

3相AC電源の相順検出

序説

著者: Srinivasa K R, Microchip Technology Inc.

3相交流(AC)システムでは位相反転と単相運転、即ち、相損失が一般的に観測される障害状態です。相反転障害は一般的にシステムの取り付けや保守の間で人的誤りから起き、単相運転は断線や機械的な故障、摩耗した接触子、ヒューズ溶断、熱的過負荷のために起きます。これらの障害の結果はシステムに対して重い損傷と障害だけでなく、人員に対する危害も引き起こし得るシステム動作に対して安全でない状況です。従って、3相ACシステムに相順と相損失の監視部が必要とされます。監視部は負荷を守るために障害を検出してその後の活動を取るようにシステムへ通知します。

この応用記述は3相AC電源用の相順と相損失の検出システムの実装を記述し、AVR128DA48マイクロコントローラを使って模倣した3相ACシステム電源での相順と相損失の障害検出を実演します。実演はAVR128DA48 Curiosity Nano開発基板、Curiosity Nano Base基板、MikroelektronikaのClick™基板に基づきます。追加されたファームウェアはAtmel STARTコード構成部とAtmel Studio統合開発環境(IDE: Integrated Development Environment)を使ってAVR128DA48マイクロコントローラで開発されています。ファームウェアはMPLAB®コード構成部(MCC)とMPLAB® X統合開発環境(IDE)でも開発されています。

AVR® DAは機能豊富で高性能、低電力な8ビットマイクロコントローラシステムです。組み込み0交差検出器(ZCD: Zero-Cross Detector)、12ビット差動A/D変換器(ADC)、タイマ/カウンタ周辺機能が相順検出応用実装で重要です。AVR DAマイクロコントローラのZCD周辺機能は上昇端、下降端、両端での割り込み生成が特徴です。ZCDと12ビット差動ADC周辺機能の組み合わせは多相AC電源に対して利用可能なマイクロコントローラに基づかない伝統的な相順検出解決策に対して信頼に足る効率的で費用効率が良い相順検出解決策を提供します。

要点

この応用記述は以下の内容が要点です。

- ・ 3相相順検出応用に使われるAVR DAマイクロコントローラ機能の概要
- ・ 3相相順検出応用の概要
- ・ 3相AC電源模倣部
- ・ 相順検出と相損失の検出用実演ファームウェア

ファームウェア

AVR128DA48用ファームウェアは以下のリンクのGitHubで入手可能です。



GitHubでコード例を見てください (Atmel Studio)。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。



GitHubでコード例を見てください (MPLAB® X)。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

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
要点	1
ファームウェア	1
1. AVR® DA系概要	3
1.1. 関連デバイス	3
1.2. 0交差検出器 (ZCD)	3
1.3. A/D変換器 (ADC)	3
2. 相順検出の基礎	4
2.1. 3相電源	4
2.2. 相順検出と相反転	4
2.3. 相損失と単相運転検出	5
2.4. RMS電圧測定	5
3. 応用概要	5
4. 3相信号模倣とデータ可視化	6
4.1. 3相正弦状信号模倣	6
4.2. データ可視器	7
5. ハードウェア概要	8
5.1. ハードウェア道具	8
5.2. ハードウェア設定	8
5.3. マイクロコントローラピン構成設定詳細	9
6. 応用実装	9
6.1. 応用ファームウェア	10
6.2. ファームウェア単位部	10
6.3. マイクロコントローラ周辺機能構成設定	13
6.4. プログラムとデータのメモリ要件	13
6.5. 使ったソフトウェア ツール	13
7. 実演の設定と操作	14
7.1. 実演設定	14
7.2. データ可視器構成設定	15
7.3. 使用者入力	19
7.4. 応用出力表示部	20
7.5. 実演操作	20
8. 実時間応用のための相順検出	22
9. 結び	22
10. 参考文献	23
11. 追補	24
11.1. AVR128DA64での応用実装	24
11.2. コード構成部	25
12. 改訂履歴	36
Microchipウェブ サイト	37
製品変更通知サービス	37
お客様支援	37
Microchipデバイス コード保護機能	37
法的通知	37
商標	38
品質管理システム	38
世界的な販売とサービス	39

1. AVR® DA系概要

1.1. 関連デバイス

AVR® DA系のマイクロコントローラは28、32、48、64ピン外周器で32/64/128Kバイトのフラッシュメモリ、4/8/16KバイトのSRAM、512バイトのEEPROMを持ち、最大24MHzで動き、ハードウェア乗算器を持つAVR CPUを使います。このシステムは事象システムと休止歩行、正確なアナログ機能、進化したデジタル周辺機能を含む柔軟で低電力な基本設計を持つMicrochipの最新技術を使います。

図1-1. AVR® DA系マイクロコントローラの概要

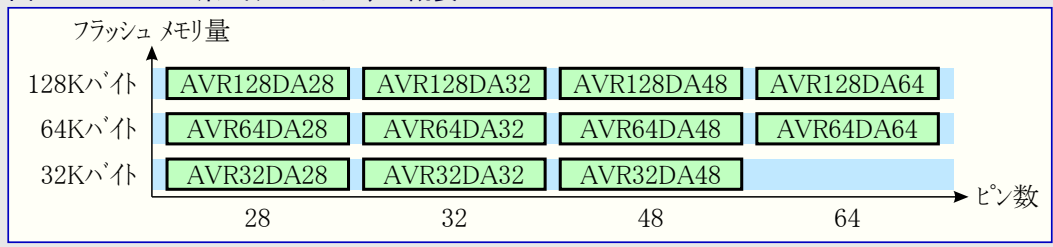


図1-1.は各種のピン数とフラッシュメモリの大きさでAVR DA系マイクロコントローラを示します。異なるフラッシュメモリの大きさを持つデバイスは一般的に異なるRAMとEEPROMも持ちます。

- これらのデバイスが完全にピンと機能が互換のため、垂直方向移植はコード変更なしで可能です。
- 左への水平方向移植はピン数、従って利用可能な機能を減らします。

利用可能なAVR DA系マイクロコントローラから、これらのデバイスが各々2個と3個のZCD周辺機能の実体が装備されているため、48ピンと64ピンのデバイスがこの応用記述に適切です。

注: これらのデバイスが各々2個と3個のZCD周辺機能の実体が装備されているため、AVR DB系の48ピンと64ピンのデバイスもこの応用記述に適切です。

1.2. 0交差検出器 (ZCD)

0交差検出器(ZCD)周辺機能は交流電圧が0V、即ちGND電位近くの閾値を通して横切る時を検出します。この閾値は0交差参照基準電圧で、AVR DA系マイクロコントローラのZCD周辺機能に対しては接地の上の0.8Vです。

ZCD周辺機能は0交差検出を実行するのに使われる伝統的な方法よりもっと多くの機能を提供します。

ZCD周辺機能は交流信号の上昇端検出、下降端検出、上昇と下降の両端検出でソフトウェア割り込みの形式で出力を与えることができます。これらの機能は交流信号での0交差検出に対してZCD周辺機能の効率的な利用で使用者を助けます。

また、ZCD周辺機能は以下の使用可能な機能を提供します。

- ZCD論理出力表示
- ZCD参照基準電圧(ZCPINV)変位(オフセット)補正
 - 変位電流による補正
 - AC結合による補正
 - VPEAK変動処理
- 事象システムへの事象生成部

1.3. A/D変換器 (ADC)

アナログ感知器をマイクロコントローラに接続するための最も簡単で最も一般的に使われる周辺機能がA/D変換器(ADC)です。AVR DA系マイクロコントローラは最大22チャネル、12ビットで最大130kspsの採取速度を持つ12ビット逐次比較(SAR)ADCを提供します。ADCへの入力にはADCへの入力電圧が試料化中に一定の水準で保持されることを保証する採取/保持回路を通して供給されます。

AVR DA系マイクロコントローラはシングルエンドと差動の両動作のADC機能を支援します。

ADCは多数のシングルエンドまたは差動の入力間の選択用のアナログ入力多重器に接続されます。シングルエンド変換ではADCが選んだ入力と0V(GND)間の電圧を測定します。差動変換ではADCが選んだ入力チャネル間の電圧を測定します。選ばれるADC入力チャネルは内部(例えば、電圧参照基準)または外部アナログ入力ピンのどちらかにすることができます。

2. 相順検出の基礎

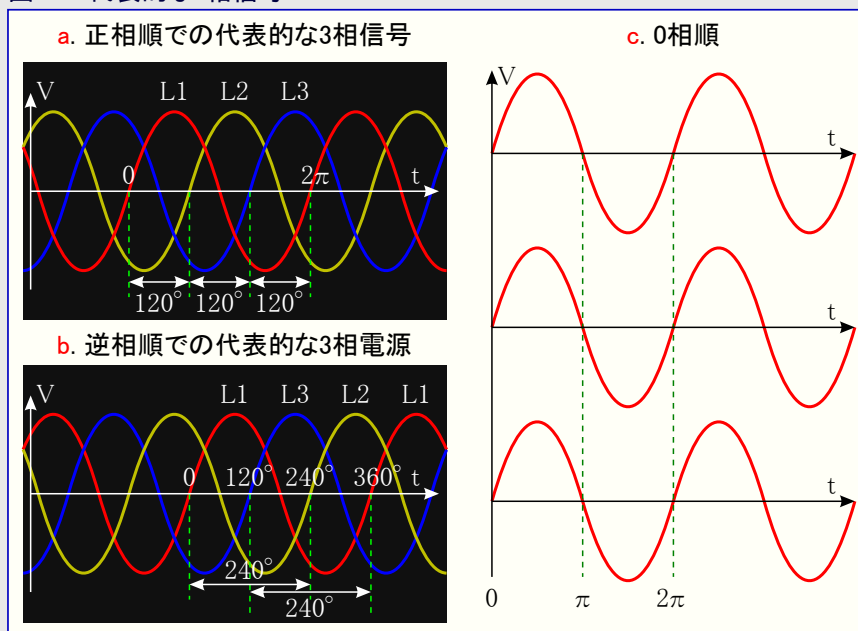
本章は3相電源系の簡単な概要とそれに関連する障害を与えます。

2.1. 3相電源

3相電源系は世界的に発電、送電、配電、消費の最も一般的な方法です。

3相電力は一般的にL1、L2、L3として表される3つの交流相から成ります。3相全てが接地電位に対する参照で等しい振幅のAC電圧と周波数を生成します。全ての3相電圧は図2-1.の'a'で示されるように互いに120°位相変移されています。

図2-1. 代表的な3相信号



2.2. 相順検出と相反転

通常、L1、L2、L3として示される3相電源の3つの相は特定の手順で周期的に次々とそれら各々の頂上電圧を達成し、これは相順として参照されます。

相反転は3相供給のどれか2つの相が標準手順から交換された時に起こります。相反転障害は装置取り付け、委託、保守中に行われた誤りの結果として起きます。

相反転障害は3相電源の相順を監視することによって検出することができます。

3相AC系で正しく負荷を駆動するには正しい相順が必要とされます。望むように負荷が動くことを保証してください。3相AC供給の相順が不正な時に、接続された負荷は逆方向で動くかもしれず、または予期せぬ負荷の動きに帰着するかもしれません。

3相供給の相順を形成している間に存在する3つの可能性は次のとおりです。

- 正相順
- 逆または反転相順
- 0相順

3相供給の相順は時間の単位で3つの正弦状信号間の位相変移を測定することによって監視することができます。

2.2.1. 正相順

正相順の場合、3相供給の3つの線全ての電圧はL2位相がL1位相に120°遅れ、L3位相がL1位相に240°遅れる360°を通して周回します。L1-L2-L3手順は正相順と呼ばれます。

図2-1.の'a'はL1、L2、L3相がその手順で次々と周期的にそれら各々の頂上電圧を達成する3相供給の正相順を示します。

2.2.2. 逆相順

逆/反転相順の場合、3相供給の3つの線全ての電圧はL3位相がL1位相に120°遅れ、L2位相がL1位相に240°遅れる360°を通して周回します。L1-L3-L2手順は逆相順または反転相順と呼ばれます。

図2-1.の'b'はL2相とL3相が標準手順から交換された3相供給の逆相順または反転相順を示します。

2.2.3. 0相順

L1、L2、L3の相が互いに平行の場合、この手順は0相順として参照されます。

図2-1.の'c'はL1、L2、L3の相が互いに平行である0相順を示します。

2.3. 相損失と単相運転検出

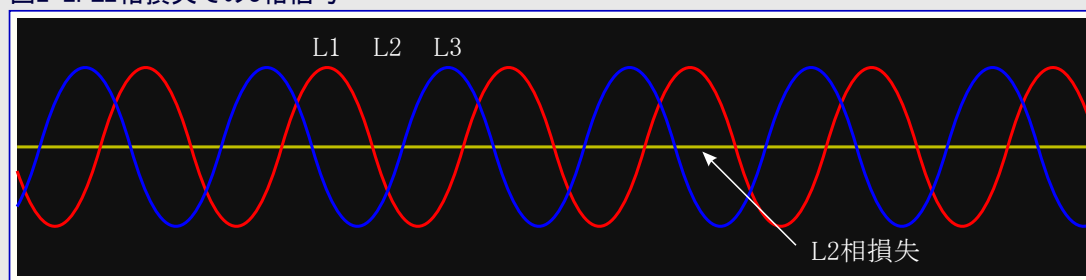
単相運転、即ち、相損失は3相系で経験される非常に一般的な電氣的障害で、3相電源のどれかの相が失われた時に起こります。相損失障害はヒューズ溶断、熱的過負荷、断線、線接触子や機械的な故障のために起きます。3相系での相損失を検出する障害の場合、やがて接続された負荷と基礎構造が酷く損傷され得ます。

3相供給の相損失は各相の実効値(RMS)電圧を測定することか、またはZCD周辺機能を使って相の0交差を監視することのどちらかによって検出することができます。

3相供給のどれかの相のRMS電圧が0の場合、相損失と考えられます。ZCD実装に基づく場合では特定の時間間隔で相のどれかに対して0交差が検出されない場合に相の損失を意味します。

図2-2.は3相供給での信号位相を示します。L2相が失われ、L3がL1位相に240°遅れ、3相信号は相から120°が抜けています。

図2-2. L2相損失での3相信号



2.4. RMS電圧測定

AC電源について、RMSは抵抗性負荷で同じ平均電力消費を生成する直流の値と等価です。RMSはAC電力の等価DC測定を与えます。数学的に、実効値(2乗平均平方根)は平均平方の平方根(一連の数値の2乗の算術平均)として定義されます。交流信号に於いてRMSは周期中の瞬間値の2乗の積分として定義することができます。

RMS電圧を計算するのに使った式は次のとおりです。

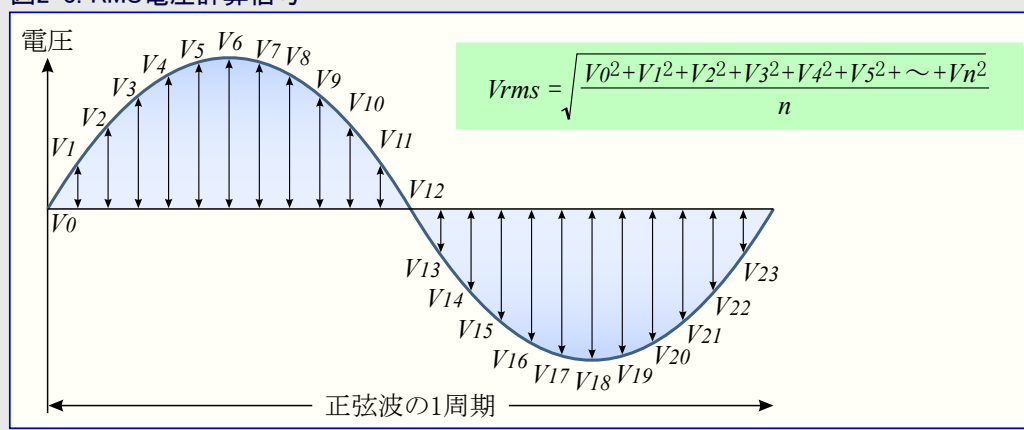
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{(2 \text{ 乗した電圧試料の合計})}{\text{試料数}}}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}{n}}$$

ここで、 n は試料数、 $V_1, V_2, V_3 \sim V_n$ はADCを使って入力信号から採取した電圧試料です。

図2-3.は24個に等しく分割採取された信号を示します。

図2-3. RMS電圧計算信号



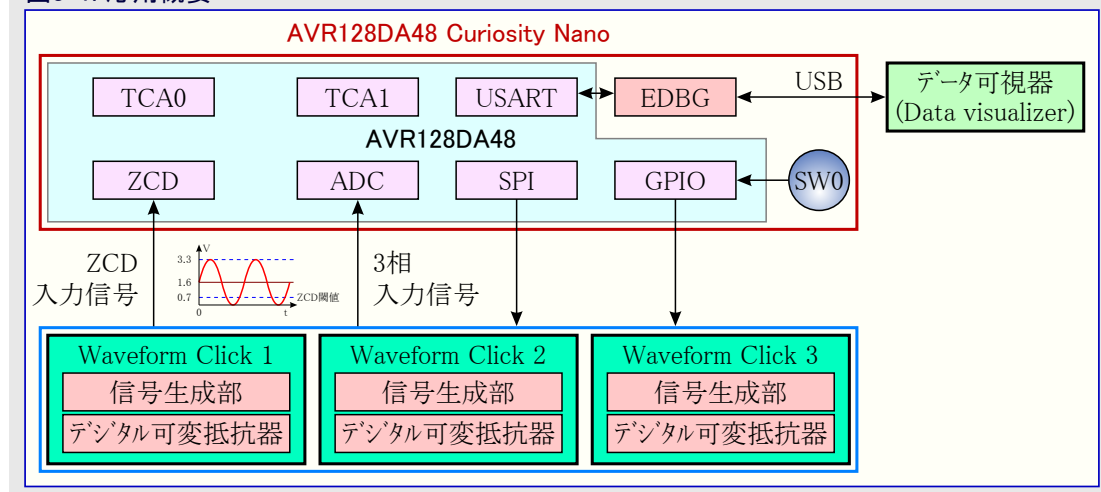
3. 応用概要

応用実演部はAVR128DA48マイクロコントローラを使い、模倣した3相AC供給での相順検出、相損失検出、RMS電圧測定を示します。

この実演は応用の重要な機能を示すのに模倣した3相AC供給を使います。AC電源を模倣するため、応用に於いて3つのMikroelektronika waveform clickが使われます。waveform clickは望む振幅、位相、周波数で正弦状信号を生成します。応用はAC供給を代用するためにwaveform clickを50/60Hzで120°の位相差を持つ3つの3.3V正弦状信号を生成するように構成設定します。加えて、様々な障害を見せるためにwaveform clickは出力信号を変更するため、走行中に応用によって再構成設定することができます。

応用ではUARTインターフェースを通して応用ファームウェアと互いに作用するのにデータ可視器(Data Visualizer)ツールが使われます。データ可視器は信号の相反転、相損失、RMS電圧の生の状態を監視して報告するのに使われます。waveform clickによる様々な障害を再現するために模倣部へ命令を送るのにも使われます。

図3-1. 応用概要



50Hzと60Hzの動作形態を選ぶにはCurisity Nano基板上の切替器が使われます。システムは通电後10秒間周波数選択動作に留まります。既定で、システムは50Hzの周波数で開始し、基板が通电された後に切替器を押すことによって変更することができます。選択変更はデータ可視器の計器盤(Dashboard)ウィンドウで見ることができます。

