

M4K グループ(1)
アプリケーションノート
トリミング回路
(TRM-A)

概要

このアプリケーションノートは、M4K グループ(1) を使用してトリミング回路 (TRM) の機能を用いる製品を開発する際、参考となる資料です。動作確認用またはプログラム開発の参考用にご利用願います。

対象サンプルプログラム : TRMOSC

目次

概要	1
目次	2
1. はじめに.....	4
1.1. T32AxINAx に基準となる信号を入力.....	4
2. 関連するドキュメント.....	5
3. 使用する機能.....	5
4. 対象製品.....	5
5. 動作確認環境.....	6
6. 評価ボード操作方法.....	6
7. サンプルプログラム.....	7
7.1. サンプルプログラムの構成図.....	7
7.2. 各種設定.....	8
7.2.1. クロック.....	8
7.2.2. キャプチャー用タイマー.....	8
7.2.3. PPG 用タイマー.....	8
7.3. 動作概要.....	10
7.3.1. Startup ルーチン.....	10
7.3.2. メイン動作.....	10
7.3.3. トリミング初期化.....	11
7.3.4. トリミング処理.....	11
7.3.4.1. パルス幅測定.....	13
7.3.4.2. 周波数誤差算出.....	13
7.3.4.3. トリミング値算出.....	13
7.3.4.4. トリミング設定.....	16
7.4. 設定変更方法.....	16
7.4.1. 基準信号周波数.....	16
7.5. ターミナルソフトの出力例.....	17
7.5.1. ターミナルソフトの設定例.....	17
8. 使用上の留意点.....	18
9. 改訂履歴.....	18
製品取り扱い上のお願ひ.....	19

Arm および Keil は、Arm Limited（またはその子会社）の米国およびその他の国における登録商標です。

この資料に記載されている社名・商品名・サービス名などは、それぞれ各社が商標として使用している場合があります。

1. はじめに

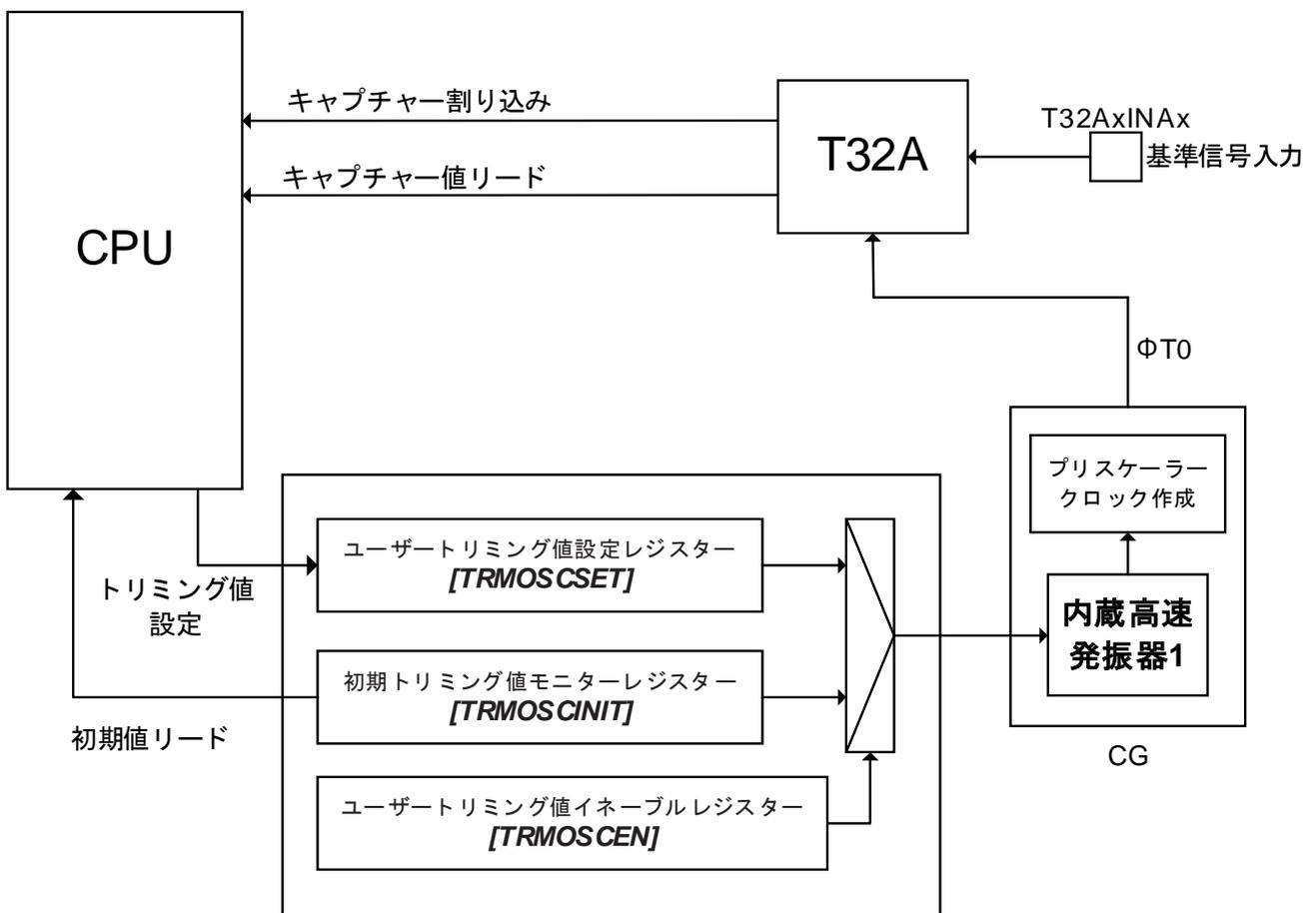
トリミング回路 (TRM) を使用して内蔵発振器の調整を行うサンプルプログラムです。
タイマーのパルス幅測定機能を利用し、内蔵発振器周波数補正を行います。
内蔵発振器周波数補正は下記で行います。

