RH850/U2B6

R/D コンバータ（RDC3AL）

要旨

本アプリケーションノートは、RH850/U2B6 の R/D（レゾルバ/デジタル）コンバータ（RDC3AL）の使用例をまとめたものです。

なお、本アプリケーションノートに掲載されているタスク例およびアプリケーション例は動作確認済みですが、実際にご使用になる場合には、必ず動作環境を確認の上ご使用下さいますようにお願いします。

動作確認デバイス

この資料は、RH850/U2B6 に適用されます。

目次

1. はじめに 4
1.1 使用機能 4

2. R/D コンバータの基礎 5
2.1 レゾルバとレゾルバデジタルコンバータ 5
2.1.1 レゾルバの用途 5
2.1.2 レゾルバの仕組み 5
2.1.3 レゾルバと R/D コンバータの接続 6
2.2 R/D コンバータの仕組み 7
2.2.1 R/D コンバータの概念 7
2.2.2 R/D コンバータの実際の動作 7
2.2.3 R/D コンバータの帯域設定 8
2.3 補足情報 9
2.3.1 モータ制御における角度の取り扱い 9
2.3.2 誤差の発生・発生要因 10

3. RDC3AL の使用方法 11
3.1 初期設定フロー 11
3.2 RDC3A 使用方法補足 13
3.2.1 制御偏差判定クロック 13
3.2.2 Ki リセット時の入力信号振幅 13
3.2.3 強制ゲイン時の各種ゲイン値 13
3.3 RDC3AL の使用例 14
3.3.1 仕様概要 14
3.3.2 システム構成 14
3.3.3 初期設定説明 14

4. RDC3AL の異常検出機能 17
4.1 異常検出機能概要 17
4.1.1 R/D コンバータの構成 17
4.1.2 入力経路の異常検出 18
4.1.2.1 レゾルバ信号異常検出 18
4.1.2.2 レゾルバ信号断線異常検出（cos、sin） 19
4.1.2.3 レゾルバ信号　天絡地絡異常検出 19
4.1.2.4 二乗和振幅異常検出 20
4.1.2.5 励磁周期常検出 20
4.1.3 トラッキングループの異常検出 21
4.1.3.1 R/D 変換異常検出 21
4.1.3.2 2 経路比較変換異常検出 22
4.2 異常検出機能詳細 23
4.2.1 レゾルバ信号異常検出 23
4.2.1.1 レジスタ設定例 24
4.2.2 レゾルバ信号断線異常検出 25
4.2.2.1 レジスタ設定例 26
4.2.3 R/D 変換異常検出 27

4.2.3.1 レゾルバ設定例 30
4.2.4 2 経路比較変換異常検出 31
4.2.4.1 レゾルバ設定例 31
4.2.5 レゾルバ信号 天絡・地絡異常検出 32
4.2.5.1 レゾルバ設定例 35
4.2.6 二乗和振幅異常検出 36
4.2.6.1 閾値の決定方法例 37
4.2.6.2 レゾルバ設定例 38
4.2.7 励磁周期異常検出 39
4.2.7.1 レゾルバ設定例 39
4.3 異常検出機能の注意事項 40
4.3.1 レゾルバ信号断線異常検出の注意事項 40
4.3.2 二乗和振幅異常検出の注意事項 40
4.4 異常検出全体レジスタ設定フロー 41

5. RDC3AL の自己診断機能 42
5.1 組み込み自己診断(BIST)機能の概要 42
5.2 BIST 機能の詳細 42
5.2.1 BIST 機能の分類 42
5.2.2 BIST 機能の実行 42
5.2.3 ADC ソフトウェア BIST 47
5.3 BIST 機能の注意事項 49