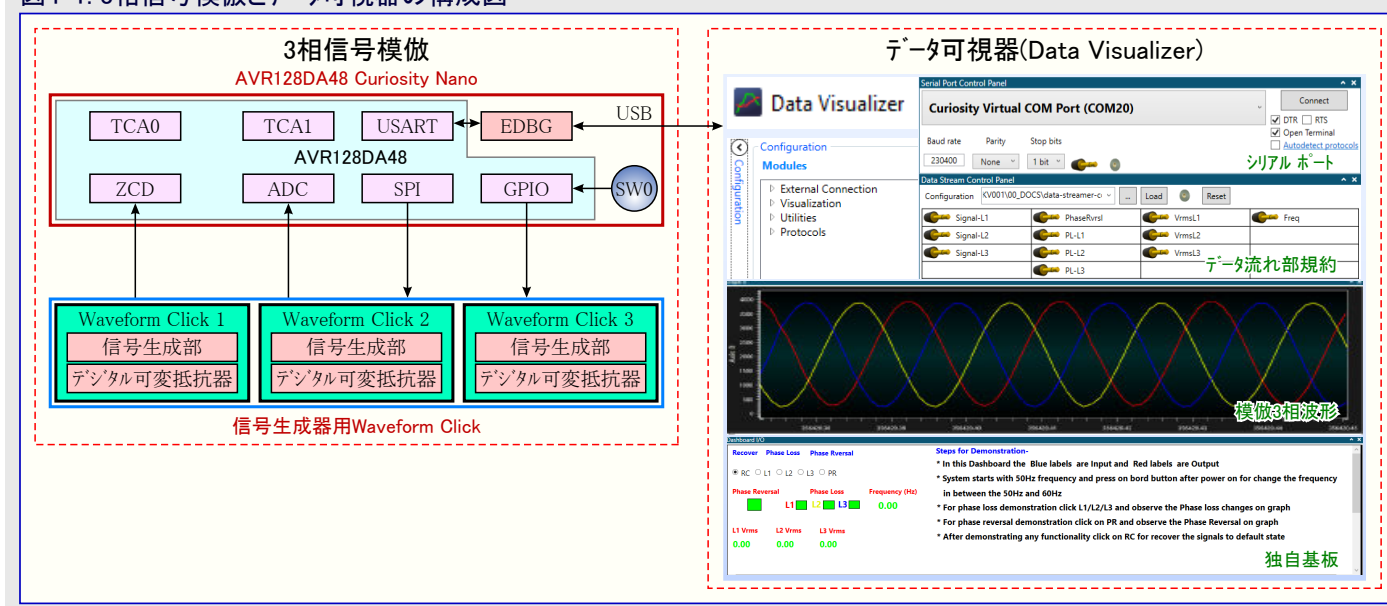
応用は相反転と相損失の障害に対して3相電源を継続的に監視します。3相信号の相順、相損失、RMS電圧水準の結果が計器盤ウィンドウで継続的に更新されます。

計器盤から相損失と相反転の障害を実演するための使用者入力受け取りで、応用はwaveform clickの構成設定を更新します。それにより、望む障害状態を持つ3相信号がwaveform clickによって生成されます。

また、応用は障害状態から回復するために計器盤から適切な命令を受け取る時に障害状態を回復します。

4. 3相信号模倣とデータ可視化

図4-1. 3相信号模倣とデータ可視器の構成図



4.1. 3相正弦状信号模倣

この応用で相順検出器への入力は3相AC入力です。入力供給の相順、相損失、RMS電圧計算は応用の基本的な機能です。

「応用概要」章で検討されたように、この実演は3相電源の代用に波形模倣部を使っています。応用を実演するため模倣する信号に対して以下の特性が必要とされます。

- 3相信号(L1-L2-L3)
- 構成設定可能な振幅
- 構成設定可能な位相変移
- 構成設定可能な周波数

前の機能を達成するため、3相模倣部はMikroElektronikaのwaveform clickを使って実現されます。waveform clickは構成設定可能な周波数、位相、振幅を持つ正弦状波形を生成することができます。相順検出システムへの入力として供給されるのを必要とする120°の位相変移を持つ3相正弦状信号を生成するのに3つのwaveform clickが使われます。走行時に波形構成設定変更の提供を持つ模倣された3相正弦状信号は実装された相順検出システムの機能全ての効率的な実演を手助けします。

図4-2. 模倣した信号

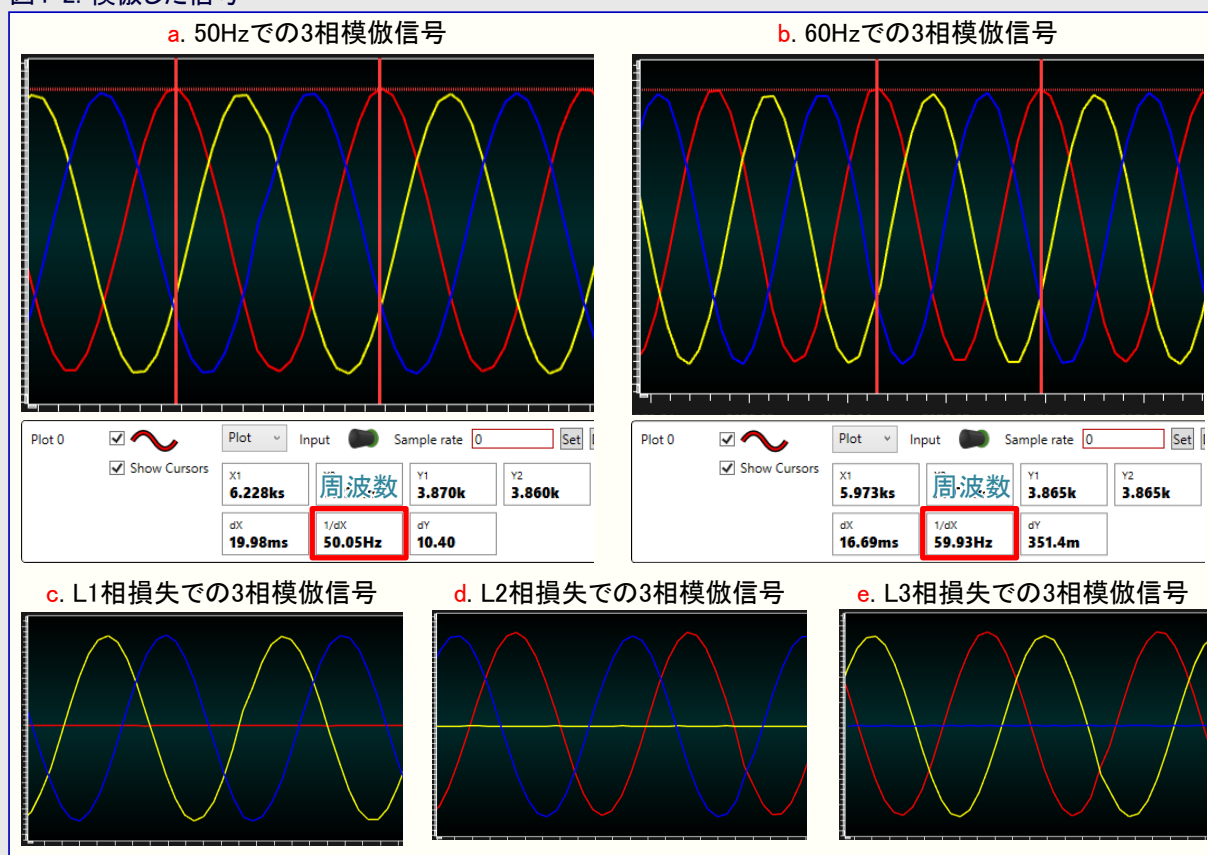


図4-2の'a'は応用実演に使われる模倣した3相信号を示します。これは50Hzの周波数で信号間で120°の位相変移を持つ3つの信号から成ります。

図'b'は60Hzの周波数で模倣した3相信号を示します。

図'c'はL1相損失で模倣した3相信号を示します。これは0HzでのL1、50HzでのL2とL3の異なる周波数の3つの信号から成ります。

図'd'はL2相損失で模倣した3相信号を示します。これは0HzでのL2、50HzでのL1とL3の異なる周波数の3つの信号から成ります。

図'e'はL3相損失で模倣した3相信号を示します。これは0HzでのL3、50HzでのL1とL2の異なる周波数の3つの信号から成ります。

4.2. データ可視器

データ可視器(Data Visualizer)は指定した通信インターフェース上でマイクロコントローラからのデータを処理して可視化することを意図したMicrochipの独自化可能な道具(PCソフトウェア)です。データ可視器は組み込みデバッグ、データ中継器インターフェースやシリアル通信ポートのような様々な供給元からデータを受け取ることができます。

本項はこの実演で使われる主な単位部とデータ可視器の機能の概要を与えます。

・シリアルポート

データ可視器のシリアルポートはPCのシリアルポートまたは(USB-シリアルを使って)USBに接続することができます。データ可視器は直列UART通信の標準的なボーレートを支援し、応用実演でのボーレートは230400に設定されます。

・図表

図表(Graph)単位部は図表作図の道具です。この単位部は摺動子入力、電力測定入力、シリアルポートのような各種供給元から同時にいくつかの信号の作図を許します。この実演での図表は3相模倣部信号を見るのに使われます。

・独自計器盤

計器盤(Dashboard)単位部は独自化可能な図画的ユーザーインターフェース(GUI)盤です。これは目的対象応用に対してデータを送受信するのに使うことができます。これは応用ファームウェアのパラメータを制御して表示するのに使うことができます。GUIを形成するために計器盤内に要素(釐、標識、摺動子など)が配置されます。各要素は値を送るまたは受け取るためにそれと連携する終端を持つことができます。例えば、摺動子は応用ファームウェアへ送ることができる数値として摺動子位置を出力する供給元を持ちます。終端はShow Endpoints(終端表示)任意選択が選ばれた時に示されます。

・データ流れ規約

データ流れ(Data Stream)単位部はやって来る生のデータの流れを取ってそれを複数のデータの流れに分けます。データ流れ形式は使用者によって提供される構成設定ファイルによって指定されます。構成設定ファイルは行毎に1つのデータ変数を指定するコンマ(,)分離された文字型ファイルです。

データ可視器についてのより多くの詳細に関しては「[データ可視器使用者の手引き](#)」を参照してください。

5. ハードウェア概要

実演を実行するのにMicrochipの開発キットが使われます。これは相順検出応用実演の迅速な開発と準備を支援します。

5.1. ハードウェア道具

相順検出実演部は以下のハードウェアを使います。

- ・ **AVR128DA48 Curiosity Nano基板**

このCuriosity Nano基板はAVR128DA48マイクロコントローラの容易な評価を許します。この基板は開発過程を通して開発者を支援するために完全な書き込みとデバッグの能力も提供します。

- ・ **Click基板用Curiosity Nano Base**

各Curiosity Nano基板はClick基板用Curiosity Nano Baseに適合します。この基基は全てのCuriosity Nano基板に合うソケットに加えて3つのmikroBUS™ソケットと、それらの設計を苦もなく拡張することを開発者に許すXplained Pro拡張基板コネクタを含みます。

- ・ **3つのMikroElektronika waveform click**

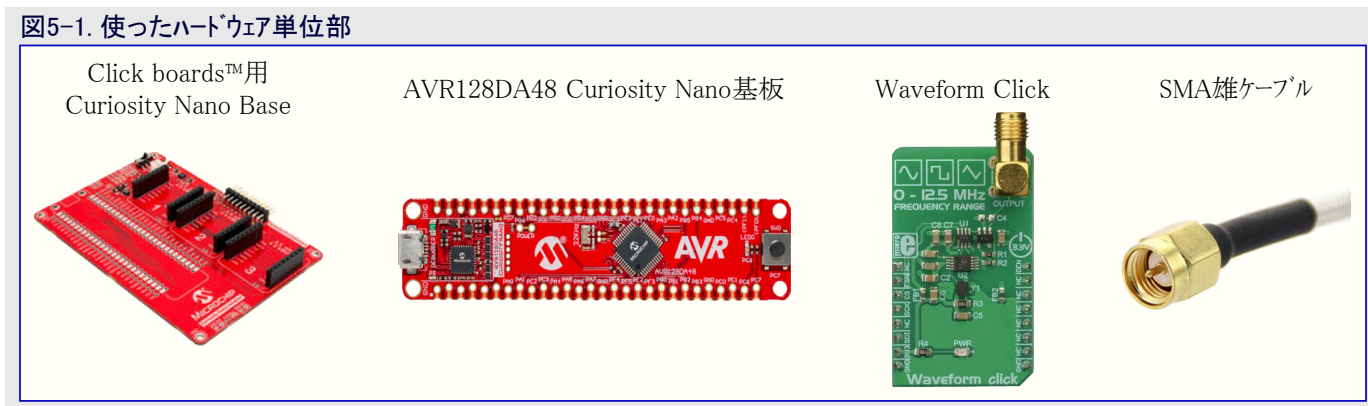
waveform clickは信号生成器(AD9833)とデジタル可変抵抗器(AD5227)から成ります。waveform clickは正弦状波形を含み、12MHzまでの周波数で様々な型の信号を生成することができます。

出力信号は遮蔽された同軸ケーブルの使用を許すSMAコネクタで利用可能です。この応用でwaveform clickは3相AC供給を模倣するのに使われます。

- ・ **SMA雄ケーブル**

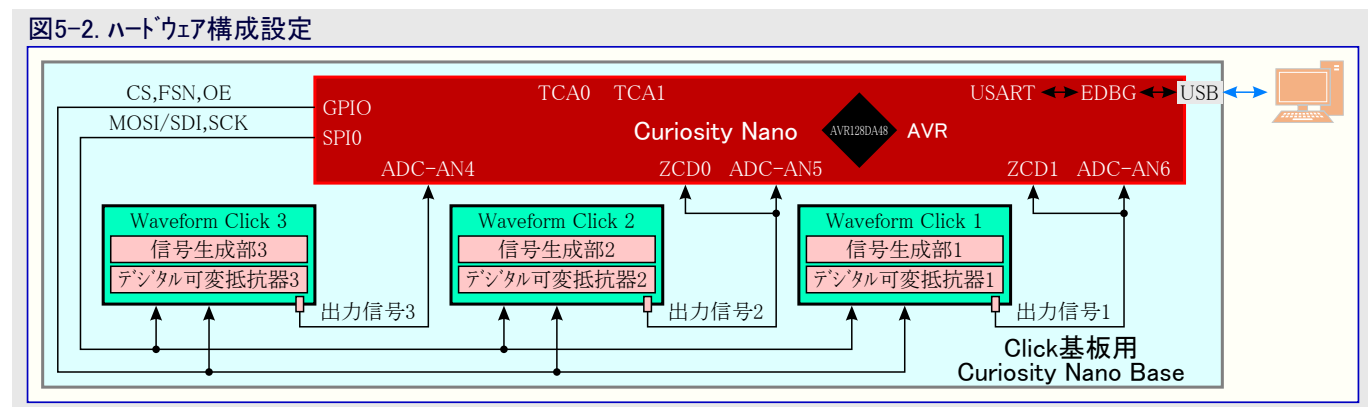
超小型(SMA)コネクタは螺子式結合機構を持つ同軸ケーブルに対する最小のコネクタインターフェースとして開発された準精密同軸RFコネクタです。SMAケーブルは波形を生成するclick基板出力をCuriosity Nanoに接続するのに使われます。

図5-1. は応用を実現するのに使われるハードウェアを示します。



5.2. ハードウェア設定

3相順検出応用に必要とされるハードウェア開発基板は図5-2.で示されるように接続されます。



AVR128DA48 Curiosity Nano基板が使われ、それはClick基板用Curiosity Nano Baseに載せられます。

SMA雄ケーブルはwaveform click出力をZCD入力とADCチャネル入力へ接続するのに使われます。

データ可視器(Data Visualizer)ツールは相順検出応用の実演に使われます。データ可視器の図表(Graph)表示は模倣3相電源系の視覚的反応を与えるためにwaveform clickによって生成された3相波形を表示するのに使われます。データ可視器の独自計器盤(Dashboard)機能は3相順検出応用に対して特有の計器盤を設計するのに使われます。計器盤はマイクロコントローラによって測定された現在のRMS電圧と障害状況を示します。

Curiosity Nano基板上のUSB-UART橋渡しインターフェースはデータ可視器とAVR128DA48マイクロコントローラ間の通信に使われます。

5.3. マイクロコントローラピン構成設定詳細

下は3相順検出応用に対するAVR128DA48マイクロコントローラのピン構成設定詳細です。

表5-1. ピン構成設定詳細

通番	マイクロコントローラピン	ピン構成設定	周辺機能構成設定	ピン機能
1	PA4	SPI-MOSI	SPI	Waveform Click SPI0-MOSI
2	PA6	SPI-SCK	SPI	Waveform Click SPI0-SCK
3	PC0	Rx	USART	USART1 Rx
4	PC1	Tx	USART	USART1 Tx
5	PC7	入力	GPIO	Curiosity Nano基板上釐
6	PD1	アナログ入力	ZCD	ZCD0入力
7	PE3	アナログ入力	ZCD	ZCD1入力
8	PD6	アナログ入力	ADC	ADC-AN6へのWaveform Click 1出力
9	PD5	アナログ入力	ADC	ADC-AN5へのWaveform Click 2出力
10	PD4	アナログ入力	ADC	ADC-AN4へのWaveform Click 3出力
11	PA7	SPI-CS1(出力)	GPIO	Waveform Click 1、AD5227チップ選択
12	PD7	SPI-FSN1(出力)	GPIO	Waveform Click 1、AD9833チップ選択
13	PD0	OEN1(出力)	GPIO	Waveform Click 1出力許可
14	PE2	SPI-CS2(出力)	GPIO	Waveform Click 2、AD5227チップ選択
15	PF3	SPI-FSN2(出力)	GPIO	Waveform Click 2、AD9833チップ選択
16	PB5	OEN2(出力)	GPIO	Waveform Click 2出力許可
17	PB4	SPI-CS3(出力)	GPIO	Waveform Click 3、AD5227チップ選択
18	PE1	SPI-FSN3(出力)	GPIO	Waveform Click 3、AD9833チップ選択
19	PD2	OEN3(出力)	GPIO	Waveform Click 3出力許可

6. 応用実装

応用ファームウェアはAVR128DA48マイクロコントローラで開発され、以下を使って生成されています。

- Atmel STARTとAtmel Studio IDE
- MCCとMPLAB X IDE

実装されたファームウェアはAVR128DA48 Curiosity Nano開発基板で実行されます。

3相電源を使って相順検出の機能を実装するのに計時器、SPI、USART、ADC、ZCDのMCU周辺機能が使われます。

タイマ/カウンタA型実体1(TCA1)は500μs毎に作業を計画するために使われ、これは500μs毎に割り込みを生成するように構成設定されます。

タイマ/カウンタA型実体0(TCA0)は20ms毎に溢れ割り込みを生成するように構成設定されます。これは2つのZCD割り込み間の時間を測定するのに使われ、それによって3相入力の相間の相変移を計算します。

SPIは模倣した3相を生成するためにwaveform clickを統合するのに使われ、6MHzのSPIクロック(SPI_CLK)とSPIデータ動作形態2の主装置動作で構成設定されます。

USARTはホストコンピュータと応用設定間の通信に使われ、230400のボーレートで構成設定されます。

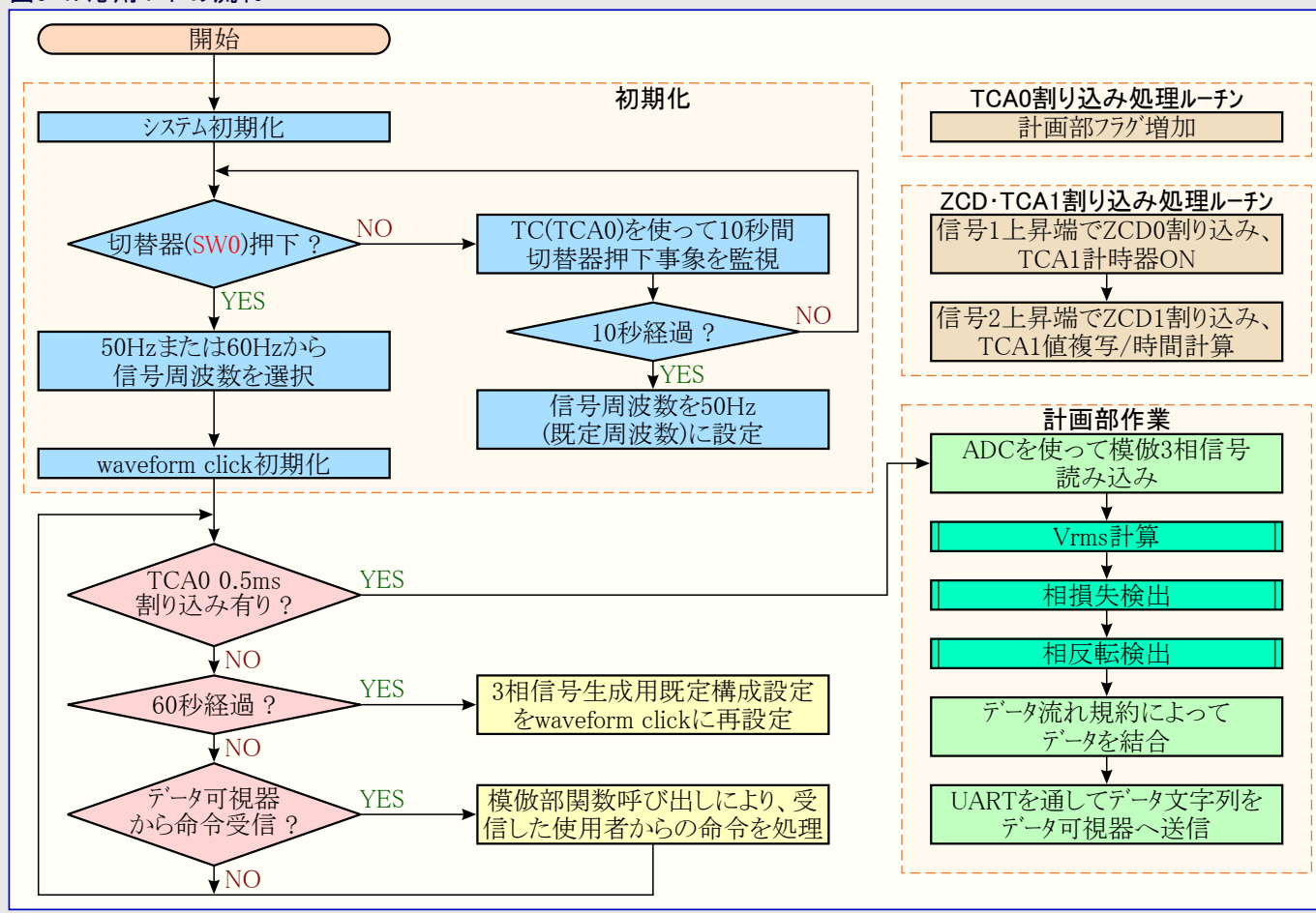
ADCは(実演用)データ可視器での入力信号を再生成するのと3相RMS電圧測定にも使われ、2MHzのADC_CLK(ADCクロック)と126.3 ksp/s(0.79μs)の採取速度で構成設定されます。