- ・ T32AxINAx に基準となる信号を入力

ターミナルソフトと接続することで、設定されたトリミング値を表示、確認することが可能です。
また、プログラマブル矩形波 (PPG) を出力していますので、波形によるトリミング確認を行うことが可能です。

1.1. T32AxINAx に基準となる信号を入力

T32AxINAx に基準となる信号を入力します。キャプチャーした値から目標周波数との周波数誤差を算出し、トリミング値を決定、設定します。



T32AxINAx に基準信号を入力する場合の接続例

各周波数は下記となります。設定値については「クロック」を参照してください。

目標周波数 (内蔵高速発振器 1 周波数) : f_{IHOSC1}
 キャプチャー用カウントクロック : f_{CAPCLK}
 基準信号周波数 : f_{BASE}

タイマーのパルス幅測定機能を使用した内蔵発振器周波数補正については、リファレンスマニュアル「5.1.1. T32AxINAx に基準となる信号を入力する場合」に使用例が記載されています。併せてご確認ください。

2. 関連するドキュメント

- データシート
TMPM4K グループ(1) データシート Rev2.0
- リファレンスマニュアル
トリミング回路 (TRM-A) Rev4.0
非同期シリアル通信回路 (UART-C) Rev3.0
32 ビットタイマイイベントカウンタ (T32A-B) Rev3.0
- アプリケーションノート
M4K グループ(1) アプリケーションノート Startup (CMSIS System & Clock Configuration) Rev1.0
- 参考資料
TMPM4KxA Group Peripheral Driver User Manual (Doxygen) V1.0.4.0

3. 使用する機能

IP	チャンネル	ポート	機能/動作モード
トリミング回路	—	—	内蔵発振器周波数補正
非同期シリアル通信回路	ch0	PK0 (UT0RXD) PK1 (UT0TXDA)	UART モード
32ビットタイマイイベントカウンタ	ch3	PC0 (T32A03OUTA)	PPG 出力
	ch2	PG1 (T32A02INA0)	外部クロック入力

4. 対象製品

本アプリケーションノートの対象製品は以下となります。

TMPM4K4FYAUG	TMPM4K4FWAUG	TMPM4K4FUAUG	TMPM4K4FSAUG
TMPM4K4FYAFG	TMPM4K4FWAFG	TMPM4K4FUAFG	TMPM4K4FSAFG
TMPM4K2FYADUG	TMPM4K2FWADUG	TMPM4K2FUADUG	TMPM4K2FSADUG
TMPM4K1FYAUG	TMPM4K1FWAUG	TMPM4K1FUAUG	TMPM4K1FSAUG
			TMPM4K0FSADUG

* サンプルプログラムは、TMPM4K4FYAUG 評価ボードで動作するように準備されています。
TMPM4K4 以外の動作確認を行う場合は、CMSIS Core 関連ファイル (startup ファイル、I/O ヘッダーファイル) を変更する必要があります。
また、プロジェクトに設定されているマイコン名も変更する必要があります。
BSP 関連ファイルは評価ボード専用 (TMPM4K4FYAUG) ファイルなので、TMPM4K4 以外の動作確認をする場合は、BSP 関連ファイルを変更する必要があります。

5. 動作確認環境

使用マイコン	TMPM4K4FYAUG
使用ボード	TMPM4K4 評価ボード ((株) イーエスピー企画 製)
統合開発環境	IAR Embedded Workbench for ARM 8.22.2
統合開発環境	Arm® Keil® MDK Version 5.24.2.0
ターミナルソフト	Tera Term V4.96
サンプルプログラム	v1.0.0