改訂記録 50

1. はじめに

本アプリケーションノートでは、RH850/ U2B6 の R/D（レゾルバ/デジタル）コンバータ（RDC3AL）の使用方法を掲載しています。

1.1 使用機能

本アプリケーションノートで使用する RH850/ U2B6 のハードウェア機能を以下に示します。

・R/D（レゾルバ/デジタル）コンバータ（RDC3AL）

2. R/D コンバータの基礎

2.1 レゾルバとレゾルバデジタルコンバータ

2.1.1 レゾルバの用途

レゾルバは角度センサとして、厳しい環境条件が要求される用途に使用されます。

主な用途：自動車用途・航空宇宙関連・工場関連・その他劣悪な環境における角度検出

軸の角度検出のほか、車載分野では HV 車、EV 車等に搭載されたモータの制御に用いられます。

図 2-1 に、レゾルバとレゾルバデジタルコンバータ（以後 R/D コンバータ）を用いたブラシレス DC モータ制御の例を示します。

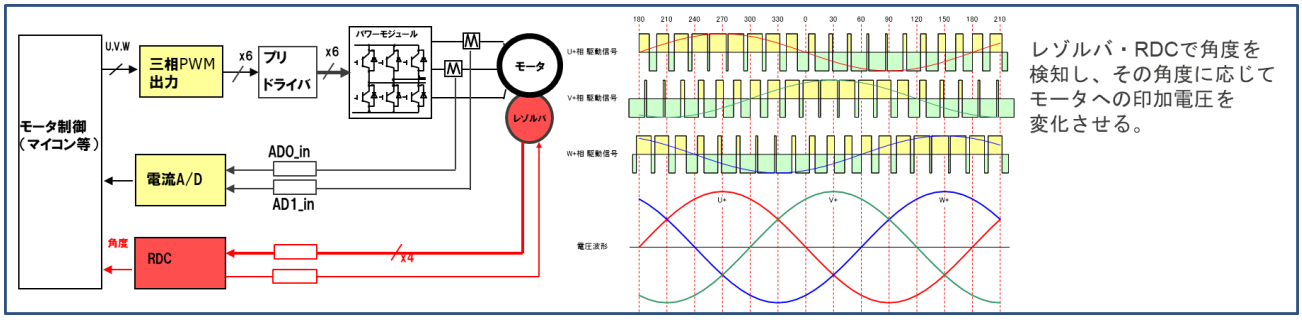


図 2-1 ブラシレス DC モータ制御例

2.1.2 レゾルバの仕組み

レゾルバとは、回転軸の角度を検知するセンサで、模式的に図 2-2 の様に表されます。2 本の励磁信号入力端子(Ex+,Ex-)と 4 本の角度信号出力端子(S1,S3,S2,S4)を持つアナログの装置です。励磁信号入力端子に交流の励磁信号を入力することにより、角度信号出力端子から、角度情報を持った信号を得ることができます。

角度信号出力端子から出力された信号は R/D コンバータを用いてデジタル値の角度（レゾルバ角:θ)に変換されます。S1-S3 間、S2-S4 間、および Ex+-Ex-間は巻き線であり、直流的にはショートとなっています。

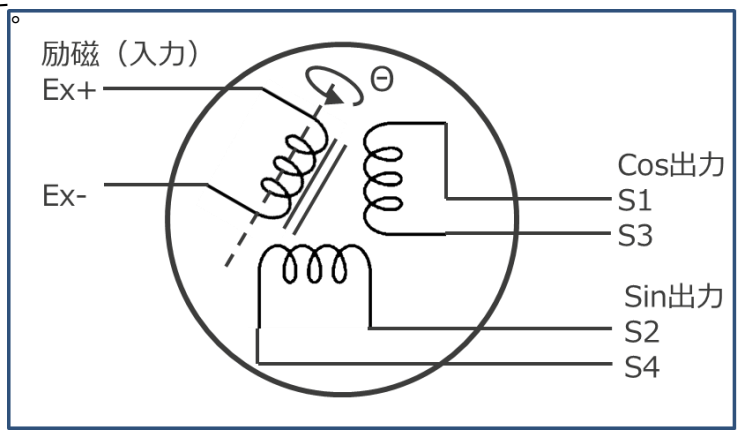


図 2-2 レゾルバの仕組み

レゾルバは、一次巻線（励磁）と 2 つの二次巻線（Cos 出力,Sin 出力）との間の磁気結合の量が回転軸の角度に応じて変化する可変結合トランスとして動作します。

励磁信号(入力)： f (ωt)=(Ex+)-Ex(-)=E1・Sin(ωt)　　周波数（ω） ~10kHz

Cos 信号(出力)： S1-S3 ＝k・Cos(θ) × f (ωt)

Sin 信号(出力) ： S2-S4 ＝k・Sin(θ) × f (ωt) θ=軸角度

2.1.3 レゾルバと R/D コンバータの接続

レゾルバから角度を取得するのに必要な接続を図 2-3 に示します。レゾルバに、励磁信号を入力し、レゾルバからの出力を受け取ります。耐ノイズ性を考慮して、出力は差動アンプで受け取ることが一般的です。差動アンプは R/D コンバータに内蔵されている場合があります。R/D コンバータに参照信号発生機能がない場合は、外部から R/D コンバータおよび励磁バッファアンプに参照信号を入力します。