ZCD実体は3相入力信号の0交差を検出するのに使われ、それらは上昇端信号での割り込みで構成設定されます。

6.1. 応用ファームウェア

図6-1. は相順検出器応用のファームウェアの流れを示します。

図6-1. 応用コードの流れ



6.2. ファームウェア単位部

全体の応用ファームウェアは以下のような5つの単位部に分けられます。

- ・ 初期化
- ・ 相反転検出論理部
- ・ 相損失検出論理部
- ・ 作業計画部
- ・ 模倣部機能

各単位部には特有機能実行の責任があります。

6.2.1. 初期化

ファームウェア実行はマイクロ コントローラとその周辺機能の初期化で始まります。相順検出応用はSPI、計時器、USART、ADC、デジタル入出力、VREF、ZCDのようなマイクロ コントローラ周辺機能を使います。システムは以下の構成設定で初期化されます。

表6-1. マイクロ コントローラ周辺機能構成設定

周辺機能	SPI0	USART1	ADC	TCA0	TCA1	VREF	ZCD0,ZCD1
構成設定	SPIクロック (6MHz)	ボーレート (230400)	分解能 (12ビット)	計時器クロック (3MHz)	計時器クロック (3MHz)	参照基準電圧 許可(ADC)	ZCD許可
	SPI 主装置動作	パリティなし	ADCクロック (システムクロック/12)	計時器動作 (標準)	計時器動作 (標準)	参照基準電圧 (VDD)	ZCD割り込み (上昇端)
	データ 動作種別2	停止ビット (1)	ADC動作形態 (差動)	計時器周期 (\$FFFF)	計時器周期 (\$05EC)	-	-

6.2.2. 相反転検出論理

ZCDと計時器の周辺機能は3相信号間の相変移を計算するのに使われます。AVR128DA48デバイスは2つのZCD周辺機能の実体を備え、この応用では両実体が使われます。3相信号のL2相とL3相が0交差を検出するためにZCD周辺機能へ接続されます。ZCD周辺機能は信号に対して上昇端検出で割り込みを与えるように構成設定されます。マイクロコントローラの計時器周辺機能はL2相0交差割り込みとL3相0交差割り込み間の周期を測定するのに使われます。

ZCDは3相供給のL2相とL3相を継続的に監視し、正順3相信号で計算された時間に対してL2相0交差割り込みからL3相0交差割り込みまでにかかる時間を比べることによって相反転障害が識別されます。

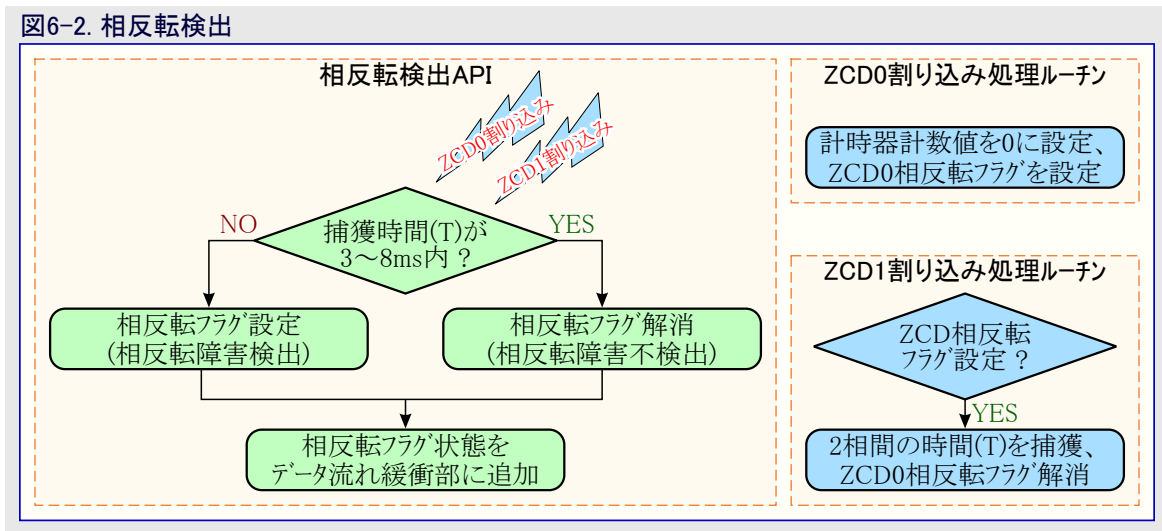
この計算は正相順と逆相順の両状態に対して時間の面で3相信号から相変移を識別する方法を提供します。

- 3相信号の周波数は50Hzで、3相信号の何れか2つの信号間の相変移は120°です。
- 信号の周期は信号の1/周波数、即ち、1/50=20msです。
- 360°周回にかかった時間は20msです。
- 3相信号の120°相変移した信号間の間隔時間は6.66msです。

注: 周波数が60Hzの時は信号間の間隔時間は5.55msです。

- 正相順の信号間隔時間は一般的な方法論を使って計算され、即ち、L1~L2=L2~L3=L3~L1=6.66msです。
- 3相信号の120°相変移した信号間の間隔時間が6.66msの時に、これは正相順と呼ばれます。
- 正相順の信号間の間隔時間で実際の3相信号の間隔時間を比べることによって相反転障害が検出されます。

図6-2.は相反転検出応用ファームウェアの流れを示します。



6.2.3. 相損失検出論理

RMS電圧測定は3相正弦状信号の電圧を正確に測定して3相正弦状信号の正確な監視を保証します。これは単相障害状態の識別を助けます。RMS電圧計算に使われる式は次のとおりです。

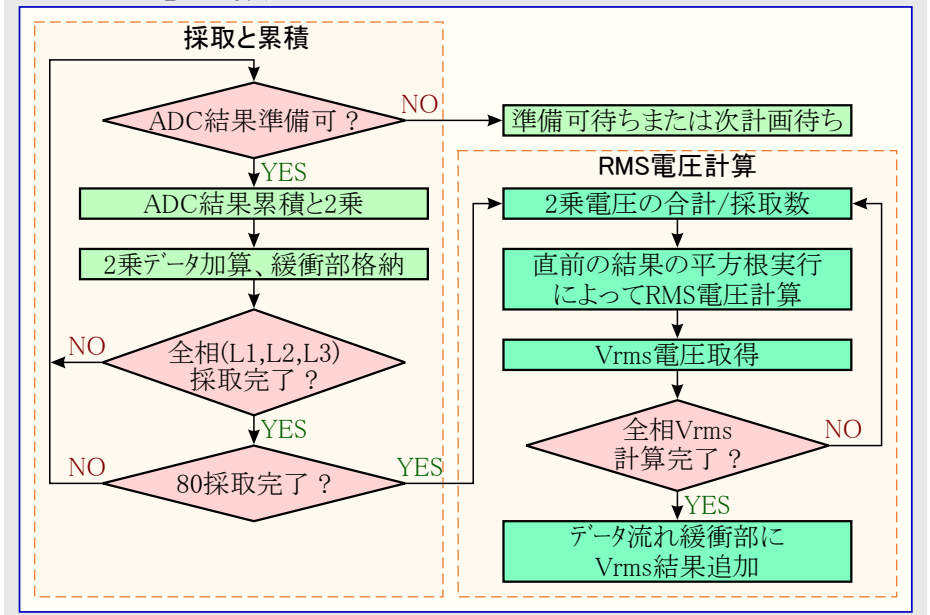
$$V_{rms} = \sqrt{\frac{V_1^2 + V_2^2 + V_3^2 + \sim + V_n^2}{n}}$$

何れかの相で計算したRMS電圧が0の場合、それは対応する相が失われていることを意味します。

ADC周辺機能はRMS電圧を計算するのに使われます。AVR128DA48デバイスは12ビットADCを持ち、この応用では差動動作構成で使われます。

waveform clickは0~3.3V間の範囲の振幅で模倣した3相正弦状信号を生成します。3相信号のL1、L2、L3相はADCチャンネルに接続され、ADCはAC信号の瞬間値を測定して等価デジタル値を与えます。

図6-3. RMS電圧計算流れ図

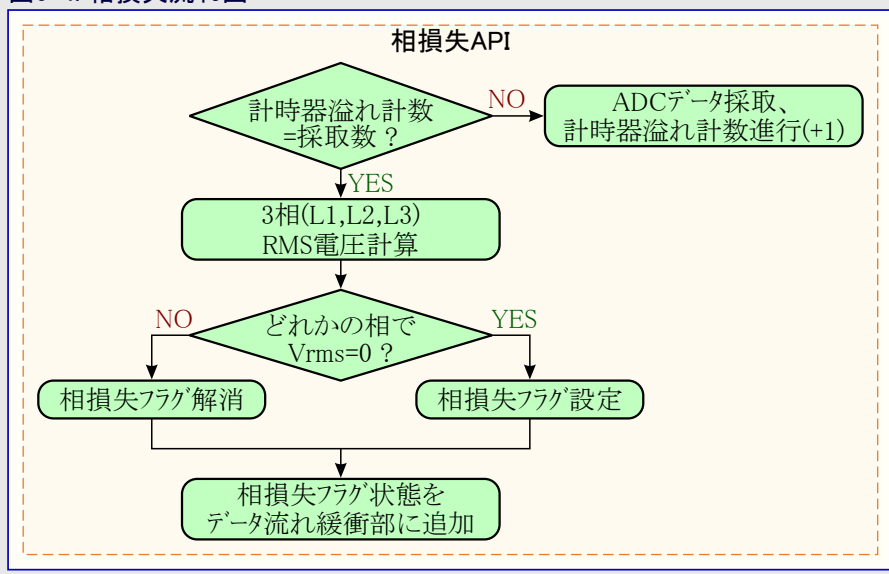


注: 商用AC電源の場合、電源の3相正弦状信号はADC入力範囲必要条件に一致するように縮尺されて基準移動されなければなりません。

応用ファームウェアは50Hz AC信号で80瞬間採取、60Hz AC信号で64瞬間採取を取ります。RMS電圧値はその後にそれらの2乗の積分をすることによってそれらの採取(試料)で計算されます。図6-3はRMS電圧測定ファームウェアの流れ図を示します。

図6-4は相損失計算API用ファームウェアの流れを与えます。計算されたRMS電圧水準は相損失事象の調査に使われます。

図6-4. 相損失流れ図



6.2.4. 作業計画部

タイマ/カウンタA型(TCA1)は以下の機能を実行するために500μs毎に作業を計画します。

- ・ 模倣した3相信号の測定
- ・ Vrms計算
- ・ 相損失検出
- ・ 相反転検出
- ・ データ流れ規約によってデータ配列を結合して生成

この応用では3相AC信号図画的表示、測定したRMSデータ、障害状態の表示にデータ可視器(Data Visualizer)が使われます。模倣した3相信号の3つの相(L1、L2、L3)はADC周辺機能への入力として供給されます。変換したデジタルデータは模倣した3相信号をデータ可視器で再生成するためにUSB-UARTインターフェース上でデータ可視器へ送信されます。

データ流れ部配列は3相模倣信号の瞬間デジタル値、RMS電圧水準、測定した周波数、障害状態から成ります。応用出力データはAtmelデータ流れ部規約に従ってデータ流れ部データ配列の最後に追加されます。

使用者は3相順検出器の機能を実演するためにデータ可視器から命令を送ることができます。マイクロコントローラは走行時に3相信号の(相損失を実演するための)振幅と(相反転を実演するための)位相を変更するためにUSB-UARTインターフェースを通してデータ可視器から使用者命令を受け取ります。

6.2.5. 模倣部機能

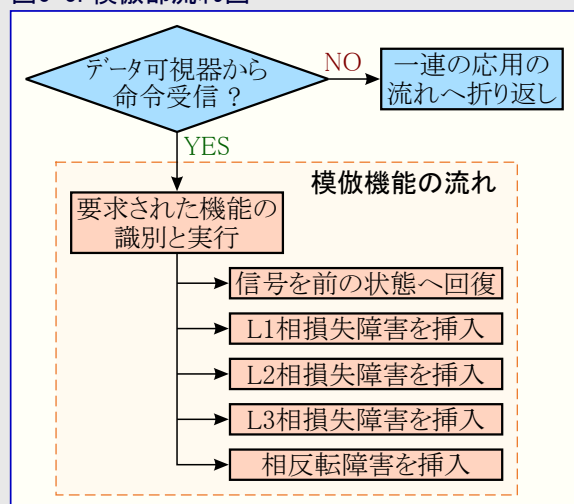
応用流れ図での模倣部機能部分は応用実演に必要とされる使用者命令を処理します。下の一覧はファームウェアで模倣部機能部分で処理される機能を示します。

- ・ 障害なし3相信号を模倣
- ・ L1相欠落による相損失障害を模倣
- ・ L2相欠落による相損失障害を模倣
- ・ L3相欠落による相損失障害を模倣
- ・ 相順をL1-L3-L2へ変更することによる相反転障害を模倣
- ・ 障害から3相信号を回復して前に構成設定した値で信号を生成

模倣機能はSPI直列インターフェースを通して望む構成設定値をwaveform clickへ送ることによって実行されます。

注: 波形解決策はAVR128DA64デバイスでも実装されます。この解決策では相損失検出に3つのZCD周辺機能実体が使われます。実装についてのより多くの詳細に関しては「[追補](#)」章を参照してください。

図6-5. 模倣部流れ図



6.3. マイクロコントローラ周辺機能構成設定

表6-2はAVR128DA48マイクロコントローラと構成設定された様々な周辺機能の動作条件を詳述します。

応用ファームウェアに挿入される分かり易いCコードを継ぎ目なしに生成するのにAtmel STARTとMPLABコード構成部が使われ、より多くの情報については「[追補](#)」章を参照してください。

表6-2. マイクロコントローラ周辺機能構成設定

通番	要素	値
1	MCU	AVR128DA48
2	MCUクロック	24MHz
3	MCU動作電圧	3.3V
4	割り込み計画構成設定	ラウンドロビン計画
5	優先順位 - LVL0PRI	1
6	割り込みベクタ優先権 - LVL1VEC	32
7	SPI	SPI0
8	SPIクロック	6MHz
9	SPI動作種別	2
10	USART	USART1
11	USARTボーレート	230400
12	計時器	TCA0、TCA1
13	計時器クロック	3MHz
14	ADC動作形態	差動
15	VREF	ADCに対してVDD
16	ZCD	ZCD0、ZCD1
17	ZCD割り込み	上昇端での割り込み

6.4. プログラムとデータのメモリ要件

ここはAtmel StudioとMPLAB X IDEでの応用ファームウェアのプログラムとデータのメモリ要件です。

表6-3. Atmel Studioと様々なコンパイラ最適化でのメモリ要件

通番	最適化	プログラムメモリ (バイト)	データメモリ (バイト)
1	-O0	13736 (10.5%)	137 (0.8%)
2	-O1	5136 (3.9%)	137 (0.8%)
3	-Os	5018 (3.8%)	137 (0.8%)

表6-4. MPLAB Xと様々なコンパイラ最適化でのメモリ要件

通番	最適化	プログラムメモリ (バイト)	データメモリ (バイト)
1	0	12878 (10%)	225 (1.4%)
2	1	5516 (4%)	148 (0.9%)
3	s	5422 (4%)	148 (0.9%)

6.5. 使ったソフトウェア ツール

容易で簡単な使用者体験を提供するため、応用ファームウェア開発を通してMicrochipのIDE、コンパイラ、図画的コード生成部が使われています。実演応用には以下のAVRツールチェーンが使われています。

MPLAB X基盤:

- MPLAB X IDE (Ver. 5.40)
- XC8コンパイラ (Ver. 2.20)
- MPLABコード構成部(MCC) (Ver. 3.95)
- AVR 8ビットMCUライブラリ (Ver. 2.2.0)
- 基礎サービスライブラリ (Ver. 0.2.0)
- 独立型データ可視器(Data Visualizer) (Ver. 2.20.674)

Atmel Studio基盤:

- Atmel Studio (Ver. 7.0.2397)
- AVR GCCコンパイラ (Ver. 5.4.0)
- Atmel START (Ver. 1.7.391)
- 独立型データ可視器(Data Visualizer) (Ver. 2.20.674)

注: 実演を動かすことについて、インストールされたツールの版は上で言及されたものと同じか、またはそれ以降版であるべきです。この例はそれ以前のどれも検査されていません。