6. 評価ボード操作方法

ボード機能	マイコン端子名
PPG 波形出力	PC0
基準信号入力	PG1

1. ターミナルソフト通信用に、PC と USB_UART コネクタを接続します。
2. 基準信号を PG1 に入力します。
3. ターミナルソフトを起動し、通信設定を行います。
4. 評価ボードのリセットボタンを押下します。

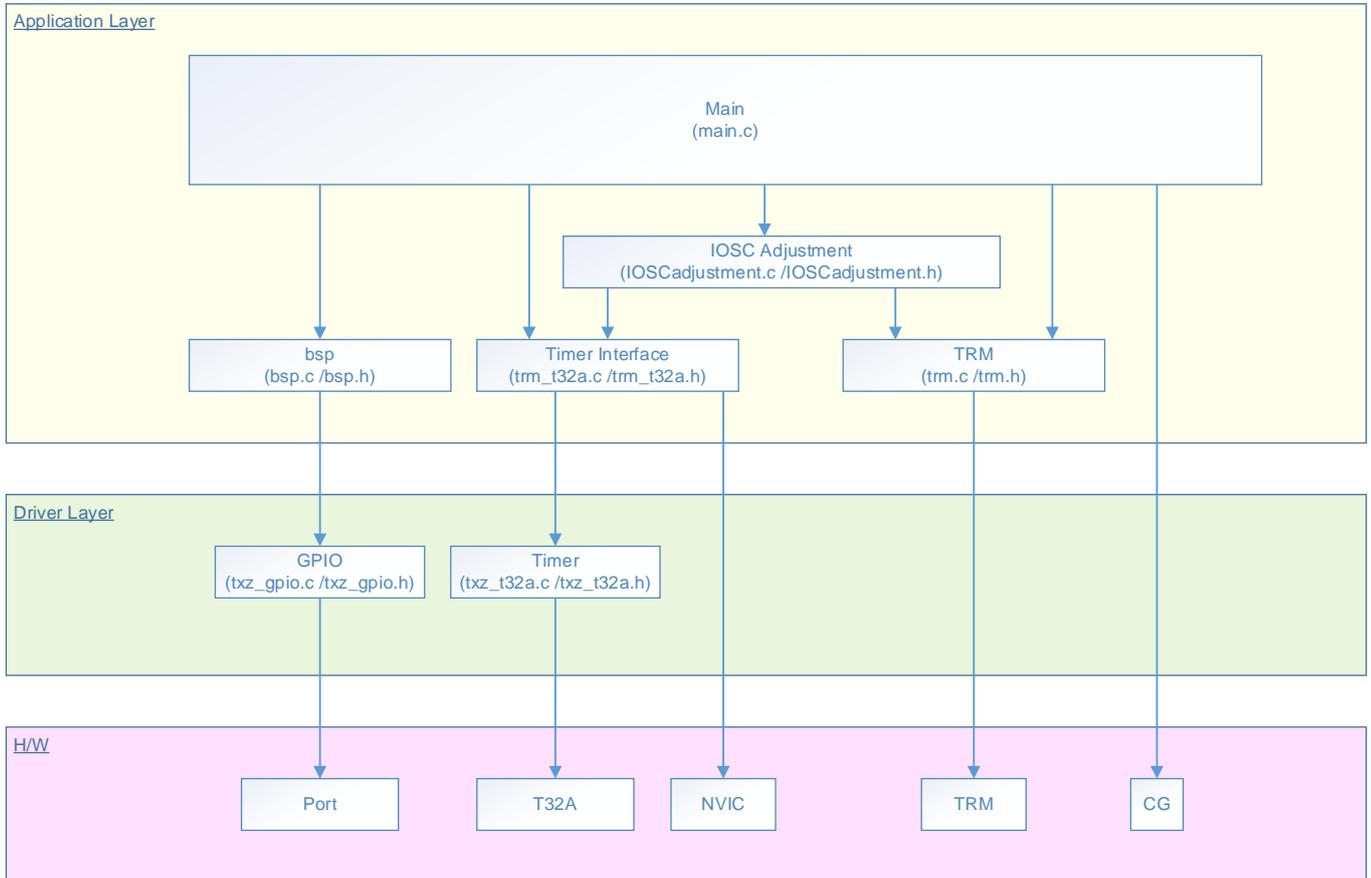
起動後、下記が可能となります。

- ターミナルソフト上での設定トリミング値確認
- PC0 での PPG 波形によるトリミング確認

7. サンプルプログラム

7.1. サンプルプログラムの構成図

サンプルプログラムの構成図を記載します。



サンプルプログラム構成図

7.2. 各種設定

サンプルプログラムにおける各設定値を記載します。

7.2.1. クロック

f_{BASE}	: 240 Hz
f_{IHOSC1}	: 10 MHz
プリスケイラー値 ($\Phi T0$)	: 1/1
f_{CAPCLK}	: 5 MHz