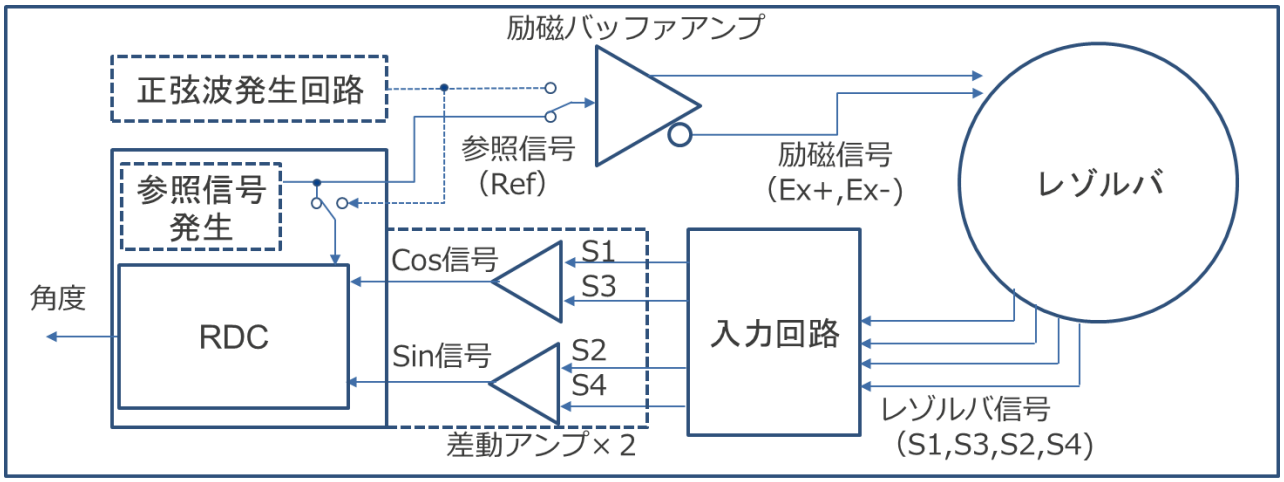


図 2-3 レゾルバと R/D コンバータの接続例

レゾルバへ入力する励磁信号、得られるレゾルバ信号の具体例を図 2-4 に示します。

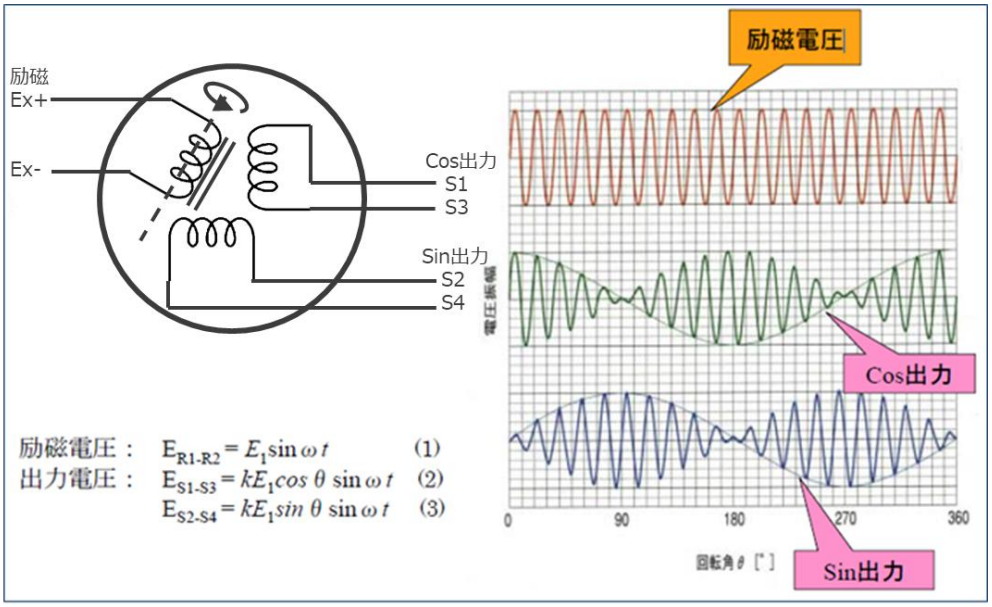


図 2-4 レゾルバの入出力信号例

2.2 R/D コンバータの仕組み

2.2.1 R/D コンバータの概念

R/D コンバータはレゾルバの出力信号（Cos 信号と Sin 信号）、および参照信号から、角度フィードバックを持ったトラッキングループを使って求めます。図 2-5 に概念図を示します。レゾルバ出力信号と、直前の出力角度の差分を偏差として求め、偏差の正負により、角度の増減を決定します。出力角度が正しい時（入力角度θ＝出力角度Φ）、偏差εは 0 となります。