7. 実演の設定と操作

7.1. 実演設定

以下の手順はAVR128DA48マイクロコントローラを使って3相順検出用にハードウェアを設定するための手順を説明します。

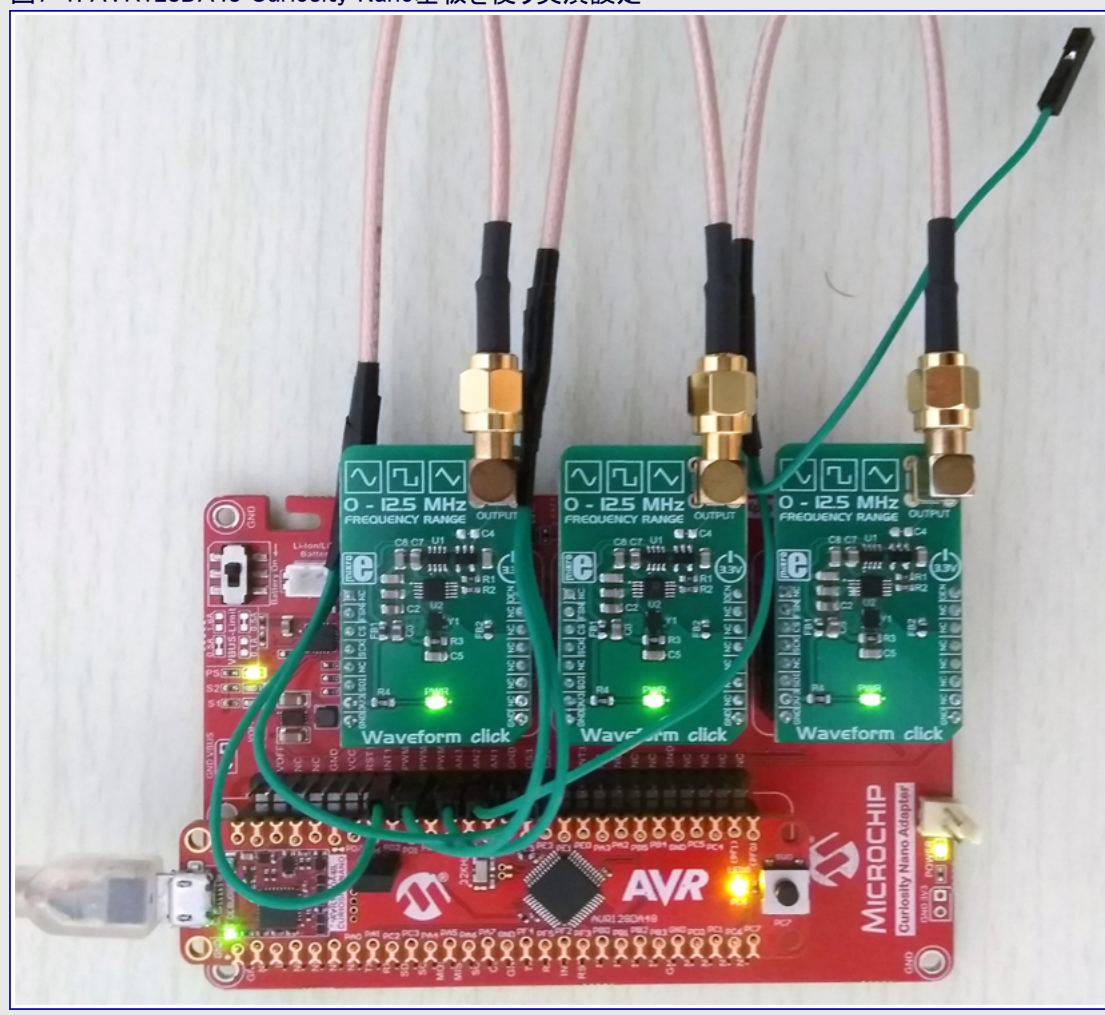
1. Click基板用Curiosity Nano BaseのCuriosity Nano溝穴にAVR128DA48 Curiosity Nano基板を挿入してください。
注: Curiosity Nano基板挿入時の正しい向きについてはCuriosity Nano Base基板の印を参照してください。
2. Click基板用Curiosity Nano Baseで利用可能な3つのmikroBUSソケット(1、2、3)に3つのwaveform clickを挿入してください。
3. 表7-1.で示されるようにSMAコネクタを使ってwaveform clickのSMA出力を各々のマイクロコントローラ入出力ピンに接続してください。
4. waveform click 2のOENピンをmikroBUSソケット2のPWM2ピンから切断してください。
5. waveform click 3のCSピンをmikroBUSソケット3のCS3ピンから切断してください。
6. mikroBUSソケット2のPWM2ピンをPB5ピンに、mikroBUSソケット3のCS3ピンをPB4ピンに接続してください。
7. 標準マイクロB USBケーブルを使ってCuriosity Nano基板をホストコンピュータ(PC)に接続してください。
8. ファームウェアとhexファイルについては「[ファームウェア](#)」項を参照してください。
9. マイクロコントローラに応用ファームウェアを書くには「[AVR128DA48 Curiosity Nanoハードウェア使用者の手引き](#)」を参照してください。

表7-1. mikroBUSソケットとマイクロコントローラ間の接続

通番	mikroBUSピン	マイクロコントローラピン
1	Waveform Click 1出力信号コネクタ (SMA)	PD6、PE3
2	Waveform Click 2出力信号コネクタ (SMA)	PD5、PD1
3	Waveform Click 3出力信号コネクタ (SMA)	PD4
4	mikroBUSソケット2のPWM2ピン	PB5
5	mikroBUSソケット3のCS3ピン	PB4

図7-1.は3相順検出器実演に必要とされるハードウェア設定を示します。

図7-1. AVR128DA48 Curiosity Nano基板を使う実演設定



7.2. データ可視器構成設定

データ可視器(Data Visualizer)ツールは模倣した3相供給波形、出力状態を表示することによって応用を実演するのと使用者入力を受け取っている間の図画的な使用者インターフェースとして使われます。

予め構成設定されたデータ流れ部ファイルと独自計器盤(Dashboard)ファイルはファームウェア一括で入手可能です。データ可視器構成設定用に与えられる下の手順は設定を準備するのにこれらのファイルを使います。

注: これら両ファイルは [phase-sequence-detection-of-ac-supply](#) GitHub例に付随されます。より多くの詳細については「[ファームウェア](#)」と「[追補](#)」の「[AVR128DA64での応用実装](#)」を参照してください。

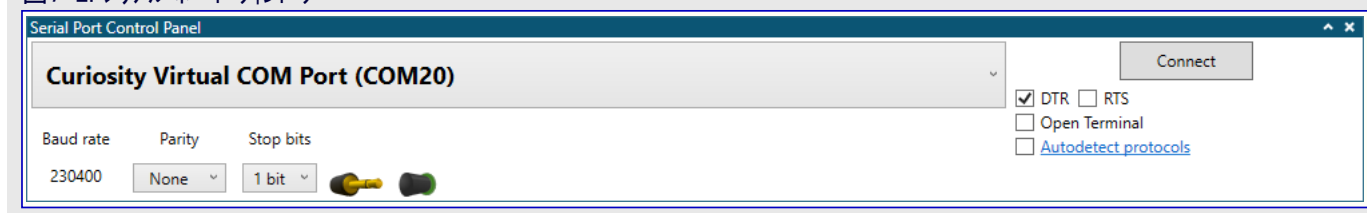
実演に使われるデータ可視器単位部は次のとおりです。

- ・シリアルポート (Serial Port)
- ・図表 (Graph)
- ・独自計器盤 (Custom Dashboard)
 - 要素標札
 - 要素信号
 - ラジオ群
- ・データ流れ部 (Data Streamer)

データ可視器シリアルポート構成設定

- ・Curiosity Nano基板と通信するためシリアルポートを構成設定してください。
- ・[図7-2](#)で示されるようなシリアルポート制御盤(Serial Port Control Panel)ウィンドウを開くにはデータ可視器ツールの左側に置かれた**Configuration**(構成設定)タブを開き、**External Connection**(外部接続)を展開して**Serial Port**(シリアルポート)をクリックすると、シリアルポート制御盤ウィンドウが現れます。
- ・**Baud rate**(ボーレート)を**230400**、**Parity**(パリティ)を**None**(なし)、**Stop bits**(停止ビット)を**1**に設定してください。
- ・[図7-2](#)で示されるように、**DTR**任意選択がチェックされ、**RTS**と**Open Terminal**の任意選択が非チェックにされることを確実にしてください。

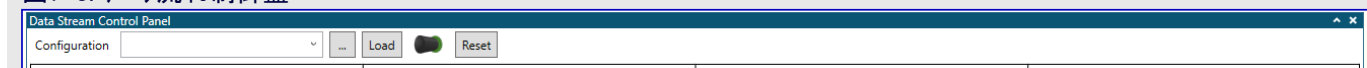
図7-2. シリアルポートウィンドウ



データ流れ部構成設定

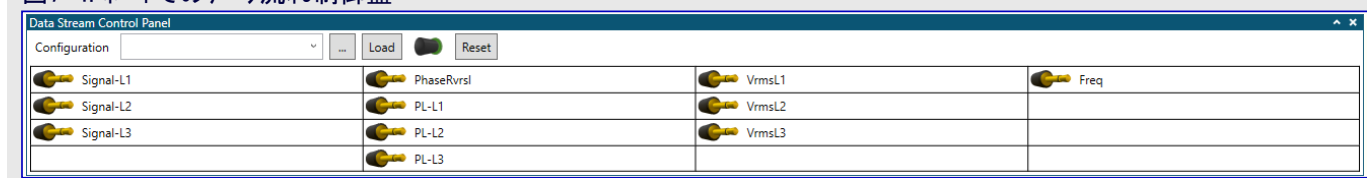
- ・シリアルポート制御盤(Serial Port Control Panel)と共にインターフェースするためのデータ流れ部、図表(Graph)ウィンドウ、計器盤(Dashboard)ウィンドウを構成設定してください。
- ・[図7-3](#)で示されるようなデータ流れ制御盤(Data Stream Control Panel)を開くにはデータ可視器ツールの左側に置かれた**Configuration**(構成設定)タブを開き、**Protocols**(規約)を展開して**Data Streamer**(データ流れ部)をクリックすると、データ流れウィンドウが現れます。
- ・[図7-3](#)で示されるように、データ流れ制御盤ウィンドウで「...」シンボルをクリックし、ホストコンピュータから提供されたデータ流れ部ファイルに対して適切なパスを設定してください。

図7-3. データ流れ制御盤



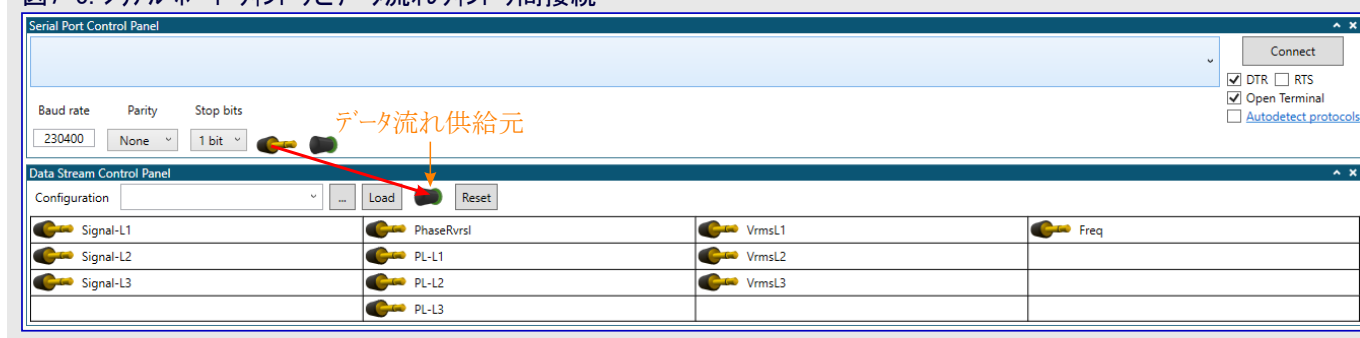
- ・[図7-3](#)で示されるように、データ流れ制御盤で**Load**(読み込み)をクリックしてください。データ流れ部ウィンドウは[図7-4](#)で示されるようにポートを読み込みます。

図7-4. ポートでのデータ流れ制御盤



- 図7-5.で示されるように、シリアルポート制御盤(Serial Port Control Panel)ウィンドウのCOM0 output(COM0出力)を引き摺り、データ流れ制御盤(Data Stream Control Panel)ウィンドウのSource port(供給元ポート)で落としてください。

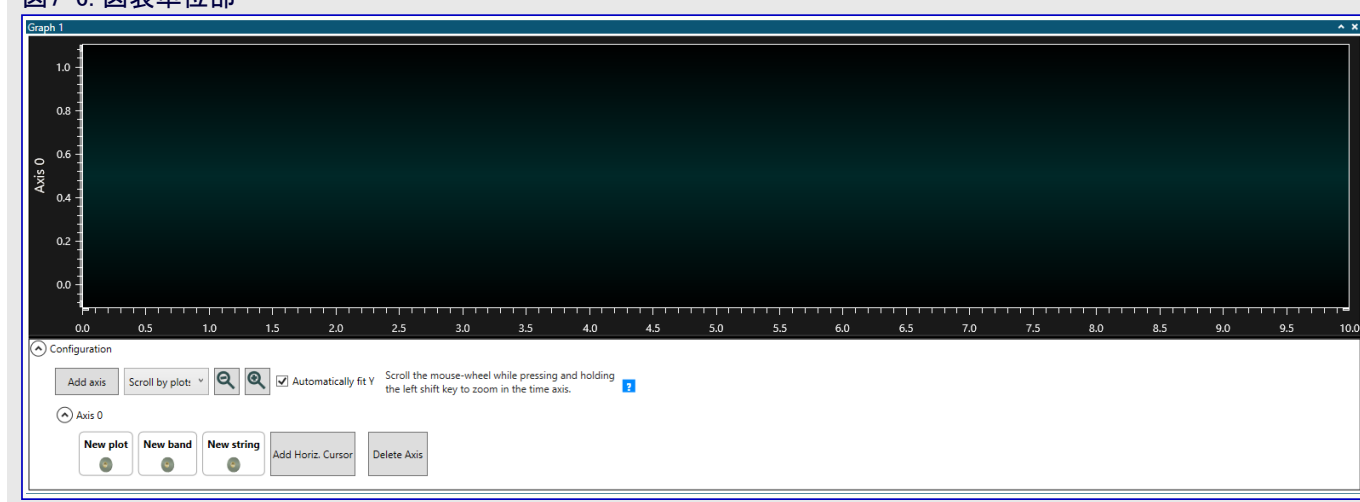
図7-5. シリアルポートウィンドウとデータ流れウィンドウ間接続



図表構成設定

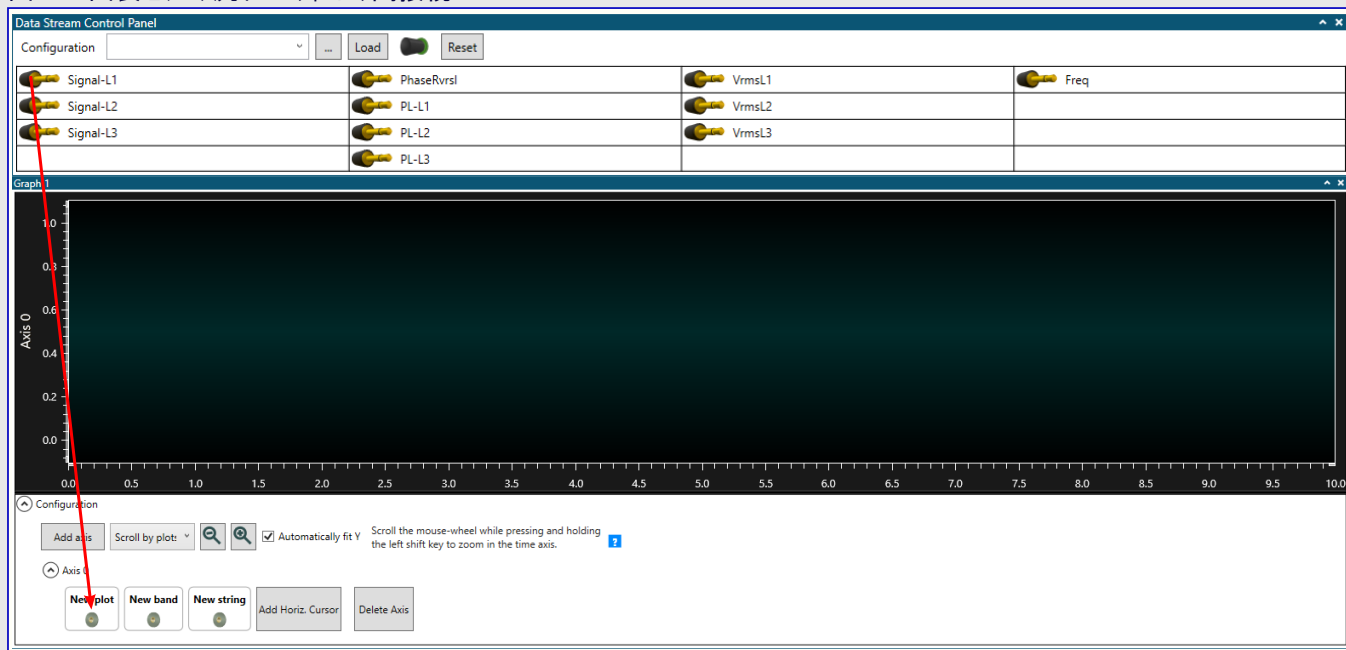
- waveform clickによって生成される模倣した3相供給AC波形を表示するために図表(Graph)ウィンドウを構成設定してください。
- 図7-6.で示されるような図表(Graph)ウィンドウを開くにはデータ可視器ツールの左側に置かれたConfiguration(構成設定)タブをクリックし、Visualization(可視化)任意選択を展開してGraph(図表)をクリックすると、図表単位部が現れます。

図7-6. 図表単位部



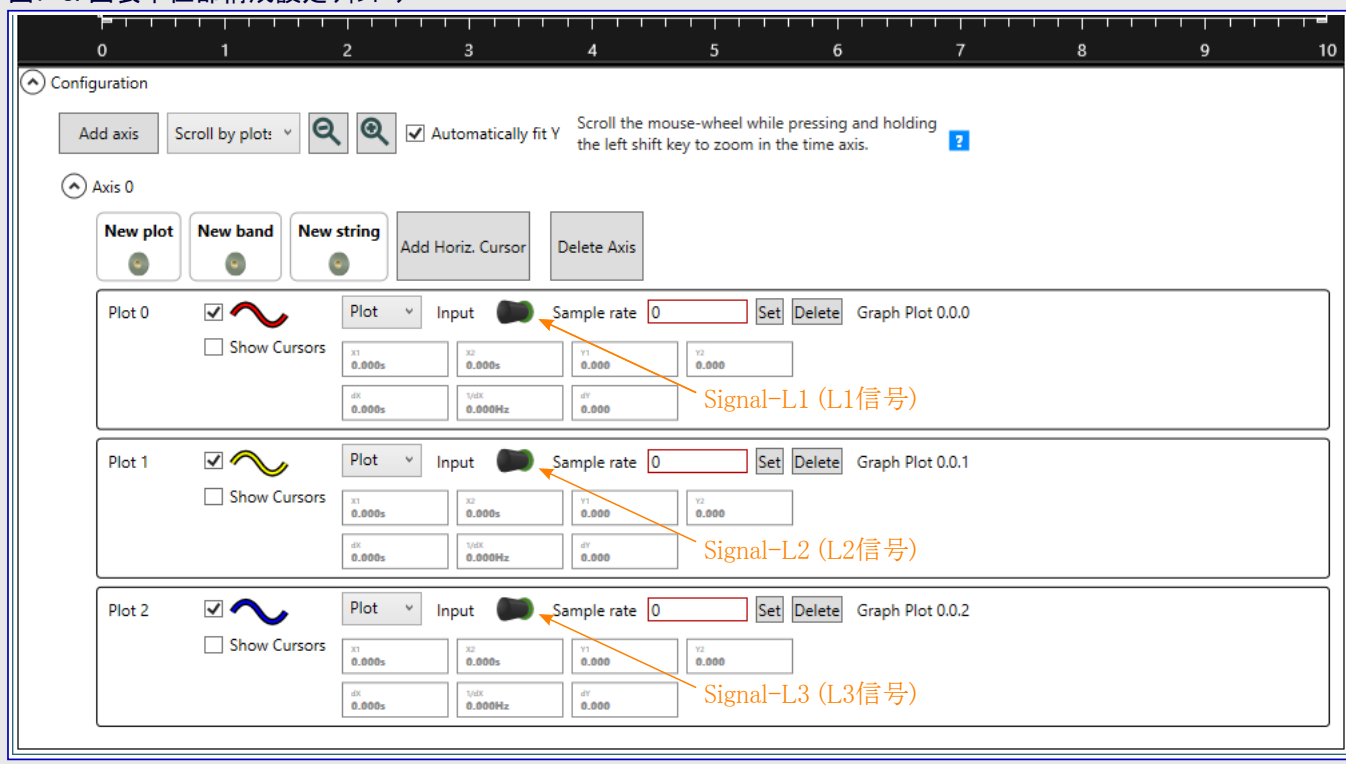
- データ流れ制御盤(Data Stream Control Panel)と図表(Graph)ウィンドウ間で必要とされる接続が下で説明されます。
 - データ流れ制御盤からSignal-L1(L1信号)ポートを引き摺り、図表ウィンドウのAxis 0(軸0)標札下のNew Plot(新規作図)に落としてください。
 - データ流れ制御盤からSignal-L2(L2信号)ポートを引き摺り、図表ウィンドウのAxis 0(軸0)標札下のNew Plot(新規作図)に落としてください。
 - データ流れ制御盤からSignal-L3(L3信号)ポートを引き摺り、図表ウィンドウのAxis 0(軸0)標札下のNew Plot(新規作図)に落としてください。
- 図7-7.はデータ流れと図表間の接続に対する参照図を示します。