7.2.2. キャプチャー用タイマー

- **[T32AxCRA]**(カウンタ制御レジスタA)

Bit Symbol	機能	設定
PRSCLA[2:0]	プリスケイラー分周選択	001: 1/2
CLKA[2:0]	カウントクロック選択	000: プリスケイラー出力
WBFA	ダブルバッファ制御	0: 禁止
UPDNA[1:0]	カウンタ動作	00: アップ
RELDA[2:0]	カウンタリロード条件	000: リロードなし (フリーラン)
STOPA[2:0]	カウンタ動作停止条件	010: 外部トリガー (T32AxINA0) 立ち上がりエッジ
STARTA[2:0]	カウンタ動作開始条件	011: 外部トリガー (T32AxINA0) 立ち下がりエッジ

- **[T32AxCAPCRA]**(キャプチャー制御レジスタA)

Bit Symbol	機能	設定
CAPMA1[2:0]	[T32AxCAPA1] のキャプチャータイミング	010: 外部トリガー (T32AxINA0) 立ち上がり
CAPMA0[2:0]	[T32AxCAPA0] のキャプチャータイミング	011: 外部トリガー (T32AxINA0) 立ち下がり

7.2.3. PPG 用タイマー

- **[T32AxCRA]**(カウンタ制御レジスタA)

Bit Symbol	機能	設定
PRSCLA[2:0]	プリスケイラー分周選択	000: 1/1
CLKA[2:0]	カウントクロック選択	000: プリスケイラー出力
WBFA	ダブルバッファ制御	0: 禁止
UPDNA[1:0]	カウンタ動作	00: アップ
RELDA[2:0]	カウンタリロード条件	111: タイマーレジスタA1 との一致
STOPA[2:0]	カウンタ動作停止条件	000: トリガーを使用しない
STARTA[2:0]	カウンタ動作開始条件	000: トリガーを使用しない

- **[T32AxOUTCRA0]**(出力制御レジスタA0)

Bit Symbol	機能	設定
OCRA[1:0]	T32AxOUTA の制御	00: 変化なし

- **[T32AxOUTCRA1]**(出力制御レジスターA1)

Bit Symbol	機能	設定
OCRCAPA1[1:0]	キャプチャーレジスターA1 による T32AxOUTA 制御	00: 無効
OCRCAPA0[1:0]	キャプチャーレジスターA0 による T32AxOUTA 制御	00: 無効
OCRCMPA1[1:0]	コンパレーターA1 による T32AxOUTA 制御	11: 反転
OCRCMPA0[1:0]	コンパレーターA0 による T32AxOUTA 制御	11: 反転

- **[T32AxRGA0]**(タイマーレジスターA0)

Bit Symbol	機能	設定
RGA0[15:0]	カウンターと比較する値を設定します。	0

- **[T32AxRGA1]**(タイマーレジスターA1)

Bit Symbol	機能	設定
RGA1[15:0]	カウンターと比較する値を設定します。	1

- **[T32AxRELDA]**(カウンターリロードレジスターA)

Bit Symbol	機能	設定
RELDA[15:0]	カウンターにリロードする値を設定します。	0

7.3. 動作概要

サンプルプログラムの動作概要を記載します。

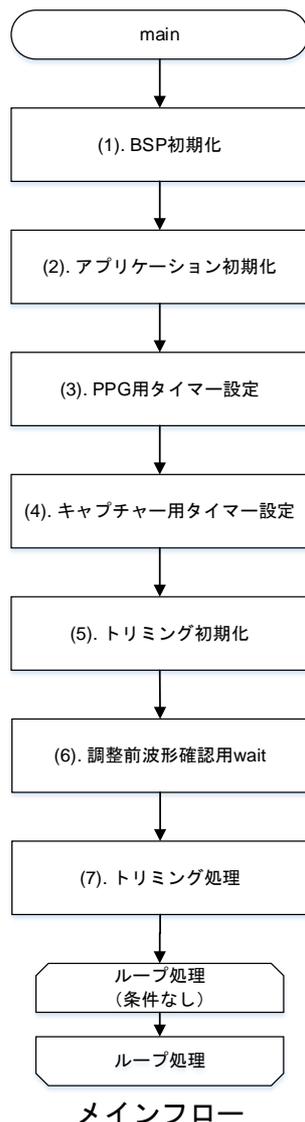
7.3.1. Startup ルーチン

電源投入後、下記の初期化を行います。

- システムコアクロック設定
- ウォッチドッグタイマー禁止設定

7.3.2. メイン動作

初期化動作後、main 関数へ移行し、下記のフローで処理が実行されます。



- (1) BSP 初期化
周辺機能へのクロック供給、ポート初期化を行います。
- (2) アプリケーション初期化
アプリケーションモジュールの初期化として下記を行います。
 - UART 入出力制御モジュール (ターミナルソフト通信用)
- (3) PPG 用タイマー設定
PPG 用タイマー設定を行います。
設定値については「PPG 用タイマー」を参照してください。
- (4) キャプチャー用タイマー設定