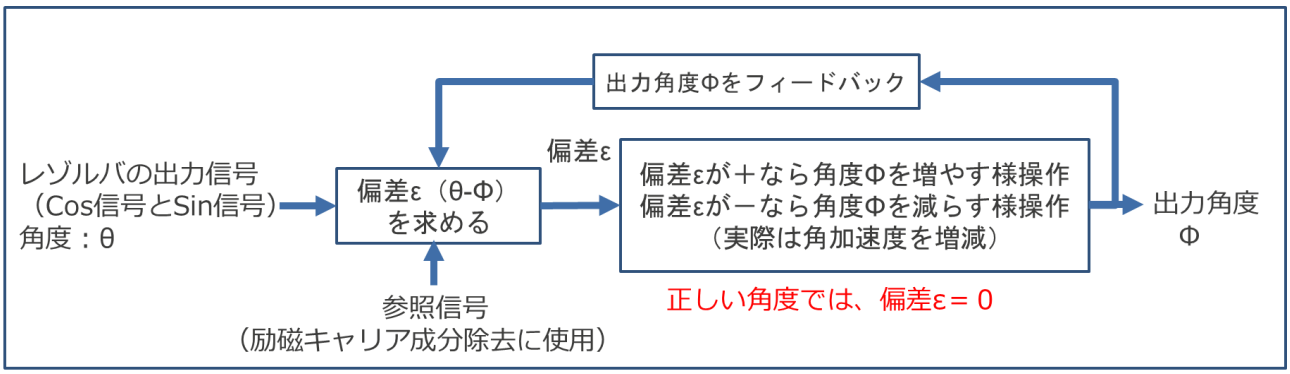


図 2-5 R/D コンバータの概念

2.2.2 R/D コンバータの実際の動作

R/D コンバータは Cos 信号と Sin 信号、および参照信号から、デジタル角度を求めます。R/D コンバータには入力信号の角度（θ）と内部保持角度（Φ)の差がなくなるように、図 2-6 のようなフィードバックループが組まれています。

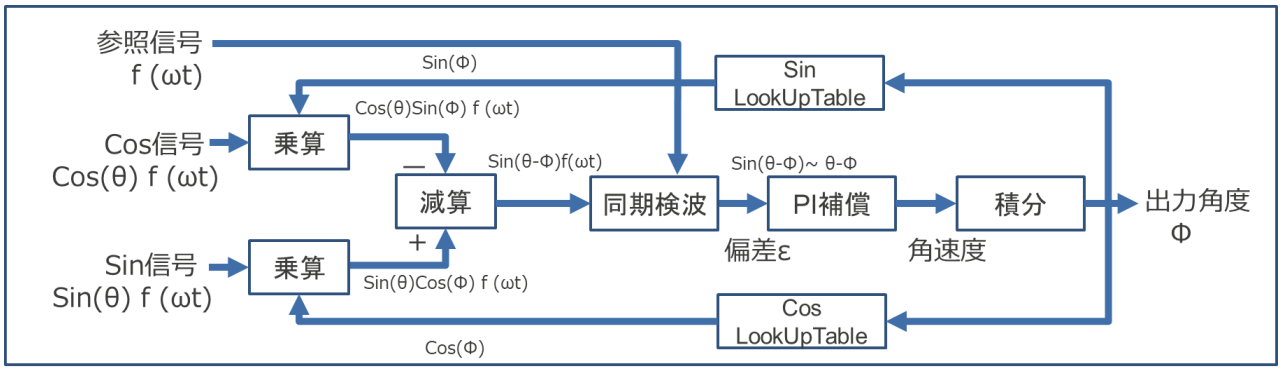


図 2-6 R/D コンバータのフィードバックループ

R/D コンバータは以下の原理で角度を算出します。

Cos 信号と Look Up Table の Sin 項を乗算　$\cos(\theta)\cdot f(\omega t)\cdot\sin(\Phi)$　-①

Sin 信号と Look Up Table の Cos 項を乗算　$\sin(\theta)\cdot f(\omega t)\cdot\cos(\Phi)$　-②

②-①を計算　$(\sin(\theta)\cdot f(\omega t)\cdot\cos(\Phi))-(\cos(\theta)\cdot f(\omega t)\cdot\sin(\Phi))$

$= ((\sin(\theta)\cdot\cos(\Phi))-(\cos(\theta)\cdot\sin(\Phi)))\cdot f(\omega t)$

$(\sin(\theta)\cdot\cos(\Phi))-(\cos(\theta)\cdot\sin(\Phi)) = \sin(\theta-\Phi)$　より

$= \sin(\theta-\Phi)\cdot f(\omega t) \sim (\theta-\Phi)\cdot f(\omega t)$　-③

入力された f(ωt)を用いて同期検波で f(ωt) を消去

$(\theta-\Phi)\cdot f(\omega t) \rightarrow \theta-\Phi = \varepsilon$　-④

ε は本制御ループの制御偏差となります。負帰還制御により、この制御偏差がゼロになるようにフィードバックをかけます。θ ＝ Φとなれば、レゾルバのアナログ角度情報がデジタル角度Φに変換されたことになります。ループ内の PI 補償器等で応答速度を設定します。

2.2.3 R/D コンバータの帯域設定

R/D コンバータを使用する場合、PI 補償器の帯域を設定します。帯域は周波数で表されます。設定した周波数が高いほど、応答が早くなりますが、ノイズ等の影響が大きくなります。逆に、低い周波数を設定すると、応答は遅くなりますが、ノイズに強く、R/D コンバータの出力が安定します。