図7-7. 図表とデータ流れのウィンドウ間接続



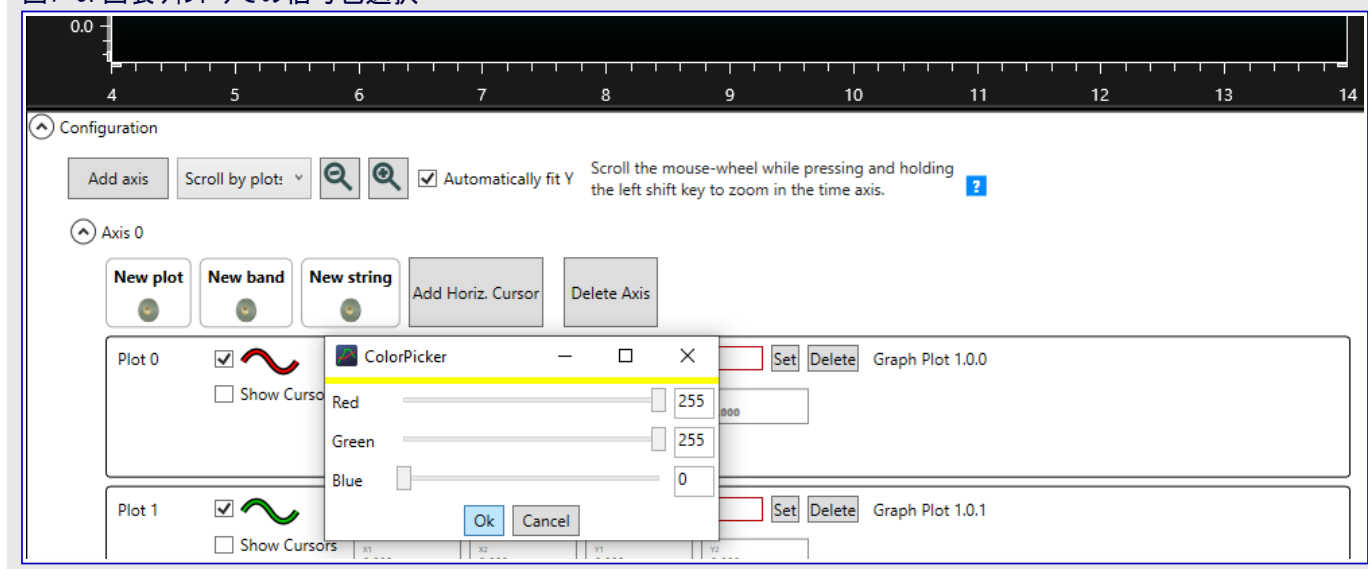
- データ流れ部と図表単位部間で接続が終わった後、図7-8.で示されるように図表単位部構成設定ウィンドウが現れます。

図7-8. 図表単位部構成設定ウィンドウ



- データ流れ制御盤(Data Stream Control Panel)と図表(Graph)ウィンドウ間の接続を相互検証するには図7-12.を参照してください。
- 図7-9.で示されるように、Plot 1(作図1)の正弦波シンボルをダブルクリックして(R,G,B)色指標を黄色に設定するために(255,255,0)に設定してください。

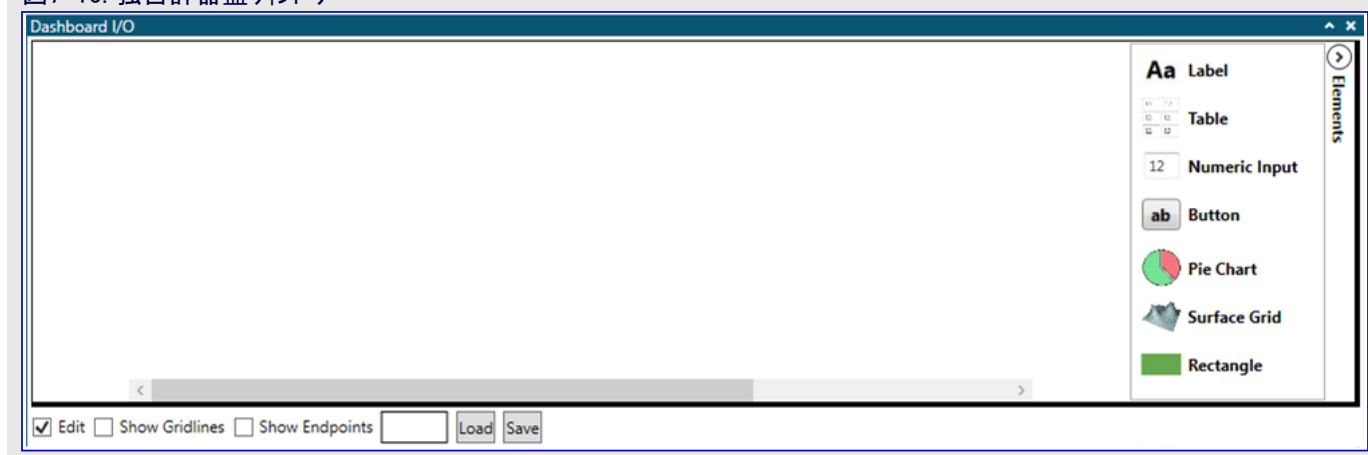
図7-9. 図表ウィンドウでの信号色選択



独自計器盤構成設定

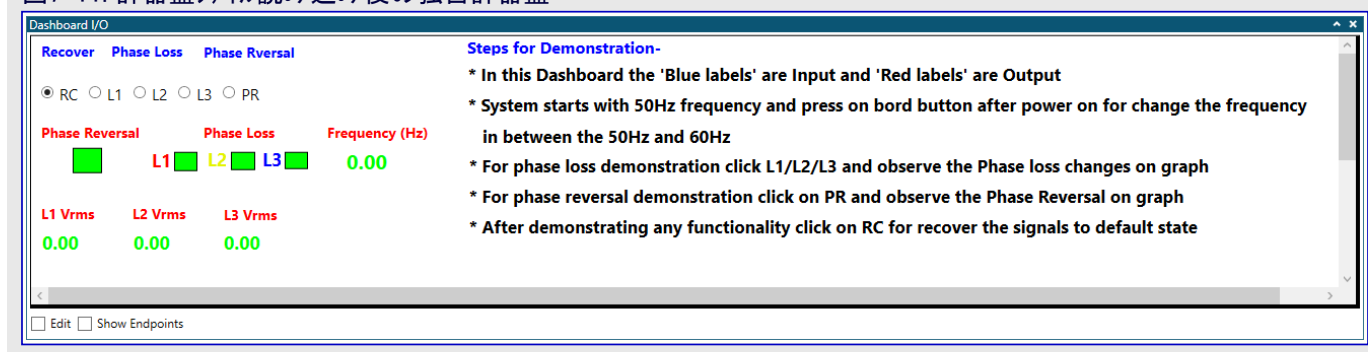
- 出力を表示して使用者入力を受け取るように独自計器盤(Dashboard I/O)ウィンドウを構成設定してください。
- 独自計器盤ウィンドウを開くには、データ可視器ツールの左側に配置されるConfiguration(構成設定)タブを開き、図7-10.で示されるようなCustom Dashboard(独自計器盤)をクリックしてください。

図7-10. 独自計器盤ウィンドウ



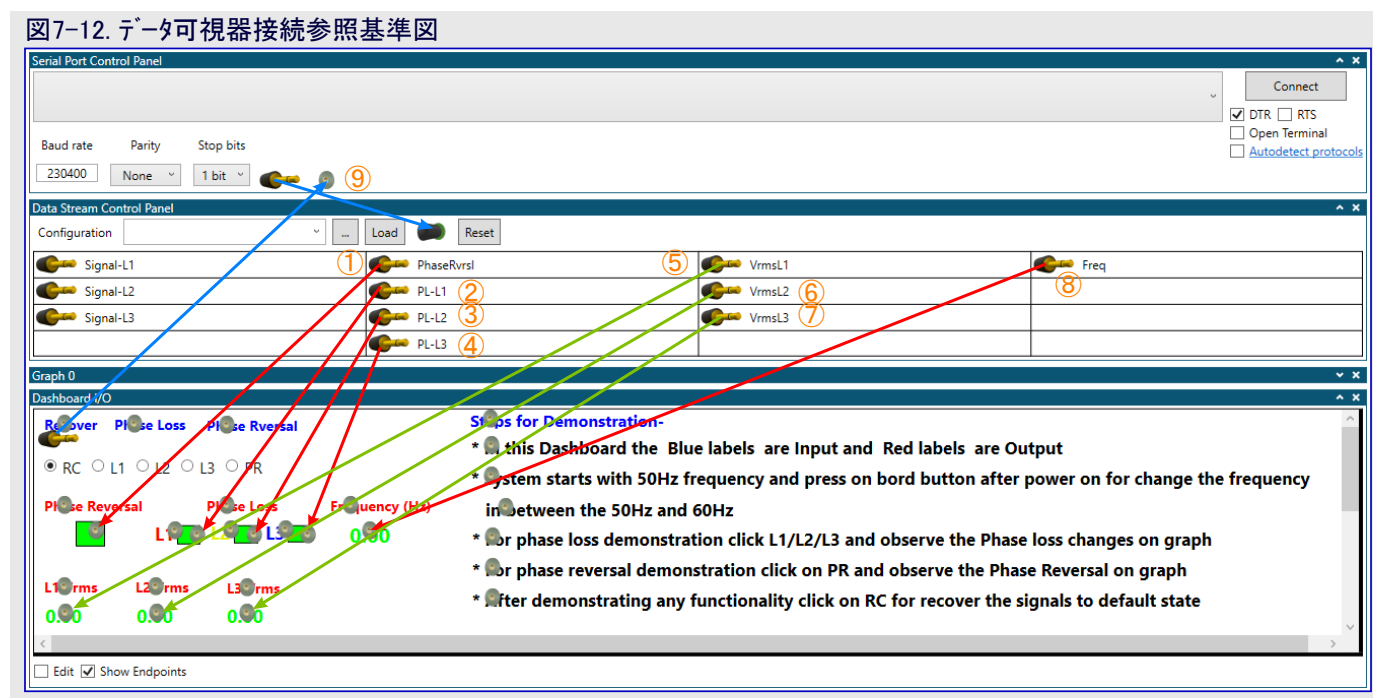
- 図7-11.で示されるように、計器盤入出力(Dashboard I/O)ウィンドウで下のEdit(編集)をチェックしてLoad(読み込み)をクリックし、ホストコンピュータから提供された独自計器盤ファイルに対する適切なパスを設定してください。

図7-11. 計器盤ファイル読み込み後の独自計器盤



- ・計器盤入出力(Dashboard I/O)ウィンドウで下のShow Endpoints(終端表示)をチェックしてください。
- ・データ流れ制御盤(Data Stream Control Panel)と計器盤入出力(Dashboard I/O)ウィンドウ間で必要とされる接続が以下で説明されます。
 1. データ流れ制御盤からPhaseRvrsI(相反転)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでPhase Reversal(相反転)文字下の緑の四角枠に落としてください。
 2. データ流れ制御盤からPL-L1(L1相損失)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでPhase Loss(相損失)文字下でL1標札近くの緑の四角枠に落としてください。
 3. データ流れ制御盤からPL-L2(L2相損失)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでPhase Loss(相損失)文字下でL2標札近くの緑の四角枠に落としてください。
 4. データ流れ制御盤からPL-L3(L3相損失)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでPhase Loss(相損失)文字下でL3標札近くの緑の四角枠に落としてください。
 5. データ流れ制御盤からVrmsL1(L1実効電圧)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでL1 Vrms標札下の(高輝度緑の)0.00値に落としてください。
 6. データ流れ制御盤からVrmsL2(L2実効電圧)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでL2 Vrms標札下の(高輝度緑の)0.00値に落としてください。
 7. データ流れ制御盤からVrmsL3(L3実効電圧)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでL3 Vrms標札下の(高輝度緑の)0.00値に落としてください。
 8. データ流れ制御盤からFreq(周波数)ポートを引き摺り、計器盤入出力ウィンドウでFrequency (Hz)(周波数 (Hz))標札下の(高輝度緑の)0.00値に落としてください。
 9. 図7-12.で示されるように、計器盤入出力のラジオ釦配列と下の(青標札の)Recover(回復)をシリアルポート制御盤の受信部ポートに接続してください。
- 10. 接続完了後、計器盤入出力下のShow Endpoints(終端表示)チェック枠のチェックを外してください。

図7-12.は独自計器盤、データ流れ制御盤、シリアルポート制御盤のウィンドウ間で必要とされる接続を示します。



7.3. 使用者入力

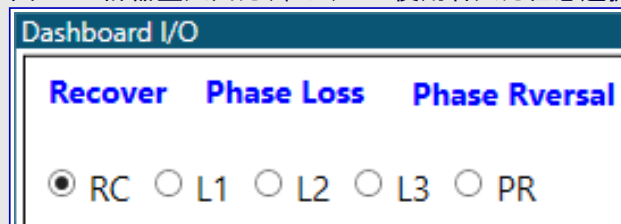
本項は相反転と相損失の障害を実演するために独自計器盤ウィンドウで利用可能な使用者入力任意選択の一覧を説明します。

- ・障害からの3相供給回復
 - －相損失障害または相反転障害のどちらかから3相信号を回復するにはRC(回復)を選んでください。
- ・L1相に相損失障害を挿入
 - －3相信号でL1相損失障害を模倣するにはL1(L1相損失)を選んでください。これは3相信号の中からL1相を禁止します。
- ・L2相に相損失障害を挿入
 - －3相信号でL2相損失障害を模倣するにはL2(L2相損失)を選んでください。これは3相信号の中からL2相を禁止します。
- ・L3相に相損失障害を挿入
 - －3相信号でL3相損失障害を模倣するにはL3(L3相損失)を選んでください。これは3相信号の中からL3相を禁止します。

- ・相反転障害を挿入
 - 3相信号で相反転障害を模倣するにはPR(相反転)を選んでください。これは3相信号の順番をL1-L3-L2に変更します。

図7-13. は相順検出実演用使用者入力任意選択を示します。

図7-13. 計器盤入出力ウィンドウでの使用者入力任意選択

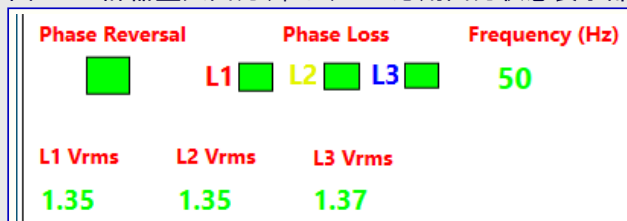


7.4. 応用出力表示部

- ・相反転(Phase Reversal)状態表示部:
 - 応用は走行時に相反転状態を更新します。相反転状態表示部は正相順中に緑色、相反転障害の検出で赤色を示します。
- ・相損失(Phase Loss)状態表示部:
 - 応用は走行時に相損失状態を更新します。相損失状態表示部は相損失障害がない時に緑色、相損失障害の検出で赤色を示します。
- ・L1 Vrms、L2 Vrms、L3 Vrms値:
 - 応用は走行時に3相全てのRMS電圧を測定します。測定したRMS電圧値は計器盤ウィンドウで表示されます。
- ・動作(Frequency)周波数 (Hz):
 - 3相信号の周波数を表示します。

図7-14. は相順検出器実演用応用出力状態表示器を示します。

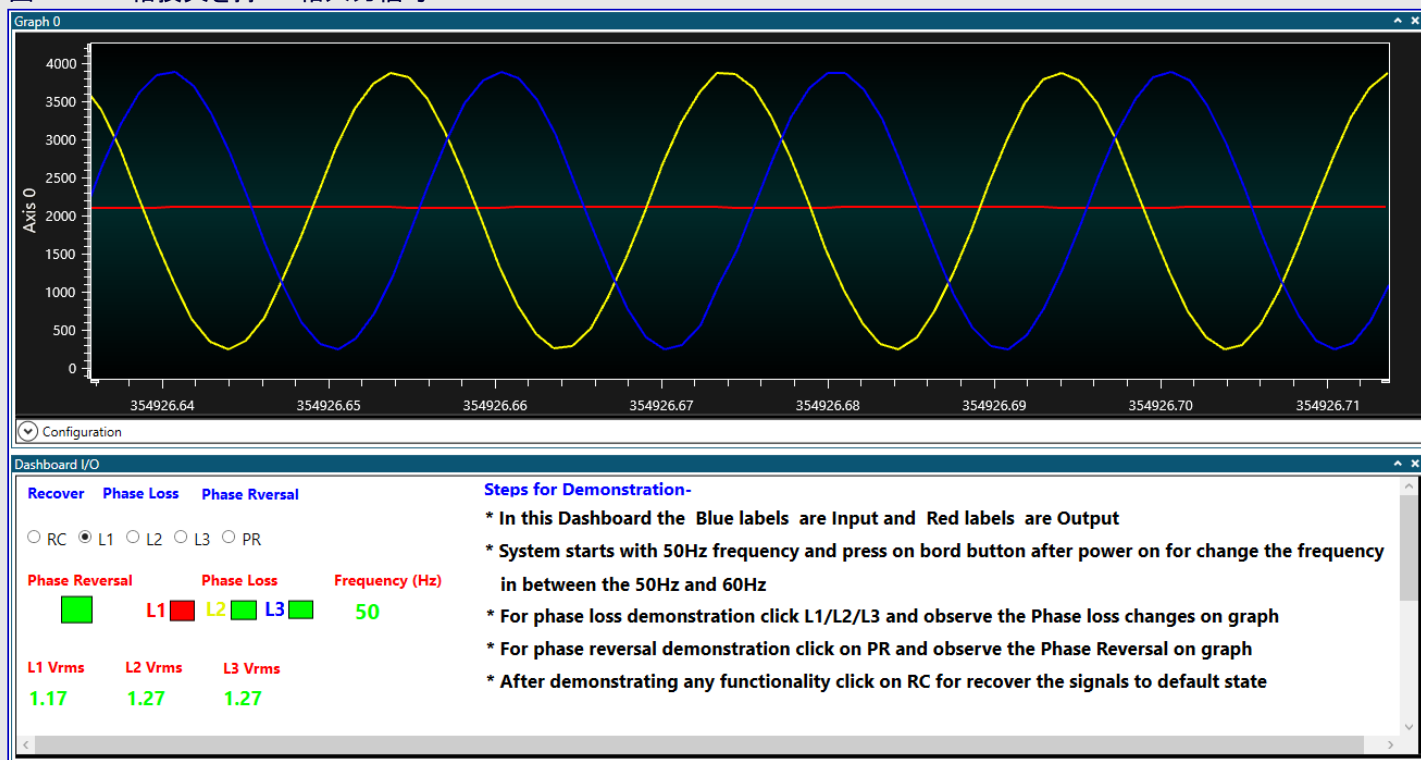
図7-14. 計器盤入出力ウィンドウでの応用出力状態表示部



7.5. 実演操作

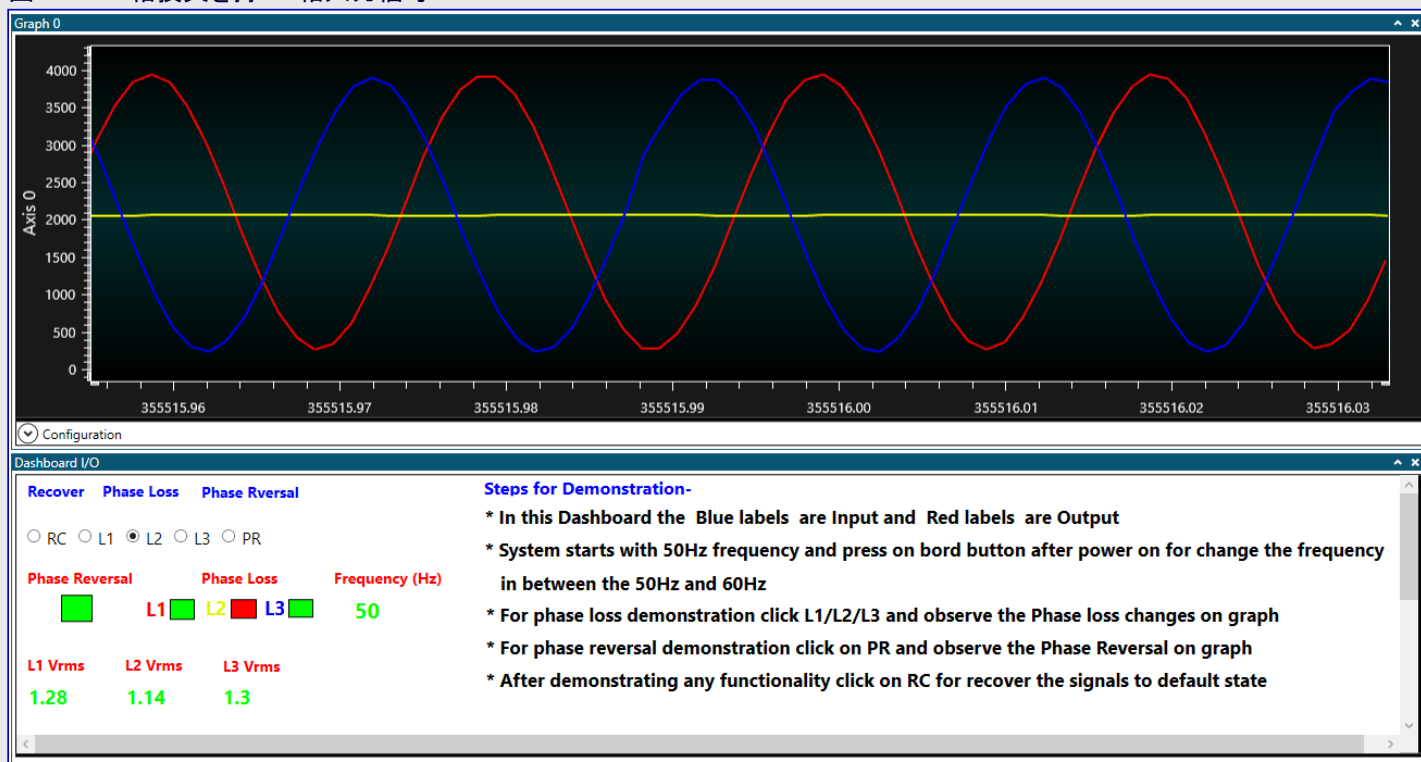
- ・「実演設定」項で提供された指示に従ってハードウェアを接続して実演部設定を準備してください。
- ・「データ可視器構成設定」項で提供された指示に従ってデータ可視器(Data Visualizer)を構成設定してください。
- ・Serial Port Control Panel Connect(シリアルポート制御盤接続)釦をクリックしてください。
- ・Curiosity Nano基板上のSW0釦を押して3相信号に対して適切な周波数を選んでください。選んだ周波数は独自計器盤ウィンドウで表示されます。
- ・図表(Graph)ウィンドウで下の+/-拡大鏡シンボルをクリックすることによって図表ウィンドウで図表を拡大または縮小してください。
- ・計器盤でL1(L1相損失)ラジオ釦をクリックすることによって相損失障害を挿入してください。これは相損失障害を模倣するために3相信号の中からL1信号を禁止します。図7-15. はL1相損失障害を持つ3相信号と計器盤でのL1相損失状態表示部を示します。

