2-9868-6733 中国 - 北京 Tel: 86-10-8569-7000 中国 - 成都 Tel: 86-28-8665-5511 中国 - 重慶 Tel: 86-23-8980-9588 中国 - 東莞 Tel: 86-769-8702-9880 中国 - 広州 Tel: 86-20-8755-8029 中国 - 杭州 Tel: 86-571-8792-8115 中国 - 香港特别行政区 Tel: 852-2943-5100 中国 - 南京 Tel: 86-25-8473-2460 中国 - 青島 Tel: 86-532-8502-7355 中国 - 上海 Tel: 86-21-3326-8000 中国 - 瀋陽 Tel: 86-24-2334-2829 中国 - 深圳 Tel: 86-755-8864-2200 中国 - 蘇州 Tel: 86-186-6233-1526 中国 - 武漢 Tel: 86-27-5980-5300 中国 - 西安 Tel: 86-29-8833-7252 中国 - 廈門 Tel: 86-592-2388138 中国 - 珠海 Tel: 86-756-3210040	インド - ハンガロール Tel: 91-80-3090-4444 インド - ニューデリー Tel: 91-11-4160-8631 インド - プネー Tel: 91-20-4121-0141 日本 - 大阪 Tel: 81-6-6152-7160 日本 - 東京 Tel: 81-3-6880-3770 韓国 - 大邱 Tel: 82-53-744-4301 韓国 - ソウル Tel: 82-2-554-7200 マレーシア - クアラルンプール Tel: 60-3-7651-7906 マレーシア - ペナン Tel: 60-4-227-8870 フィリピン - マニラ Tel: 63-2-634-9065 シンガポール Tel: 65-6334-8870 台湾 - 新竹 Tel: 886-3-577-8366 台湾 - 高雄 Tel: 886-7-213-7830 台湾 - 台北 Tel: 886-2-2508-8600 タイ - バンコク Tel: 66-2-694-1351 ベトナム - ホーチミン Tel: 84-28-5448-2100	オーストラリア - ウェルズ Tel: 43-7242-2244-39 Fax: 43-7242-2244-393 デンマーク - コペンハーゲン Tel: 45-4485-5910 Fax: 45-4485-2829 フィンランド - エスポー Tel: 358-9-4520-820 フランス - パリ Tel: 33-1-69-53-63-20 Fax: 33-1-69-30-90-79 ドイツ - ガルピング Tel: 49-8931-9700 ドイツ - ハーン Tel: 49-2129-3766400 ドイツ - ハイムブロン Tel: 49-7131-72400 ドイツ - カールスルーエ Tel: 49-721-625370 ドイツ - ミュンヘン Tel: 49-89-627-144-0 Fax: 49-89-627-144-44 ドイツ - ローゼンハイム Tel: 49-8031-354-560 イスラエル - ラーナナ Tel: 972-9-744-7705 イタリア - ミラノ Tel: 39-0331-742611 Fax: 39-0331-466781 イタリア - ハットバ Tel: 39-049-7625286 オランダ - テルネン Tel: 31-416-690399 Fax: 31-416-690340 ノルウェー - トロンハイム Tel: 47-72884388 ポーランド - ワルシャワ Tel: 48-22-3325737 ルーマニア - ブカレスト Tel: 40-21-407-87-50 スペイン - マドリッド Tel: 34-91-708-08-90 Fax: 34-91-708-08-91 スウェーデン - イェテボリ Tel: 46-31-704-60-40 スウェーデン - ストックホルム Tel: 46-8-5090-4654 イギリス - ウォーキングム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820
アトランタ Duluth, GA Tel: 678-957-9614 Fax: 678-957-1455 オースチン TX Tel: 512-257-3370 ホストン Westborough, MA Tel: 774-760-0087 Fax: 774-760-0088 シカゴ Itasca, IL Tel: 630-285-0071 Fax: 630-285-0075 ダラス Addison, TX Tel: 972-818-7423 Fax: 972-818-2924 デトロイト Novi, MI Tel: 248-848-4000 ヒューストン TX Tel: 281-894-5983 インディアナポリス Noblesville, IN Tel: 317-773-8323 Fax: 317-773-5453 Tel: 317-536-2380 ロサンゼルス Mission Viejo, CA Tel: 949-462-9523 Fax: 949-462-9608 Tel: 951-273-7800 ローリー NC Tel: 919-844-7510 ニューヨーク NY Tel: 631-435-6000 サンホセ CA Tel: 408-735-9110 Tel: 408-436-4270 カナダ - トロント Tel: 905-695-1980 Fax: 905-695-2078			