R/D コンバータの中には帯域を自動調整する機能を持つものがあます。この機能を使うと、安定状態では帯域を低く設定し出力を安定させる一方、加速など早い応答が必要な時は、帯域を自動的に高く設定します。ルネサスマイコンに搭載された R/D コンバータには、帯域の自動調整機能が搭載されています。

R/D コンバータの帯域設定は、加速、あるいは角度ステップへの応答速度に影響を与えますが、定常回転時の最高速度には影響を及ぼしません。たとえば、帯域を低く（200Hz 程度）設定しても、ゆっくり加速するのであれば、最終的な速度が高速（例えば 1000Hz＝60000rpm)であっても追従が可能です。また、高速で安定的に回転している状態は、R/D コンバータ内部は安定状態（ε が小さい）で、自動調整では帯域は低く設定されます。

PI 補償器の帯域を変化させた時の出力変化を図 2-7 に示します。

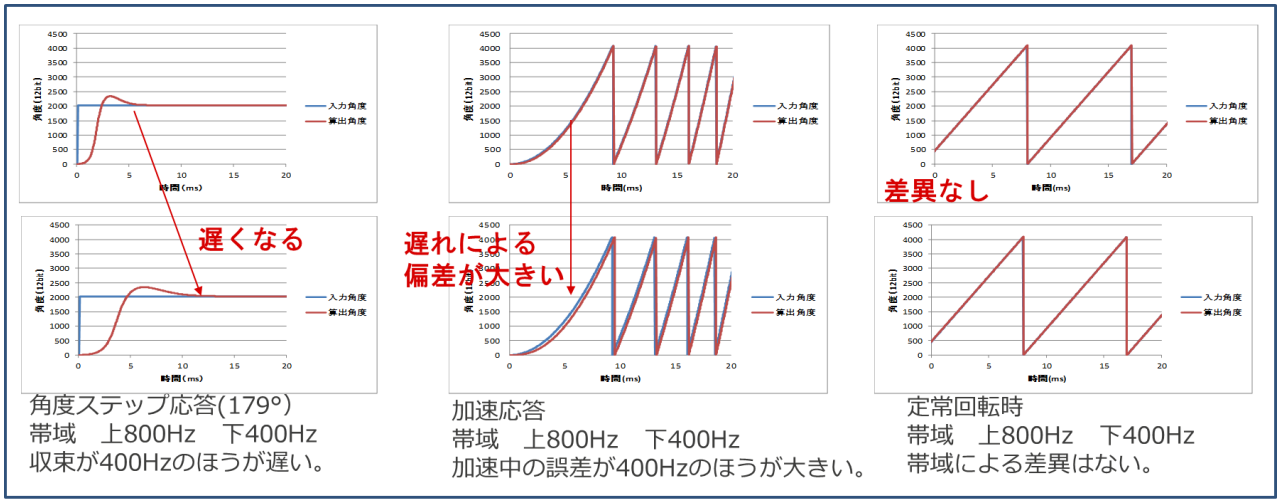


図 2-7 PI 補償器の帯域変化による出力変化

2.3 補足情報

2.3.1 モータ制御における角度の取り扱い

ブラシレス DC モータの制御では、モータの軸角度に応じて、モータへの入力電圧を変化させます。この際、モータの機械的な軸角度（機械角）、レゾルバの出力角度（レゾルバ角）、モータへ印加する電圧を求める角度（電気角）は、極数の関係で等しくない場合があるため、注意が必要です。本資料における用語の定義は以下のとおりです。

- 機械角　　モータの機械的な軸角度
- レゾルバ角　R/D コンバータから出力される角度
- 電気角　　モータに印加する電圧を求める角度
- レゾルバ極数　機械角とレゾルバ角の比（機械角：レゾルバ角＝１：レゾルバ極数)
- モータ極対数　機械角と電気角の比（機械角：電気角＝１：モータ極対数)

例：レゾルバ極数２、モータ極対数４の場合

モータの機械軸が１回転する間に、レゾルバ角は２回転し、モータへの電圧は４回転します。この場合、制御装置では、レゾルバ角を２倍（モータ極対数/レゾルバ極数）して、モータへの印加電圧を計算します。角度オフセットなども極数を考慮する必要があります。

ブラシレス DC モータで、モータ極対数を大きくする理由は、トルク（モータの回転力）を大きくすることができるためです。VR レゾルバの極数が２以上のため、機械角と電気角・レゾルバ角が等しいことはあまりありません。一方レゾルバ極数とモータ極対数が同じ場合は、電気角とレゾルバ角は等しくなります。