図7-15. L1相損失を持つ3相入力信号



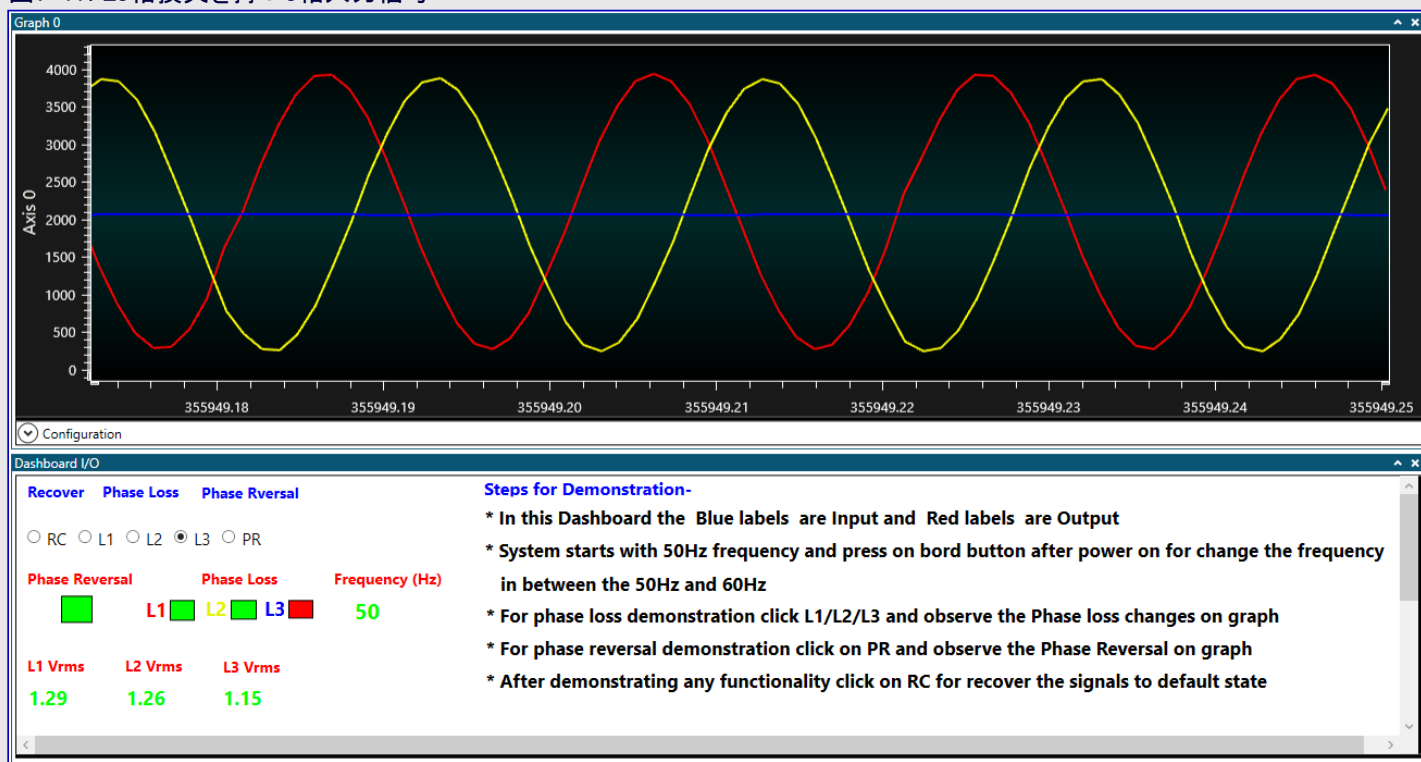
- 計器盤でL2(L2相損失)ラジオ釦をクリックすることによって相損失障害を挿入してください。これは相損失障害を模倣するために3相信号の中からL2信号を禁止します。図7-16.はL2相損失障害を持つ3相信号と計器盤でのL2相損失状態表示部を示します。

図7-16. L2相損失を持つ3相入力信号



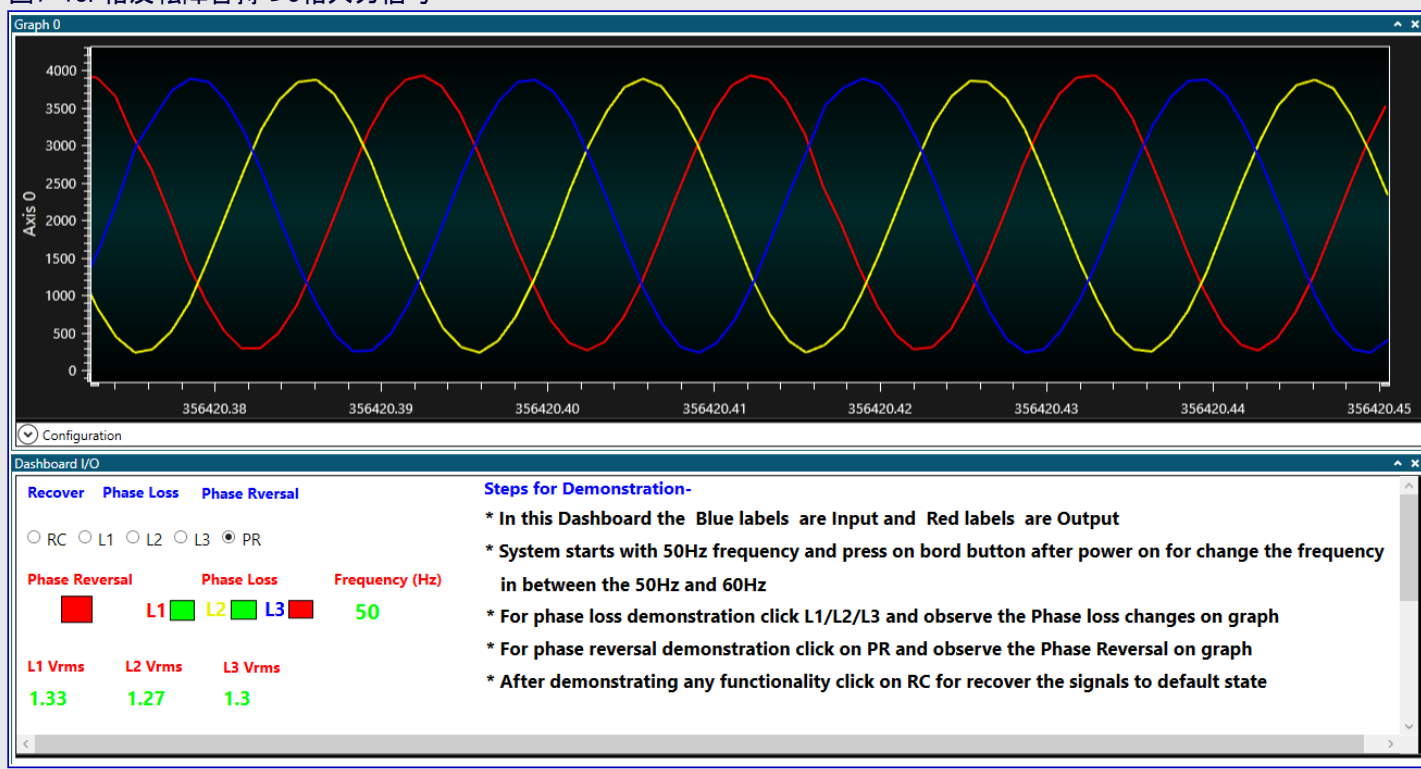
- 計器盤でL3(L3相損失)ラジオ釦をクリックすることによって相損失障害を挿入してください。これは相損失障害を模倣するために3相信号の中からL3信号を禁止します。図7-17.はL3相損失障害を持つ3相信号と計器盤でのL3相損失状態表示部を示します。

図7-17. L3相損失を持つ3相入力信号



- ・計器盤でPR(相反転)ラジオ釦をクリックすることによって損反転障害を挿入してください。これは3相信号の順番をL1-L3-L2に変更します。図7-18.は相反転入力と計器盤での相反転状態表示部を示します。

図7-18. 相反転障害持つ3相入力信号



- ・計器盤で3相信号のRMS電圧を観察してください。
- 使用者入力についてより多くの情報に関しては「[使用者入力](#)」項を参照してください。

8. 実時間応用のための相順検出

相順検出解決策は以下を含む広範囲な実時間応用に適します。

- ・多相AC系用相順計
- ・昇降機用継電器監視
- ・エスカレータ
- ・ポンプ
- ・HVAC(暖房、換気、空調)システム
- ・灌漑装置
- ・石油化学製品装置

9. 結び

これはAVR128DA48マイクロコントローラのZCD、ADC、計時器周辺機能を使って3相AC供給の相順検出用模倣モードを実装しました。この応用記述はAVR128DA48 Curiosity Nano開発基板、Curiosity Nano Base基板、waveform click基板を使って3相AC供給での相反転と相損失の障害、RMS電圧測定も記述します。

ZCDの使用は計算時間に関連するADCが無くされるため、ADCだけを使う伝統的な近似法に比べてより速く、より正確で信頼に足る相順の検出を許します。また、マイクロコントローラ内のZCD周辺機能の可用性は基板空間と部品(BOM)費用の両方を減らすことによって多くの費用効果と効率的な応用にします。AVR DAマイクロコントローラの豊富なアナログ一式と高度なデジタル周辺機能と共にZCD周辺機能はAC電源の相反転と単一相障害を監視する応用に対して良く適合します。

10. 参考文献

1. [AVR DA系製品頁](#)
2. [AVR128DA28/32/48/64データシート](#)
3. [AVR128DA48 Curiosity Nano使用者の手引き](#)
4. [Click基板用Curiosity Nano Baseハードウェア使用者の手引き](#)
5. [Waveform Click](#)
6. [データ可視器\(Data Visualizer\)使用者の手引き](#)
7. [STK600 AVRフラッシュ メモリMCU開始キット使用者の手引き](#)
8. [STK600配線とソケットの基板使用者の手引き](#)

11. 追補

11.1. AVR128DA64での応用実装

AVR DA系のマイクロ コントローラは3つまでのZCD周辺機能の実体を持ちます。64ピン変形のAVR DAデバイスでは3つのZCD実体を利用可能です。相順検出応用に3つのZCD実体が使われる場合、相損失はZCD周辺機能によっても計算することができます。

本項はAVR128DA64マイクロ コントローラを使って3相供給に対する相順検出の実装を説明します。ここでこの実装では500 μ s毎に作業を計画するのにTCA1が使われ、それは500 μ s毎に割り込みを生成するように構成設定されます。TCA1は2つのZCD割り込み間での時間(即ち、3相入力の相間での相変移)を測定するのに使われ、これは20ms間で溢れ割り込みを生成するように構成設定されます。ADCは(実演に対して)データ可視器(Data Visualizer)で入力信号を再生成するのに使われ、3相RMS電圧測定にも使われます。ADCは2MHzのADCクロックと126.3kHz(0.79 μ s)の採取速度で構成設定されます。SPIは3相模倣信号を生成するためのwaveform click単位部を統合するのに使われ、主装置動作、6MHz SPIクロック、データ動作種別2で構成設定されます。3つのZCD実体は3相入力信号の0交差検出に使われ、それらは上昇端での割り込みで構成設定されます。USARTはホスト コンピュータと応用設定間の通信に使われ、230400のボーレートに構成設定されます。

ファームウェア実装

3相供給用相順検出応用ファームウェアは以下の6つの部分に分けられます。

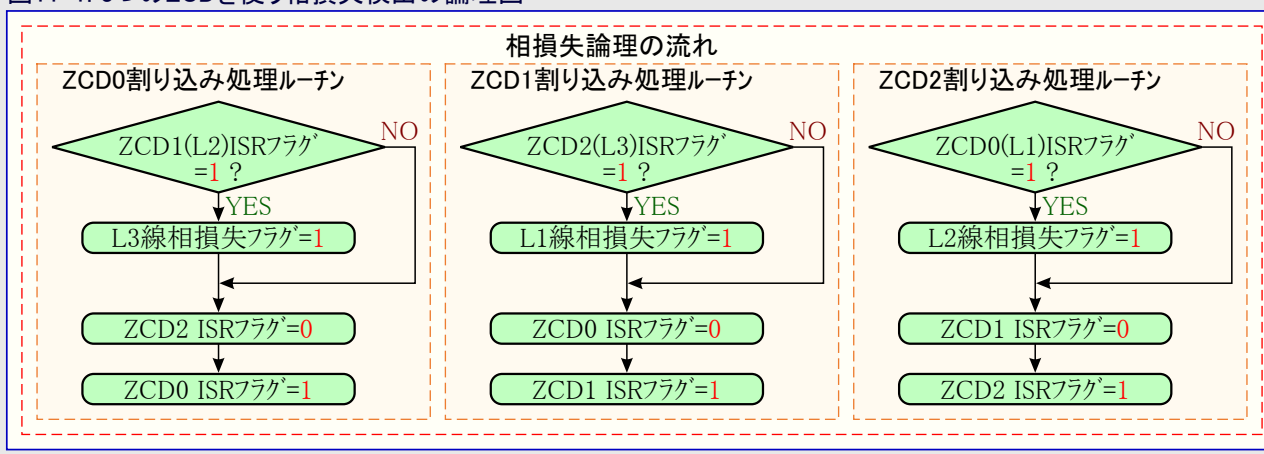
- ・ 初期化
- ・ 相反転検出論理
- ・ 相損失検出論理
- ・ RMS電圧測定
- ・ 作業計画部
- ・ 模倣部機能

相反転検出とRMS電圧測定は「**応用実装**」章で提示されるように実装されます。単相または相損失検出機能は、AVR128DA64マイクロ コントローラが3つのZCD実体を備えているため、3つのZCD実体を使って実装されます。

3相入力信号の相、L1、L2、L3は3つのZCD入力に接続され、ZCD実体は上昇入力信号電圧が閾値電圧を横切る時に割り込みを生成するように構成設定されます。ここで、3つの信号間の120°相変移は、入力信号の3つの相が各々ZCD実体に接続されるため、継ぎ目なしに判断することができます。相損失は意図する時間で入力信号の上昇端を監視することによって識別することができます。

各ZCD実体の割り込み処理ルーチン(ISR)では、相損失事象を検出するために、3つ全てのZCD実体での0交差割り込みの発生が監視されます。相損失検出の応用の流れ図が図11-1.で示されます。

図11-1. 3つのZCDを使う相損失検出の論理図



AVR128DA64を使う相順検出器実演の応用ファームウェアはGitHubからのダウンロードで入手可能です。



GitHubでコード例を見てください (Atmel Studio)。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。



GitHubでコード例を見てください (MPLAB® X)。
貯蔵庫を閲覧するにはクリックしてください。

注: 1. ファームウェアはSTK600開発基板で開発されています。このキットは新規設計の試作や試験用の完全なシステムを作成するために全てのデバイスピンへのアクセスと押し釦、LED、DataFlashのようないくつかの有用なハードウェア機能を提供します。

2. AVRデバイスは革新的な配線(STK600-RC064AVR-108)とソケット(STK600-TQFP64-2)のカード挟みこみシステムを使ってSTK600に接続され、これは信号をデバイスから適切なハードウェアへ配線します。

11.2. コード構成部

本項はMicrochipコード構成部のSTARTとMCCから初期化コードを生成するの使われた手順を提供します。

11.2.1. STARTによる構成設定

以下の周辺機能は3相相順検出実演を実現するために構成設定が必要です。

- ・タイマ/カウンタA型 (TCA0)
- ・タイマ/カウンタA型 (TCA1)
- ・USART1
- ・SPI0
- ・ZCD0
- ・ZCD1
- ・ADC0

1. 計時器0:

計時器0は8分周されたシステムクロック周波数で構成設定され、相順検出器応用機能を実行するための計画時間に使われます。図11-2はSTARTでのTIMER 0構成設定ウィンドウを示します。

図11-2. Atmel START TIMER 0構成設定ウィンドウ

TIMER_0

TCA Init driver in Normal Mode

GENERAL

User guide

Rename component

Remove component

COMPONENT SETTINGS

Driver: Drivers:TCA:Init

Mode: Normal Mode

Instance: TCA0

CLOCKS

TCA: Main Clock (CLK_MAIN) (24 MHz)

COMPONENT SIGNALS

WO/0: ----

WO/1: ----

WO/2: ----

WO/3: ----

WO/4: ----

WO/5: ----

DRIVERS:TCA:INIT (NORMAL MODE) CONFIGURATION ON TCA0

CONFIGURATION

ENABLE: Module Enable: ☒

RUNSTDBY: RUN STANDBY: ☐

DBG RUN: Debug Run: ☐

ALUPD: Auto Lock Update: ☐

CLKSEL: Clock Selection: System Clock / 8

CNT: Count: 0x0 hex v

PER: Period: 0xffff hex v

INERRRUPT CONFIGURATION

Include ISR harness in driver_isr.c: ☒

CMP0: Compare 0 Interrupt: ☐

CMP1: Compare 1 Interrupt: ☐

CMP2: Compare 2 Interrupt: ☐

OVF: Overflow Interrupt: ☒

EVENT CONFIGURATION

CNTAEI: Count on Event Input A: ☐

© 2020 Microchip Technology Inc.