キャプチャー用タイマー設定を行います。

設定値については「キャプチャー用タイマー」を参照してください。

- (5) トリミング初期化
「トリミング初期化」を参照してください。
- (6) 調整前波形確認用 wait
トリミング前の PPG 波形確認区間として、任意時間の wait を設けています。
- (7) トリミング処理
「トリミング処理」を参照してください。

7.3.3. トリミング初期化

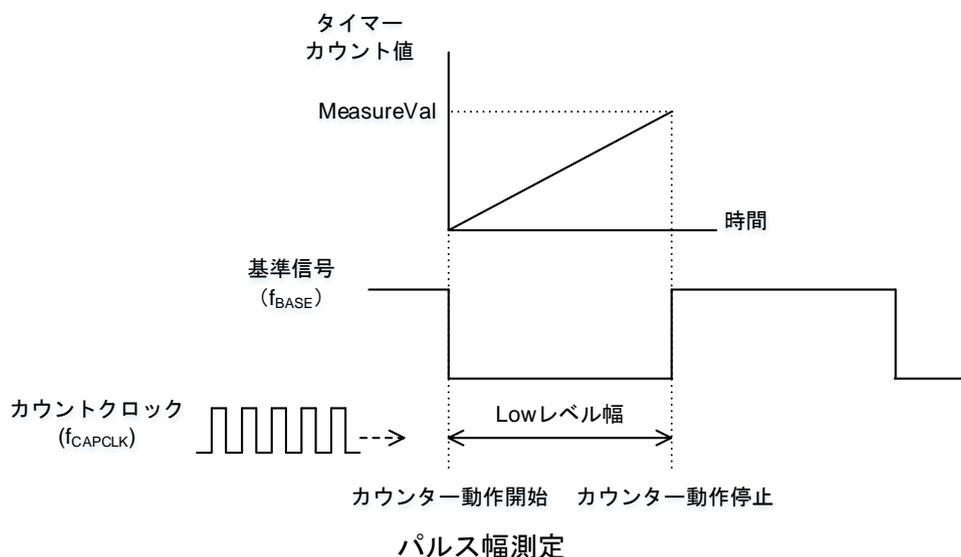
TRM レジスタは Power ON Reset 時のみ初期化されます。

起動時にトリミング調整前の状態で開始するため、ソフト処理で TRM レジスタを初期化しています。

7.3.4. トリミング処理

パルス幅測定によって得られた Low レベル幅測定値と、計算により得られる Low レベル幅理論値から周波数誤差を算出します。算出した周波数誤差からトリミング設定値を決定します。

- ・ Low レベル幅測定値 (MeasureVal)

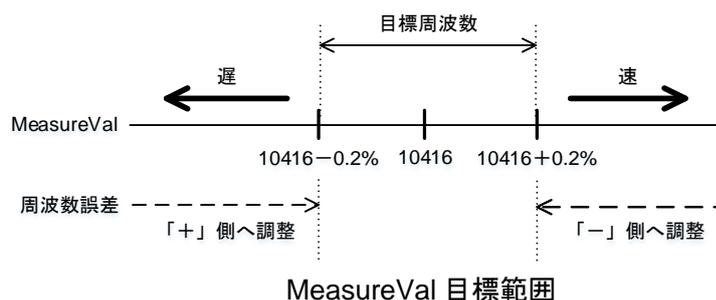


キャプチャーを利用したパルス幅測定に関しては、32 ビットタイマーイベントカウンターリファレンスマニュアル「5.8. キャプチャーを利用したパルス幅測定」に使用例が記載されています。併せてご確認ください。