図 2-8 にレゾルバ極数=２、モータ極対数=4 の場合の角度関係の例を示します。

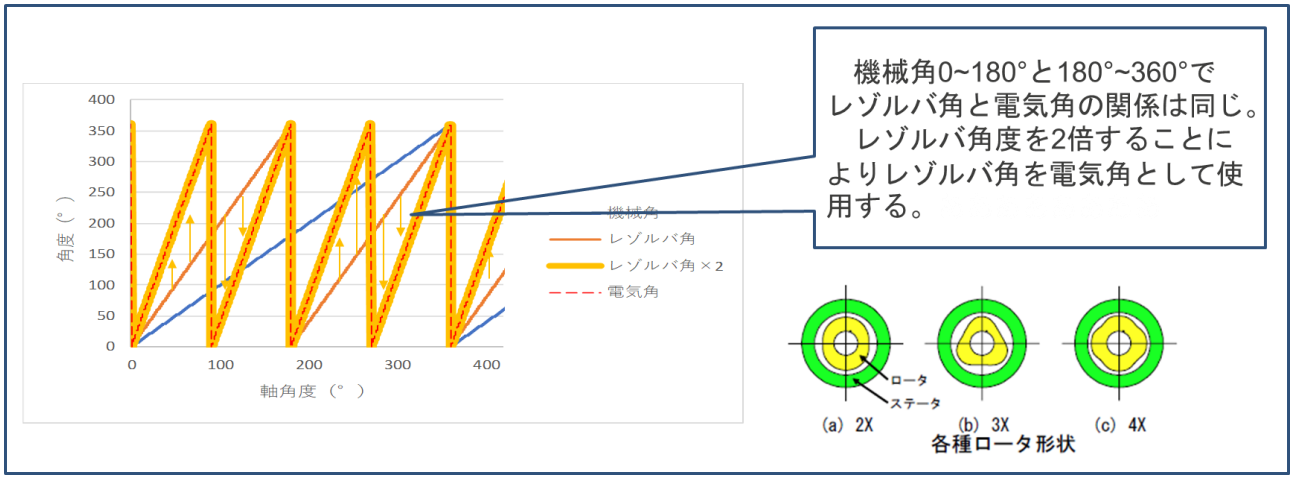


図 2-8 極数と角度の関係

レゾルバの極数が大きいと、機械角の絶対値が分からなくなります（機械角 X 度と X+180 度が区別できません）。しかしモータ制御用途では、モータの極対数≧レゾルバ極数であれば、相対角度で回転制御の問題にはなりません。

なお機構上、VR レゾルバの極数は 2 以上の値を取ります。

2.3.2 誤差の発生・発生要因

R/D コンバータの入力信号が理想的でない場合、算出角度に誤差を生じます。誤差の主な要因は下記のものです。

- Sin 信号と Cos 信号の振幅がそろっていない。
- Sin 信号、あるいは Cos 信号にオフセットがのっている。
- Sin 信号、Cos 信号、Ref 信号の間に大きな位相差がある。
- Sin 信号、Cos 信号が歪んでいる。
- レゾルバが傾いて取り付けられている。

これらが要因の場合、誤差は回転ごとに周期をもつ場合が多く見られます。図 2-9 に Sin 信号と Cos 信号の振幅が合致していない場合の算出角度を示します。1 回の回転につき誤差が 2 周期の割合で発生している様子を読み取ることができます。