応用記述

DS00003607A – 25頁

2. 計時器1:

計時器1は8分周されたシステムクロック周波数で構成設定され、3相入力の中から2つの信号間の相変移を計算するのに使われます。図11-3.はSTARTでのTIMER 1構成設定ウィンドウを示します。

図11-3. Atmel START TIMER 1構成設定ウィンドウ

3. USART1:

USART1はボーレート230400、割り込み許可で構成設定され、応用とデータ可視器(Data Visualizer)図画的道具(PCツール)間の通信に使われます。図11-4.はSTARTでのUSART構成設定ウィンドウを示します。

図11-4. Atmel START USART構成設定ウィンドウ

4. SPI0:

SPIは6MHzの速度、動作種別2で構成設定され、信号模倣部単位部との連絡に使われます。図11-5.はSTARTでのSPI構成設定ウィンドウを示します。

図11-5. Atmel START SPI構成設定ウィンドウ

5. ZCD0:

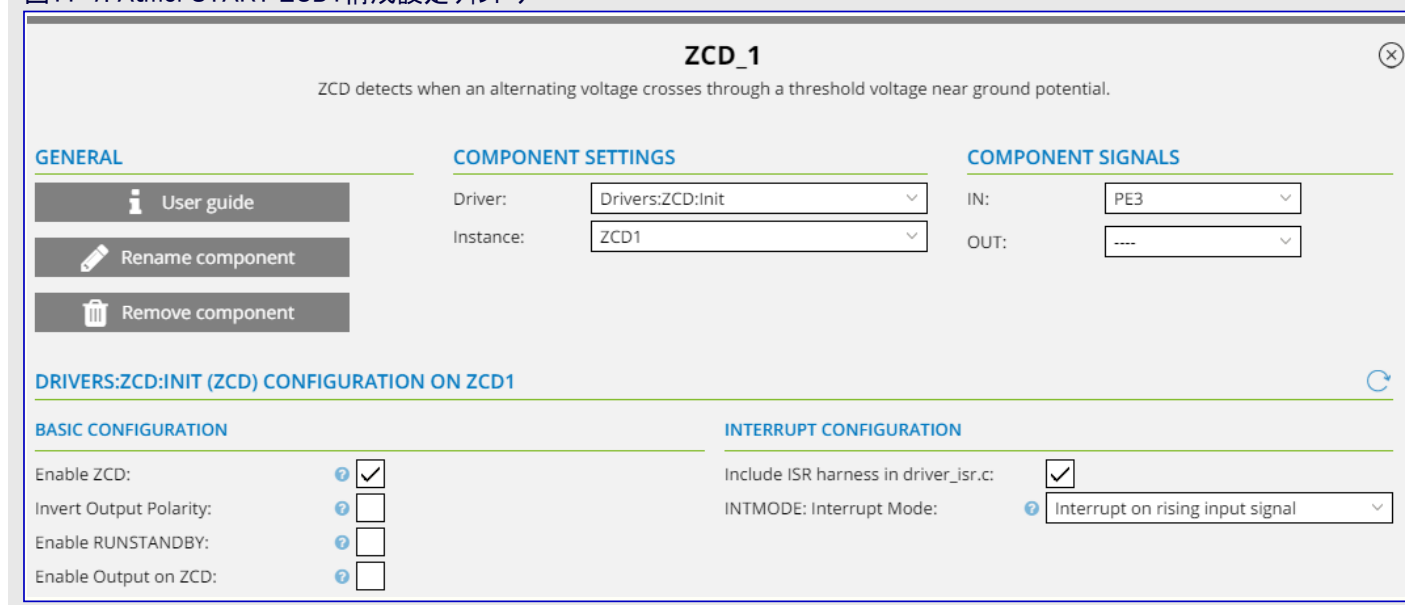
ZCD0は上昇端割り込み許可で構成設定され、3相信号の位相を検出するのに使われます。図11-6.はSTARTでのZCD0構成設定ウィンドウを示します。

図11-6. Atmel START ZCD0構成設定ウィンドウ

6. ZCD1:

ZCD1は上昇端割り込み許可で構成設定され、3相信号の位相を検出するのに使われます。図11-7はSTARTでのZCD1構成設定ウィンドウを示します。

図11-7. Atmel START ZCD1構成設定ウィンドウ



ZCD_1
ZCD detects when an alternating voltage crosses through a threshold voltage near ground potential.

GENERAL

- User guide
- Rename component
- Remove component

COMPONENT SETTINGS

Driver: Drivers:ZCD:Init
Instance: ZCD1

COMPONENT SIGNALS

IN: PE3
OUT: ----

DRIVERS:ZCD:INIT (ZCD) CONFIGURATION ON ZCD1

BASIC CONFIGURATION

Enable ZCD: ☒
Invert Output Polarity: ☐
Enable RUNSTANDBY: ☐
Enable Output on ZCD: ☐

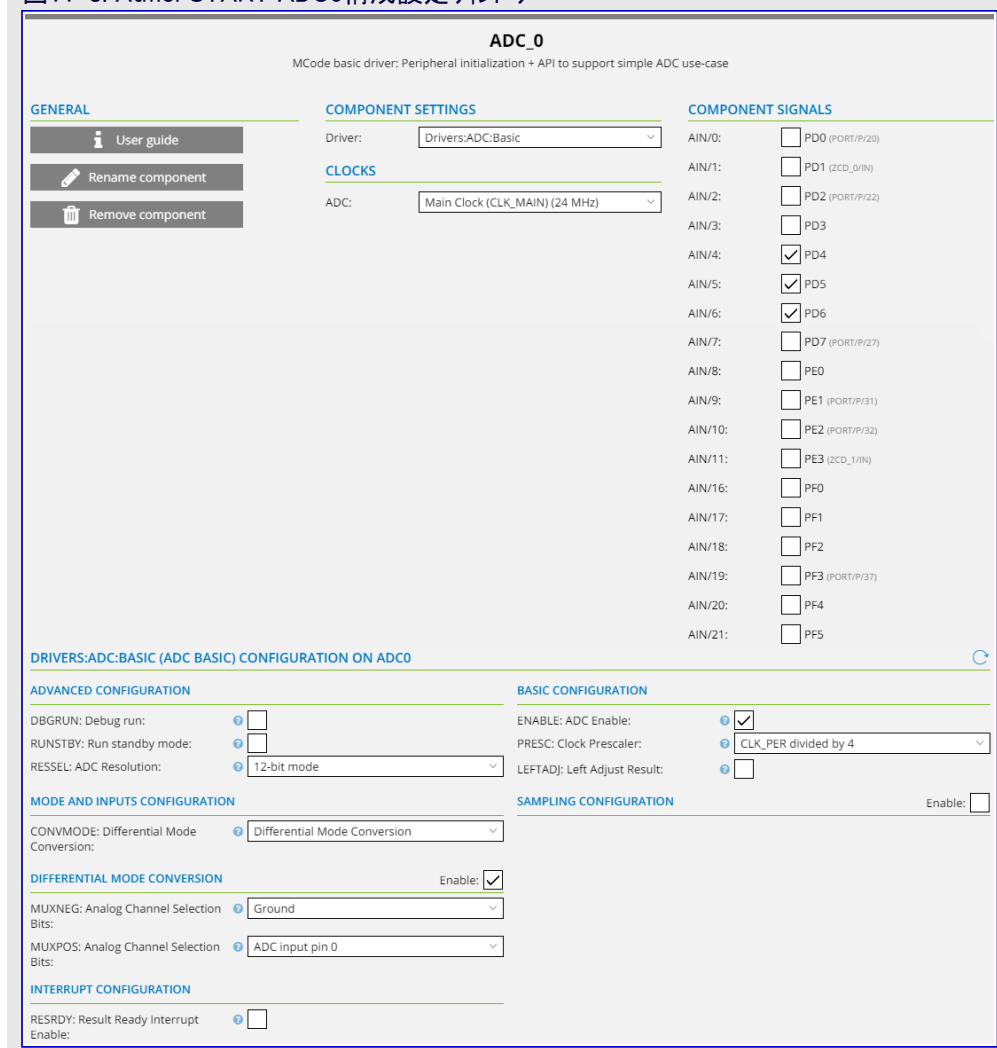
INTERRUPT CONFIGURATION

Include ISR harness in driver_isr.c: ☒
INTMODE: Interrupt Mode: Interrupt on rising input signal

7. ADC0:

ADC0はポーリング動作で許可された差動動作で構成設定され、データ可視器(Data Visualizer)で信号を再生成するために3相信号を測定するのとRMS電圧計算と単一位相検出に使われます。図11-8はSTARTでのADC0構成設定ウィンドウを示します。

図11-8. Atmel START ADC0構成設定ウィンドウ



ADC_0
MCode basic driver: Peripheral initialization + API to support simple ADC use-case

GENERAL

- User guide
- Rename component
- Remove component

COMPONENT SETTINGS

Driver: Drivers:ADC:Basic

CLOCKS

ADC: Main Clock (CLK_MAIN) (24 MHz)

COMPONENT SIGNALS

AIN/0: ☐ PD0 (PORT/P/20)
AIN/1: ☐ PD1 (ZCD_0/IN)
AIN/2: ☐ PD2 (PORT/P/22)
AIN/3: ☐ PD3
AIN/4: ☒ PD4
AIN/5: ☒ PD5
AIN/6: ☒ PD6
AIN/7: ☐ PD7 (PORT/P/27)
AIN/8: ☐ PE0
AIN/9: ☐ PE1 (PORT/P/31)
AIN/10: ☐ PE2 (PORT/P/32)
AIN/11: ☐ PE3 (ZCD_1/IN)
AIN/16: ☐ PF0
AIN/17: ☐ PF1
AIN/18: ☐ PF2
AIN/19: ☐ PF3 (PORT/P/37)
AIN/20: ☐ PF4
AIN/21: ☐ PF5

DRIVERS:ADC:ASIC (ADC BASIC) CONFIGURATION ON ADC0

ADVANCED CONFIGURATION

DBG RUN: Debug run: ☐
RUNSTBY: Run standby mode: ☐
RESSEL: ADC Resolution: 12-bit mode

MODE AND INPUTS CONFIGURATION

CONVMODE: Differential Mode Conversion: Differential Mode Conversion
DIFFERENTIAL MODE CONVERSION: Enable: ☒
MUXNEG: Analog Channel Selection: Ground
MUXPOS: Analog Channel Selection: ADC input pin 0

INTERRUPT CONFIGURATION

RESRDY: Result Ready Interrupt Enable: ☐

BASIC CONFIGURATION

ENABLE: ADC Enable: ☒
PRESC: Clock Prescaler: CLK_PER divided by 4
LEFTADJ: Left Adjust Result: ☐

SAMPLING CONFIGURATION

Enable: ☐

8. ZCD2:

ZCD2は上昇端割り込み許可で構成設定され、3相信号の位相を検出するのに使われます(ZCD2周辺機能は64ピンAVR DA系MCUでだけ利用可能です)。図11-9はSTARTでのZCD2構成設定ウィンドウを示します。

図11-9. Atmel START ZCD2構成設定ウィンドウ (AVR128DA64)

9. VREF:

VREFは常にADC用参照基準電圧(VDD)許可で構成設定され、参照基準電圧としてADC周辺機能で使われます。図11-10はSTARTでのVREF構成設定ウィンドウを示します。

図11-10. Atmel START VREF構成設定ウィンドウ (AVR128DA64)

11.2.2. MCCによる構成設定

3相検出応用はMCC基盤を使っても生成され、マイクロコントローラ周辺機能と目的は「STARTによる構成設定」項で検討されます。

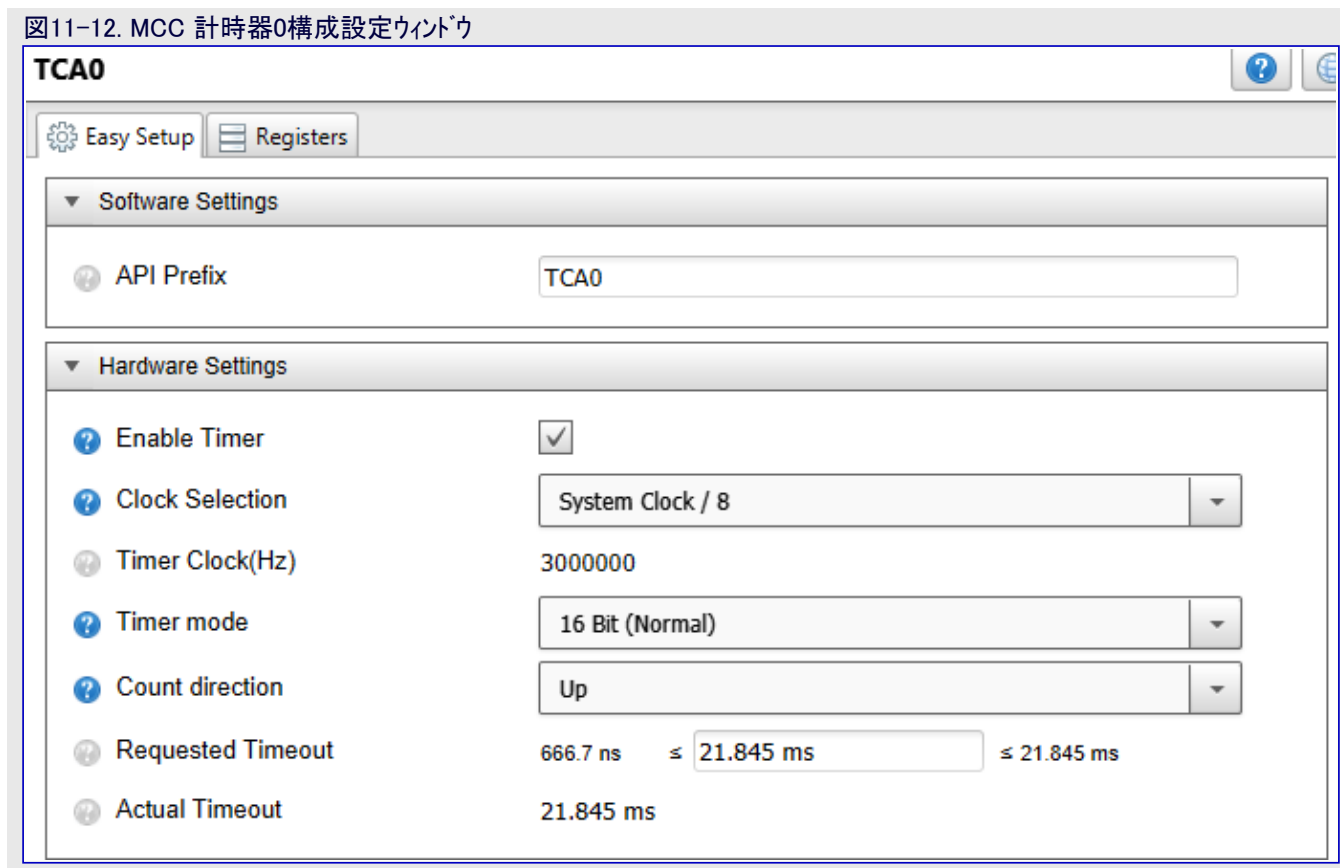
システム単位部:

図11-11. はシステム構成設定ウィンドウを示します。



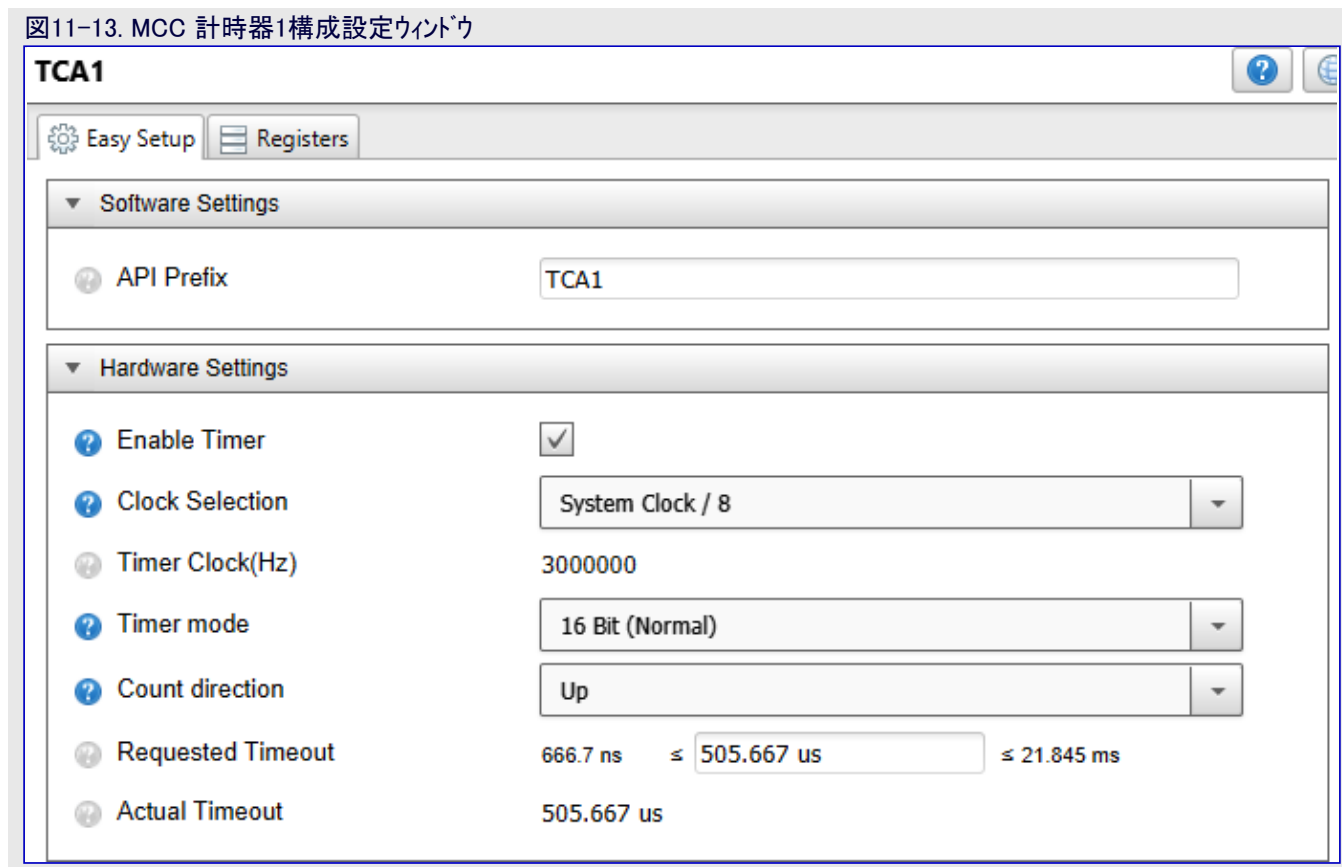
計時器0:

図11-12. はMCCでの計時器0構成設定ウィンドウを示します。



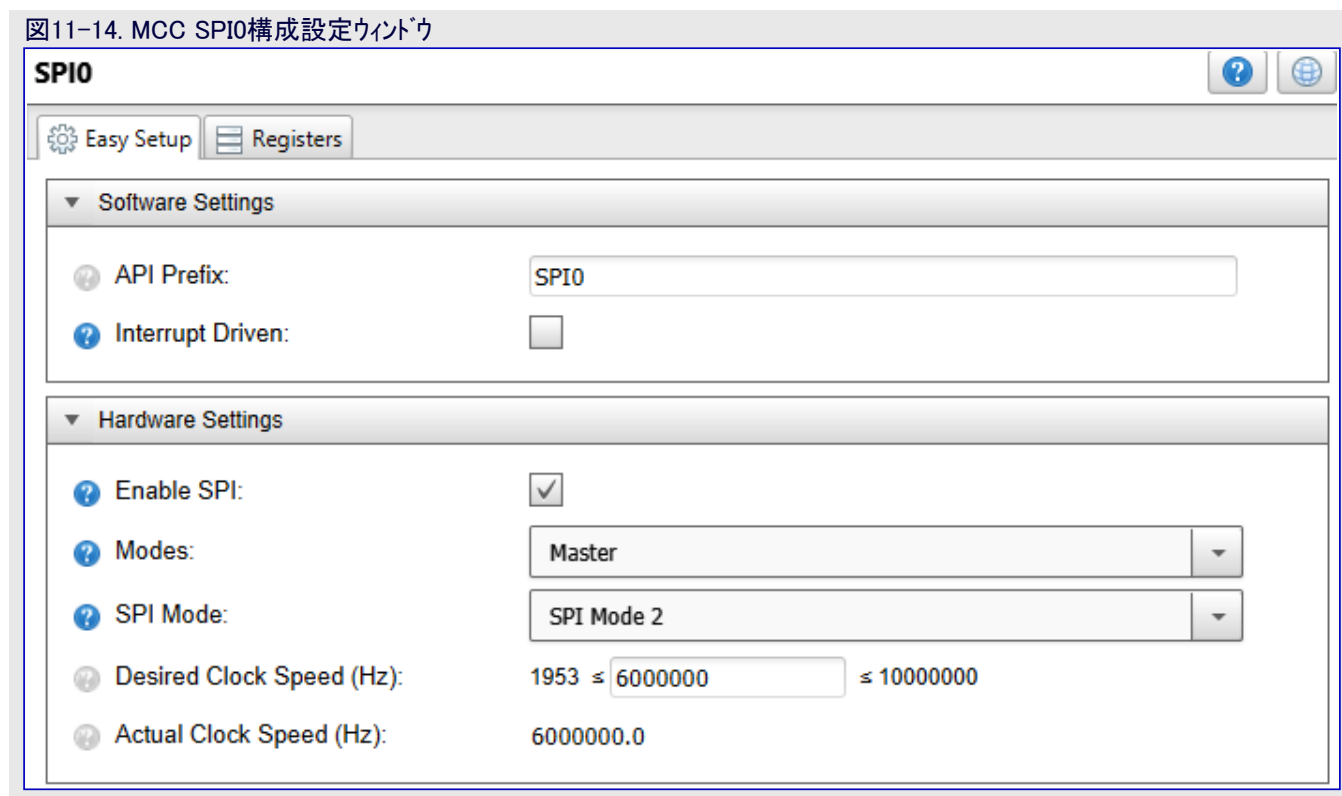
計時器1:

図11-13はMCCでの計時器1構成設定ウィンドウを示します。



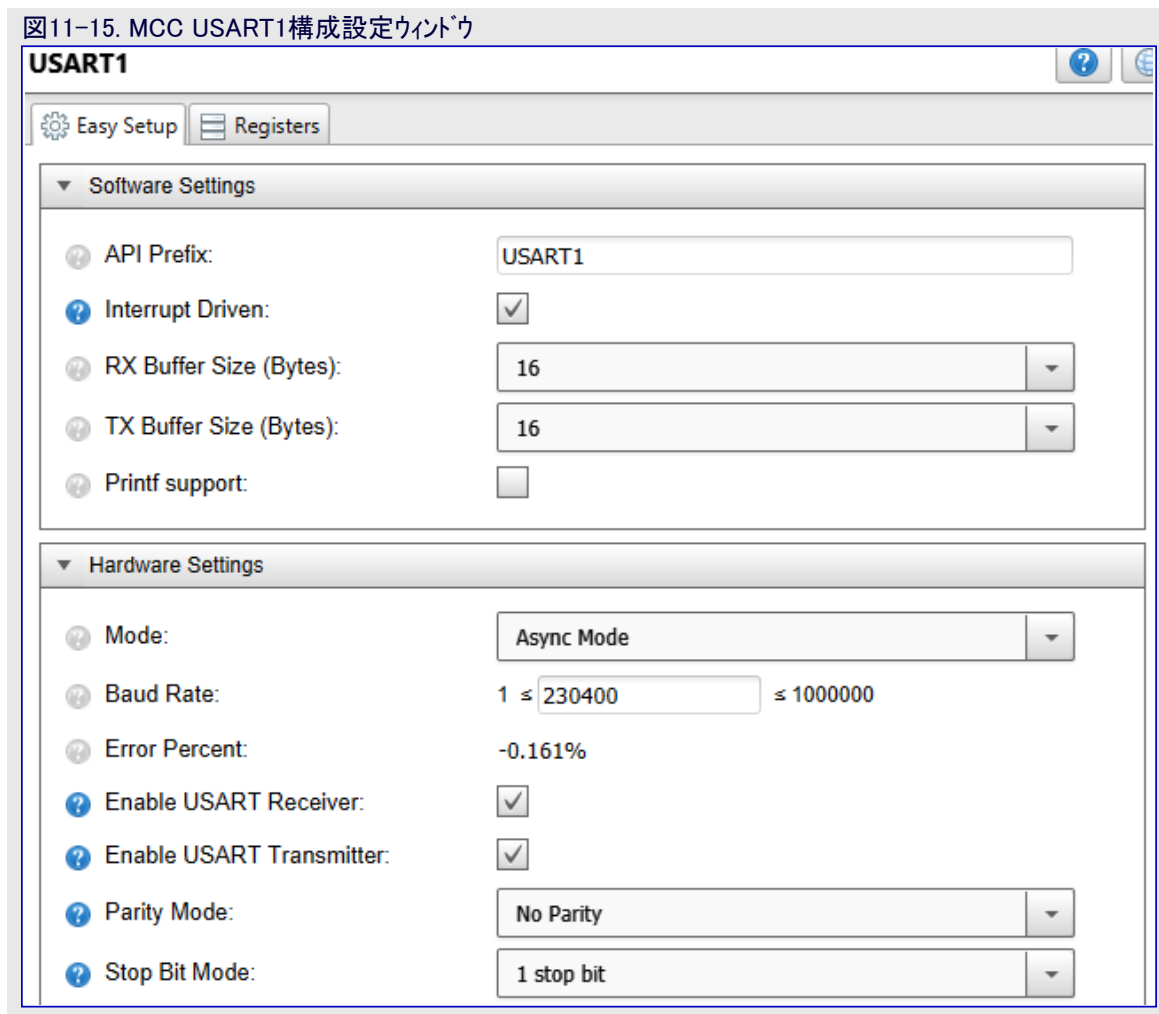
SPI0:

図11-14はMCCでのSPI0構成設定ウィンドウを示します。



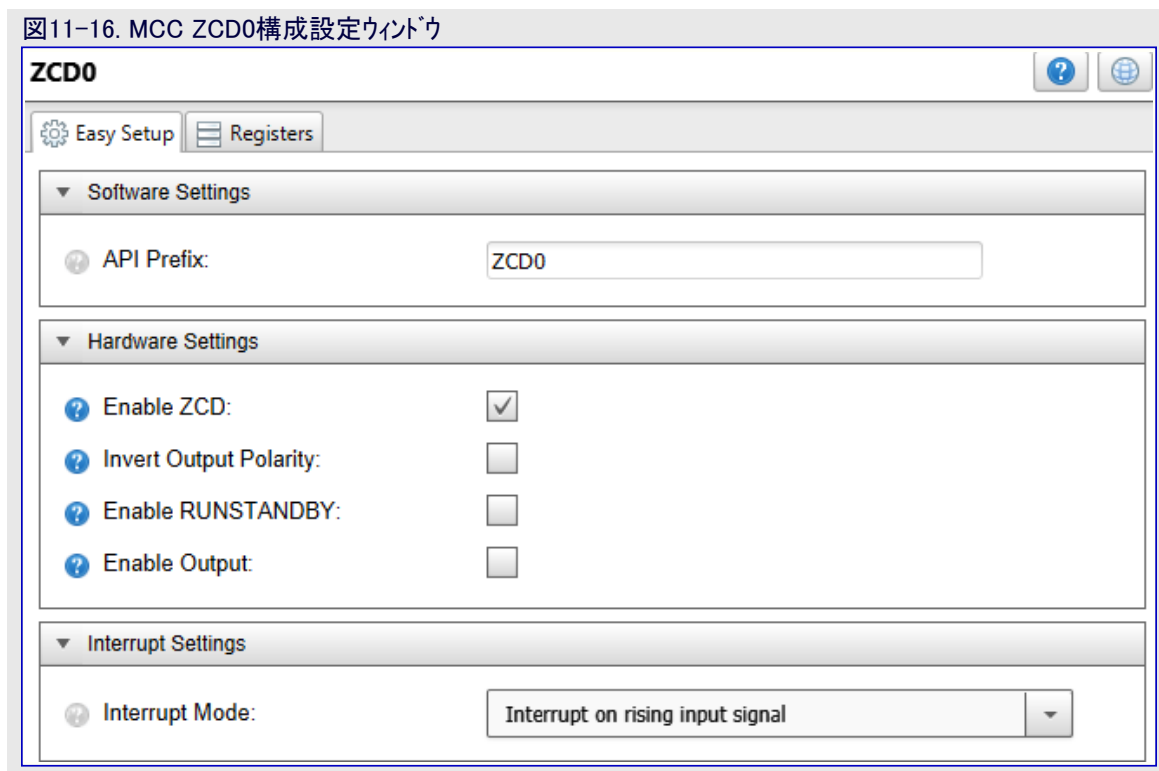
USART1:

図11-15.はMCCでのUSART1構成設定ウィンドウを示します。



ZCD0:

図11-16.はMCCでのZCD0構成設定ウィンドウを示します。



ZCD1:

図11-17はMCCでのZCD1構成設定ウィンドウを示します。

図11-17. MCC ZCD1構成設定ウィンドウ

ZCD1

Easy Setup Registers

▼ Software Settings

API Prefix: ZCD1

▼ Hardware Settings

Enable ZCD: ☒

Invert Output Polarity: ☐

Enable RUNSTANDBY: ☐

Enable Output: ☐

▼ Interrupt Settings

Interrupt Mode: Interrupt on rising input signal

ZCD2:

図11-18はMCCでのZCD2構成設定ウィンドウを示します。

図11-18. MCC ZCD2構成設定ウィンドウ

ZCD2

Easy Setup Registers

▼ Software Settings

API Prefix: ZCD2

▼ Hardware Settings

Enable ZCD: ☒

Invert Output Polarity: ☐

Enable RUNSTANDBY: ☐

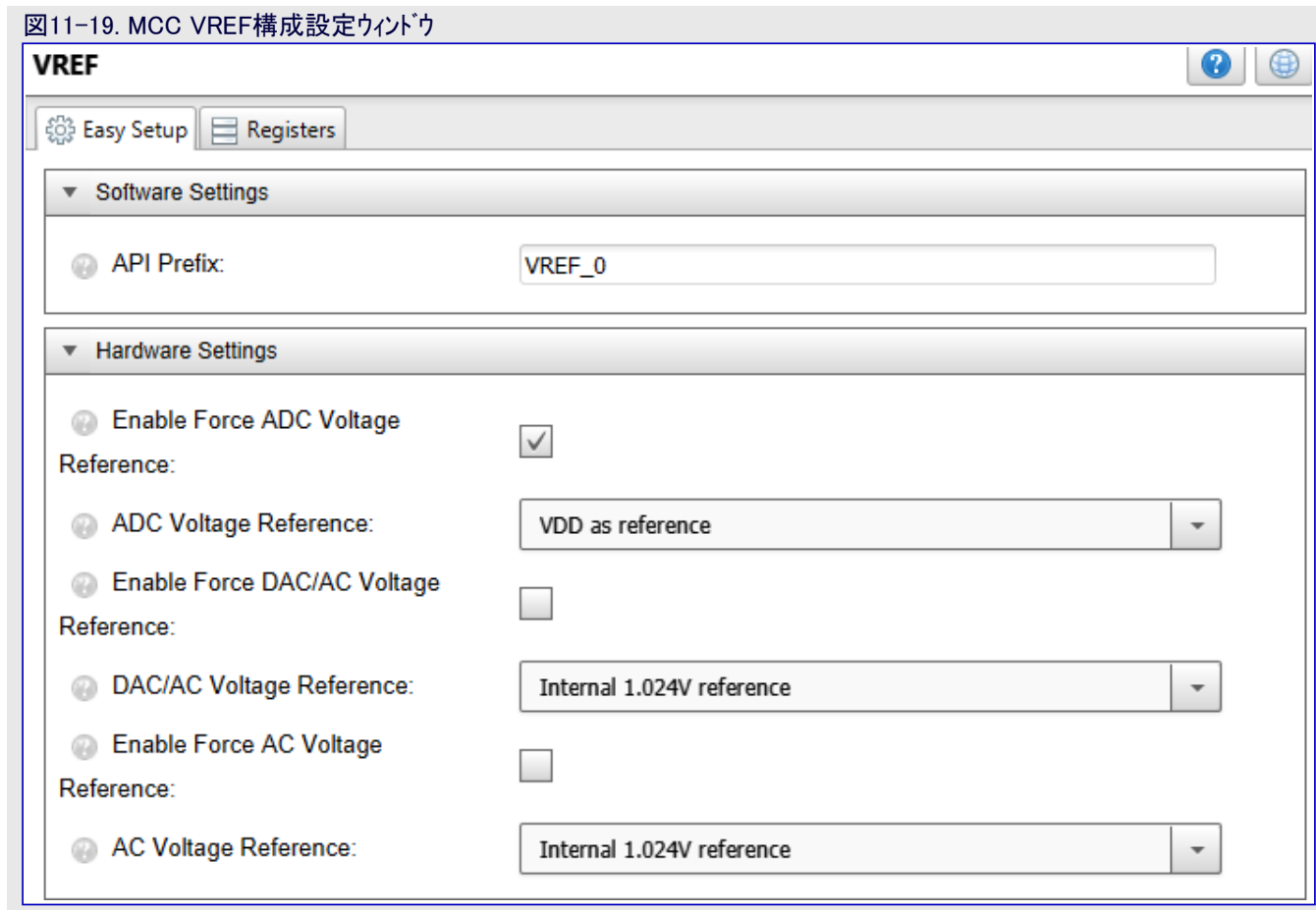
Enable Output: ☐

▼ Interrupt Settings

Interrupt Mode: Interrupt on rising input signal

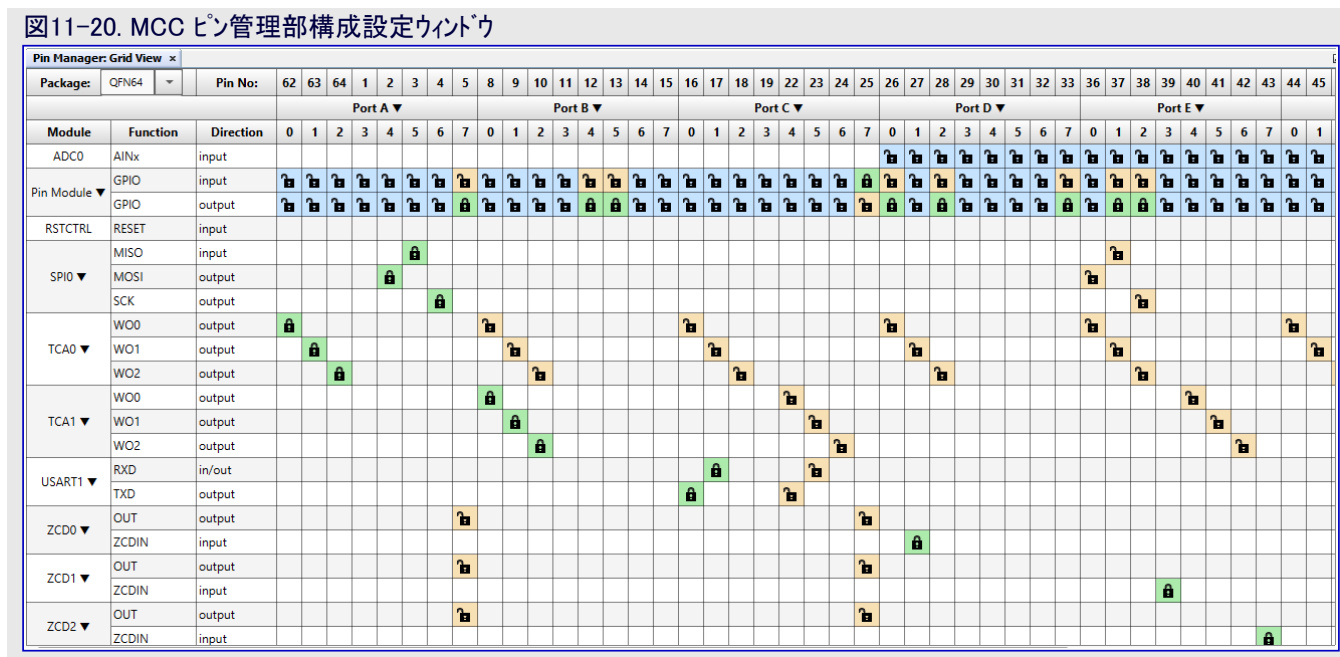
VREF:

図11-19はMCCでのVREF構成設定ウィンドウを示します。



ピン管理部:

図11-20はMCCでのピン管理部(Pin Manager)構成設定ウィンドウを示します。



ピン単位部:

図11-21はMCCでのピン単位部(Pin Module)構成設定ウィンドウを示します。

図11-21. MCC ピン単位部構成設定ウィンドウ

Pin Module								
Selected Package : QFN64								
Pin Name	Module	Function	Custom Name	OUTPUT	START HIGH	INVEN	PULLUPEN	ISC
PA0	TCA0	WO0		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PA1	TCA0	WO1		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PA2	TCA0	WO2		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PA4	SPI0	MOSI		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PA5	SPI0	MISO		☐	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PA6	SPI0	SCK		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PA7	Pin Module	GPIO	AD5227_CS1	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PB0	TCA1	WO0		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PB1	TCA1	WO1		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PB2	TCA1	WO2		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PB4	Pin Module	GPIO	AD5227_CS3	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PB5	Pin Module	GPIO	WC_OE2	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PC0	USART1	TXD		☒	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PC1	USART1	RXD		☐	☐	☐	☐	Interrupt disabl...
PC7	Pin Module	GPIO	SW	☐	☐	☐	☒	Interrupt disabl...
PD0	Pin Module	GPIO	WC_OE1	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PD1	ZCD0	ZCDIN		☐	☐	☐	☐	Digital Input Bu...
PD2	Pin Module	GPIO	WC_OE3	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PD7	Pin Module	GPIO	AD9833_FSN1	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PE1	Pin Module	GPIO	AD9833_FSN3	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PE2	Pin Module	GPIO	AD5227_CS2	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...
PE3	ZCD1	ZCDIN		☐	☐	☐	☐	Digital Input Bu...
PE7	ZCD2	ZCDIN		☐	☐	☐	☐	Digital Input Bu...
PF3	Pin Module	GPIO	AD9833_FSN2	☒	☒	☐	☐	Interrupt disabl...

ADC0:

図11-22はMCCでのADC構成設定ウィンドウを示します。

図11-22. MCC ADC構成設定ウィンドウ

ADC0

Easy Setup Registers

▼ Software Settings

API Prefix: ADC0

Result Selection : 12-bit mode

Differential Mode Conversion : enabled

Left Adjust Result : ☐

▼ Hardware Settings

Enable ADC: ☒

Sampling Frequency(Hz): 136363 ≤ 461538 ≤ 461538

ADC Clock(Hz): 6000000

Sample Accumulation Number: No accumulation

Sample Length (# of ADC Clock) : 0 ≤ 0 ≤ 31

12. 改訂履歴

資料改訂	日付	注釈
A	2020年8月	初版文書公開

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
- ・ **全般的な技術支援** – 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
- ・ **Microship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デバイス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デバイスのコード保護機能を破ろうとする試みに使われる不正でおそらく違法な方法があります。当社はこれらの方法がMicrochipのデータシートに含まれた動作仕様外の方法でMicrochip製品を使うことが必要とされると確信しています。これらのコード保護機能を破ろうとする試みは、おそらく、Microchipの知的財産権に違反することなく達成することはできません。
- ・ Microchipはそのコードの完全性について心配されている何れのお客様とも共に働きたいと思います。
- ・ 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。Microchipのコード保護機能を破る試みはデジタル ミレニアム著作権法に違反するかもしれません。そのような行為があなたのソフトウェアや他の著作物に不正なアクセスを許す場合、その法律下の救済のために訴権を持つかもしれません。

法的通知

この刊行物に含まれる情報はMicrochip製品を使って設計する唯一の目的のために提供されます。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。

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ロゴ、Adaptec、AnyRate、AVR、AVRロゴ、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、chipKIT、chipKITロゴ、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、FlashFlex、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemiロゴ、MOST、MOSTロゴ、MPLAB、OptoLyzer、PacTime、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32ロゴ、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SSTロゴ、Super Flash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TempTracker、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。

APT、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ロゴ、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、Temux、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider、Vite、WinPath、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、BlueSky、BodyCom、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、EtherGREEN、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、KleerNet、KleerNetロゴ、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certifiedロゴ、MPLAB、MPLINK、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REALICE、Ripple Blocker、SAM-ICE、Serial Quad I/O、SMART-I.S.、SQI、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Total Endurance、TSHARC、USBCheck、VariSense、View Sense、WiperLock、Wireless DNA、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ロゴ、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。

© 2020年、Microchip Technology Incorporated、米国印刷、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 2020.

本応用記述はMicrochipのAN3433応用記述(DS00003607A-2020年8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訳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: http://www.microchip.com/support ウェブアドレス: http://www.microchip.com 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 ボストン 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	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 - エスボ 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 - ハーネ 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 - デルフト 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 - マドリード 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 - ウォーキンガム Tel: 44-118-921-5800 Fax: 44-118-921-5820