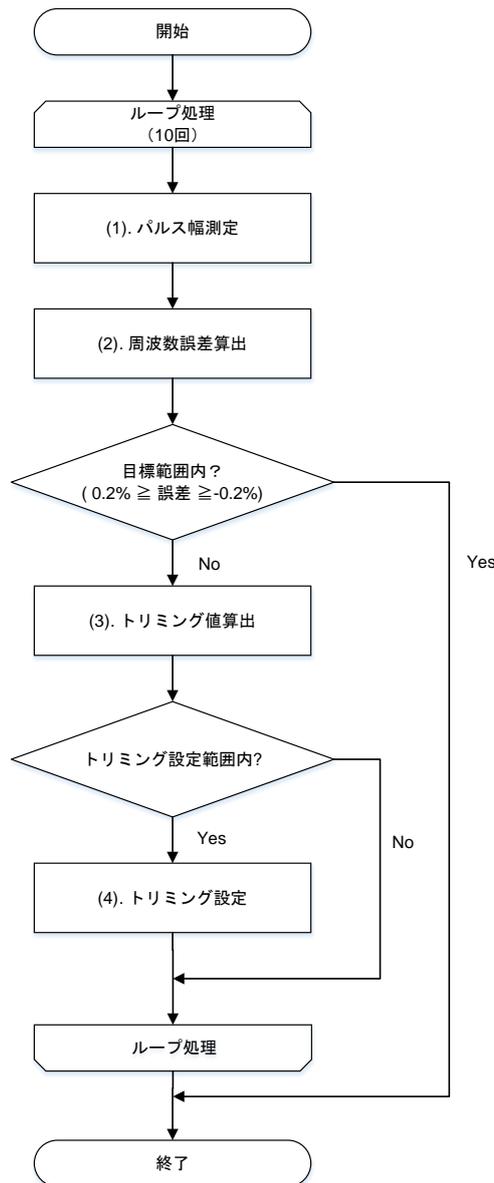
- ・ Low レベル幅理論値

fCAPCLK	Low 幅タイマーカウント値 (理論値)
5 MHz	10416

MeasureVal が目標範囲内 ($10416 \pm 0.2\%$) なら目標周波数とし、目標周波数になるようにトリミング処理を行います。



トリミング処理は下記のフローで実行されます。



トリミング処理フロー

- (1) パルス幅測定
基準信号の Low レベル幅を測定します。
「パルス幅測定」を参照してください。
- (2) 周波数誤差算出
(1)で測定したパルス幅から周波数誤差を算出します。
「周波数誤差算出」を参照してください。
- (3) トリミング値算出
(2)で得た周波数誤差からトリミング値を算出します。
「トリミング値算出」を参照してください。
- (4) トリミング設定
(3)で得たトリミング値をユーザートリミング値として設定します。
「トリミング設定」を参照してください。

一定回数（初期値は 10 回）トリミング処理を繰り返した後、処理を終了します。

7.3.4.1. パルス幅測定

- Low レベル幅測定値

$$\text{MeasureVal} = [T32AxCAPA1] \langle \text{CAPA1}[15:0] \rangle$$

ソースコード上では、下記の関数で処理を行います。

ファイル : IOSAdjustment.c
関数名 : MeasureWave

7.3.4.2. 周波数誤差算出

Low レベル幅測定値と、Low レベル幅理論値から周波数誤差を算出します。

Low レベル幅理論値はあらかじめ算出、定数として定義しています。

- Low レベル幅理論値

```
#define CAPTUREVAL10MHZ (10416) /* 基準信号周波数 240(Hz) */
```

- 周波数誤差 (%)

調整する誤差として算出します。

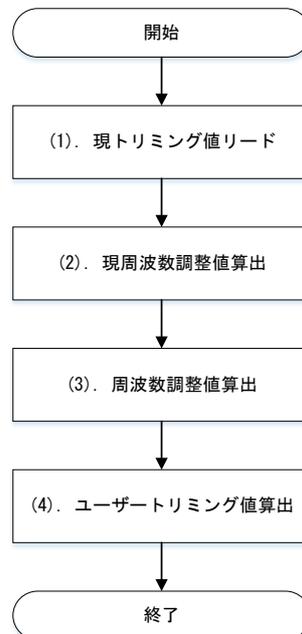
$$\text{MeasureDiff} = (1 - (\text{MeasureVal} \div \text{CAPTUREVAL10MHZ})) \times 100$$