算出角度に誤差がみられる場合、原因を究明して是正する等、対策を講じることが必要です。

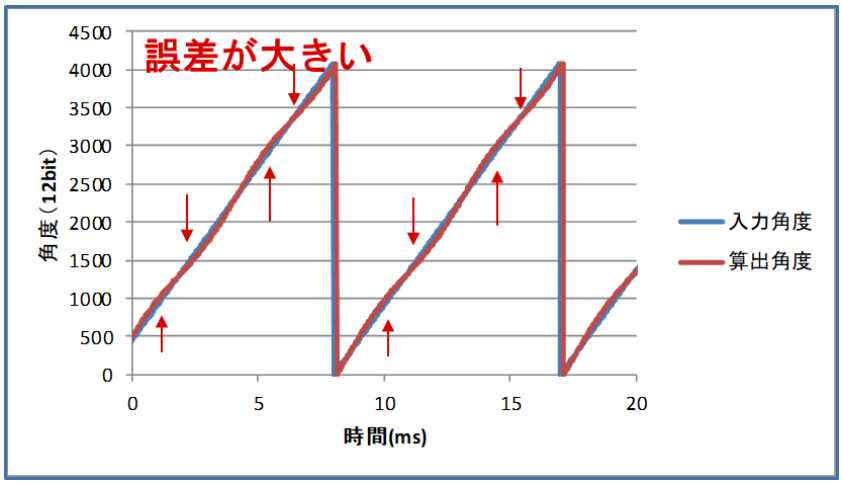


図 2-9 振幅が合致しない場合の算出角度

3. RDC3AL の使用方法

3.1 初期設定フロー

以下のフローチャートに従って初期設定を行ってください。

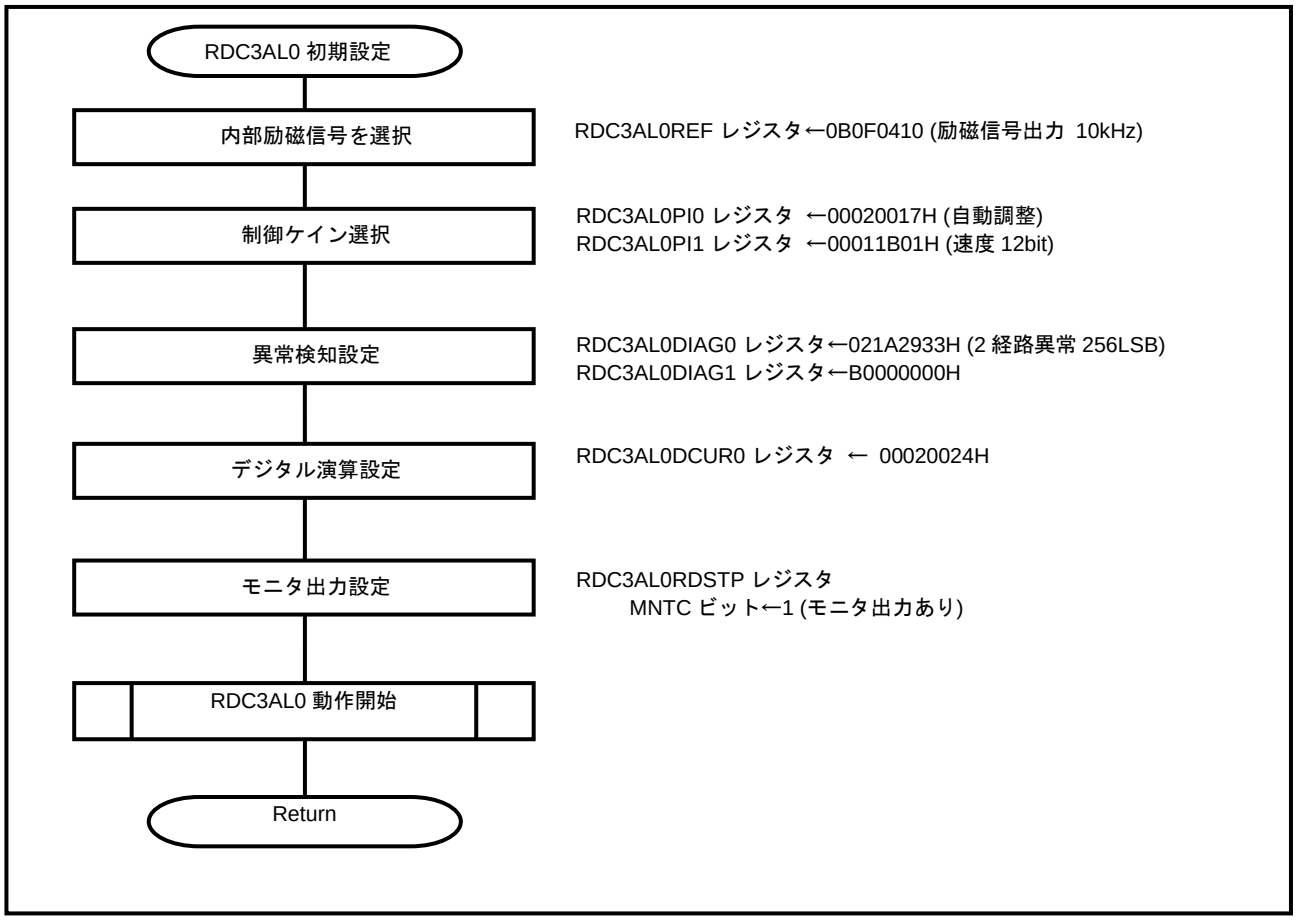


図 3-1 RDC3AL の初期設定

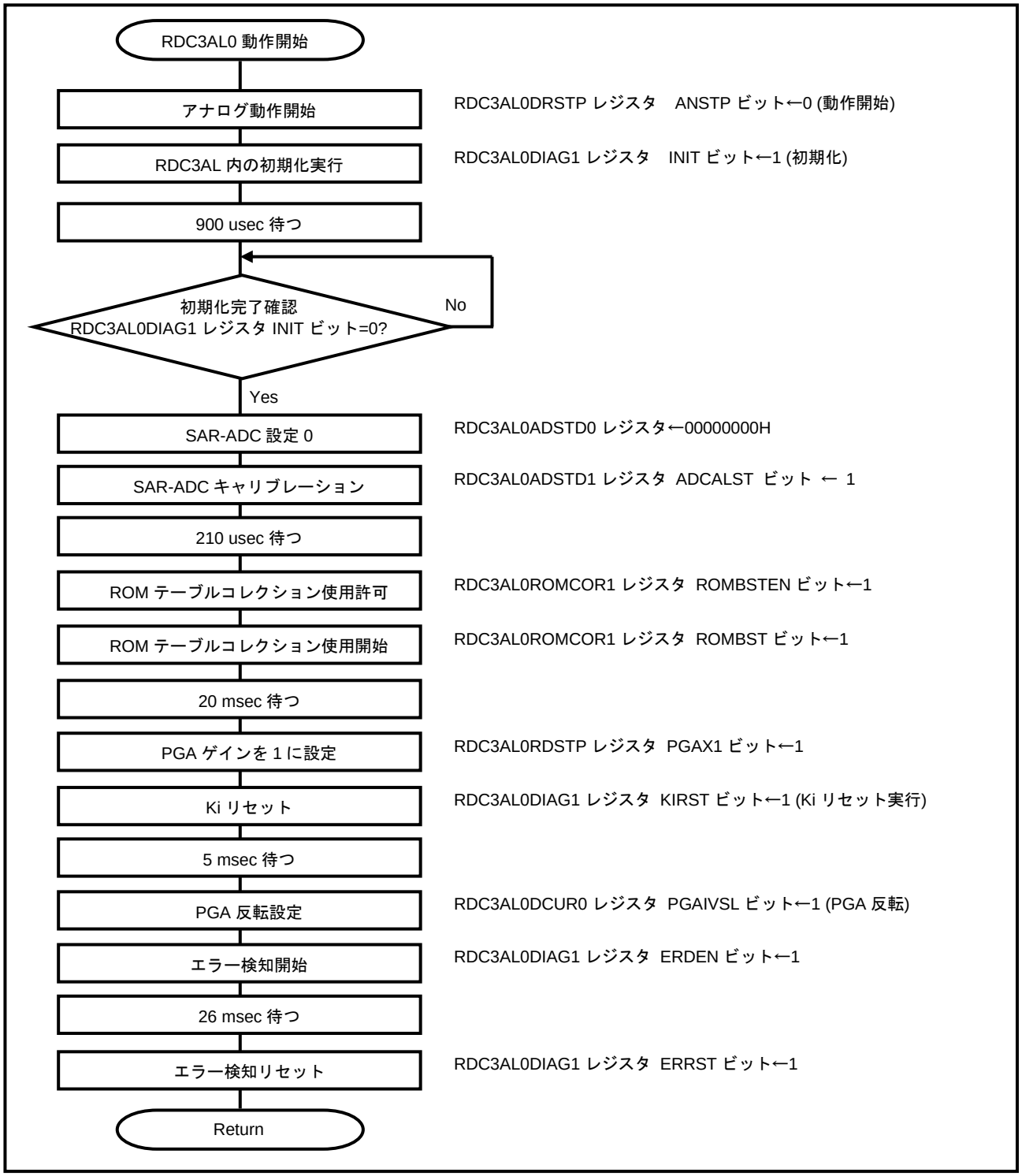


図 3-2　RDC3AL の初期設定

3.2 RDC3A 使用方法補足

3.2.1 制御偏差判定クロック

ユーザーズマニュアルでは制御偏差判定クロックを励磁周期以上に設定するように記載しています。追従できないなどの問題が生じる場合、動作を安定させるために制御偏差判定クロックはより長い値を選択してください。

3.2.2 Ki リセット時の入力信号振幅