ソースコード上では、下記の関数で処理を行います。

ファイル : IOSAdjustment.c
関数名 : CalcDiff

7.3.4.3. トリミング値算出

トリミング値は下記のフローで算出します。

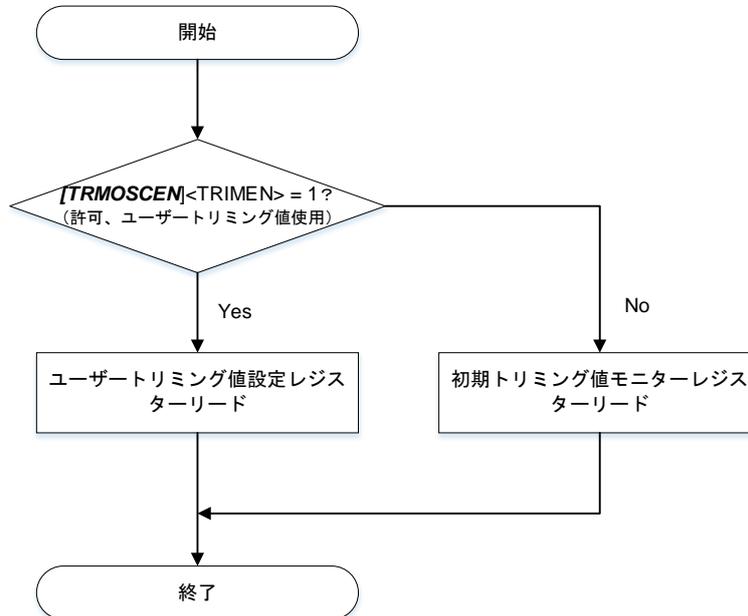


トリミング値算出フロー

(1). 現トリミング値リード

現トリミング値をリードします。

ユーザートリミング値イネーブル制御 ($[TRMOSCEN]<TRIMEN>$) の値によって、リード対象となるレジスターが変わります。



現トリミング値リードフロー

各トリミング値は下記をリードします。

- ユーザートリミング値設定レジスターリード

粗トリミング値：

$\text{trimvalueC} = [TRMOSCSET]<TRIMSETC[5:0]>$

微トリミング値：

$\text{trimvalueF} = [TRMOSCSET]<TRIMSETF[3:0]>$

- 初期トリミング値設定レジスターリード

粗トリミング値：

$\text{trimvalueC} = [TRMOSCINIT]<TRIMINITC[5:0]>$

微トリミング値：

$\text{trimvalueF} = [TRMOSCINIT]<TRIMINITF[3:0]>$

ソースコード上では、下記の関数で処理を行います。

ファイル：IOSCadjustment.c

関数名：GetAdjustmentValue

(2). 現周波数調整値算出

リードしたトリミング値から現周波数調整値を算出します。
トリミング値に調整ステップを乗算することで、各周波数調整値を算出します。

- 調整ステップ

リファレンスマニュアル「1. 概要」に記載された、下記の値を用います。

粗トリミング平均ステップ : 0.8%

微トリミングステップ : 0.1%

- 粗周波数調整値 (%)

adjvalueC

- 微周波数調整値 (%)

adjvalueF

- 現周波数調整値 (%)

adjvalue = adjvalueC + adjvalueF

ソースコード上では、下記の関数で処理を行います。

ファイル : IOSAdjustment.c

関数名 : GetAdjustmentValue

(3). 周波数調整値算出

周波数調整値を算出します。

- 周波数調整値 (%)

difference = MeasureDiff + adjvalue

ソースコード上では、下記の関数で処理を行います。

ファイル : IOSAdjustment.c

関数名 : CalcAdjVal

(4). ユーザートリミング値算出

周波数調整値からユーザートリミング値を算出します。

周波数調整値から調整ステップを除算することで、ユーザートリミング値を算出します。

- 調整ステップ

リファレンスマニュアル「1. 概要」に記載された、下記の値を用います。

粗トリミング平均ステップ : 0.8%

微トリミングステップ : 0.1%

- 粗トリミング値 (絶対値)

周波数調整値を粗トリミング平均ステップで割った商になります。

coarse = (|difference| / 0.8)

- 微トリミング値 (絶対値)

周波数調整値を微トリミングステップで割った商になります。

fine = ((|difference| - (coarse × 0.8)) / 0.1)

ユーザートリミング値は下記になります。

(difference \geq 0) の場合

- ・粗トリミング値
CoarseTrim = coarse
- ・微トリミング値
FineTrim = fine

(difference < 0) の場合

- ・粗トリミング値
CoarseTrim = - coarse
- ・微トリミング値
FineTrim = - fine

ソースコード上、下記の関数が本処理となります。

ファイル : IOScadjustment.c
関数名 : CalcAdjVal

7.3.4.4. トリミング設定

ユーザートリミング値をユーザートリミング値設定レジスター *[TRMOSCSET]* に反映します。

7.4. 設定変更方法

7.4.1. 基準信号周波数

基準信号周波数を変更する場合、IOScadjustment.c の以下を変更してください。

- ・Low レベル幅理論値
#define CAPTUREVAL10MHZ (10416)

7.5. ターミナルソフトの出力例

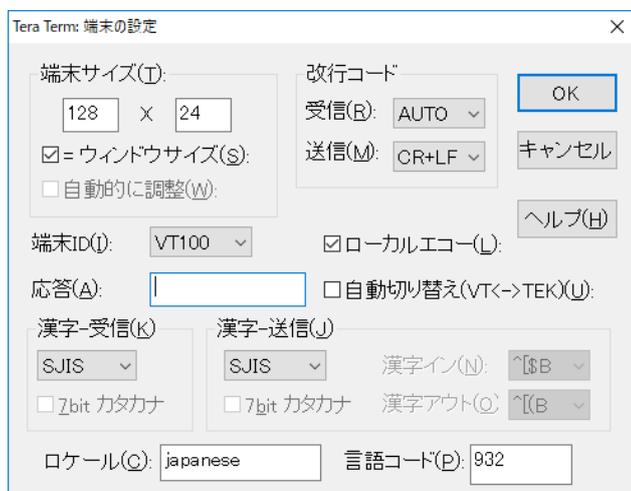
ターミナルソフト出力例を下記に記載します。

```

COM15 - Tera Term VT
ファイル(F) 編集(E) 設定(S) コントロール(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)
-----
| TRMOSC_demo |
-----
please wait...
-----
| start |
-----
TRMOSC_RUN
<TRIMSETC>:0
<TRIMSETF>:B
TRMOSC_RUN
<TRIMSETC>:0
<TRIMSETF>:A
TRMOSC_DONE
<TRIMSETC>:0
<TRIMSETF>:A
    
```

7.5.1. ターミナルソフトの設定例

ターミナルソフト (Tera Term) は下記の設定で確認しています。



8. 使用上の留意点

動作確認条件以外で使用する場合は、十分に動作確認をお願い致します。

9. 改訂履歴

Revision	Date	Description
1.0	2019-08-30	初版

製品取り扱い上のお願い

株式会社東芝およびその子会社ならびに関係会社を以下「当社」といいます。

本資料に掲載されているハードウェア、ソフトウェアおよびシステムを以下「本製品」といいます。

- 本製品に関する情報等、本資料の掲載内容は、技術の進歩などにより予告なしに変更されることがあります。
- 文書による当社の事前の承諾なしに本資料の転載複製を禁じます。また、文書による当社の事前の承諾を得て本資料を転載複製する場合でも、記載内容に一切変更を加えたり、削除したりしないでください。
- 当社は品質、信頼性の向上に努めていますが、半導体・ストレージ製品は一般に誤作動または故障する場合があります。本製品をご使用頂く場合は、本製品の誤作動や故障により生命・身体・財産が侵害されることのないように、お客様の責任において、お客様のハードウェア・ソフトウェア・システムに必要な安全設計を行うことをお願いします。なお、設計および使用に際しては、本製品に関する最新の情報（本資料、仕様書、データシート、アプリケーションノート、半導体信頼性ハンドブックなど）および本製品が使用される機器の取扱説明書、操作説明書などをご確認の上、これに従ってください。また、上記資料などに記載の製品データ、図、表などに示す技術的な内容、プログラム、アルゴリズムその他応用回路例などの情報を使用する場合は、お客様の製品単独およびシステム全体で十分に評価し、お客様の責任において適用可否を判断してください。
- 本製品は、特別に高い品質・信頼性が要求され、またはその故障や誤作動が生命・身体に危害を及ぼす恐れ、膨大な財産損害を引き起こす恐れ、もしくは社会に深刻な影響を及ぼす恐れのある機器（以下“特定用途”という）に使用されることは意図されていませんし、保証もされていません。特定用途には原子力関連機器、航空・宇宙機器、医療機器（ヘルスケア除く）、車載・輸送機器、列車・船舶機器、交通信号機器、燃焼・爆発制御機器、各種安全関連機器、昇降機器、発電関連機器などが含まれますが、本資料に個別に記載する用途は除きます。特定用途に使用された場合には、当社は一切の責任を負いません。なお、詳細は当社営業窓口まで、または当社 Web サイトのお問い合わせフォームからお問い合わせください。
- 本製品を分解、解析、リバースエンジニアリング、改造、改変、翻案、複製等しないでください。
- 本製品を、国内外の法令、規則及び命令により、製造、使用、販売を禁止されている製品に使用することはできません。
- 本資料に掲載してある技術情報は、製品の代表的動作・応用を説明するためのもので、その使用に際して当社及び第三者の知的財産権その他の権利に対する保証または実施権の許諾を行うものではありません。
- 別途、書面による契約またはお客様と当社が合意した仕様書がない限り、当社は、本製品および技術情報に関して、明示的にも黙示的にも一切の保証（機能動作の保証、商品性の保証、特定目的への合致の保証、情報の正確性の保証、第三者の権利の非侵害保証を含むがこれに限らない。）をしておりません。
- 本製品、または本資料に掲載されている技術情報を、大量破壊兵器の開発等の目的、軍事利用の目的、あるいはその他軍事用途の目的で使用しないでください。また、輸出に際しては、「外国為替及び外国貿易法」、「米国輸出管理規則」等、適用ある輸出関連法令を遵守し、それらの定めるところにより必要な手続を行ってください。
- 本製品の RoHS 適合性など、詳細につきましては製品個別に必ず当社営業窓口までお問い合わせください。本製品のご使用に際しては、特定の物質の含有・使用を規制する RoHS 指令等、適用ある環境関連法令を十分調査の上、かかる法令に適合するようご使用ください。お客様がかかる法令を遵守しないことにより生じた損害に関して、当社は一切の責任を負いかねます。