SINMNT、COSMNT 信号振幅がユーザーズマニュアルで指定している振幅より小さい状態で Ki リセットされますと、正常ではない信号に角度追従しようとします。その後 SINMNT、COMMNT 信号振幅が正常になったとしても、角度追従できない、もしくは、角度追従までに非常に長い時間が必要となります。

3.2.3 強制ゲイン時の各種ゲイン値

強制ゲイン制御のゲインは AGC12 段階が選択され、最初の Kv ゲインは最大(x128)となります。強制ゲイン制御の間は AGC に従って Kv ゲインは自動で決まります。また Ki、Kp ゲインは強制ゲイン制御専用の値に固定されます。

3.3 RDC3AL の使用例

3.3.1 仕様概要

本使用例は、VR レゾルバを励磁し、出力されるレゾルバ信号から角度を算出します。

RDC3AL0 を 10kHz 励磁出力、VR レゾルバモード、最大角速度 240000rpm（12bit 精度）、自動ゲイン調整に設定し、RDC3AL0 の動作を許可に設定します。RDC3AL0 の動作許可処理で、動作安定待ち処理を行っているため、RDC3AL0 初期化関数終了までは角度の取得は行いません。メイン関数内で角度を取得し、メモリに格納します。

3.3.2 システム構成

図 3-3 にシステム構成を示します。

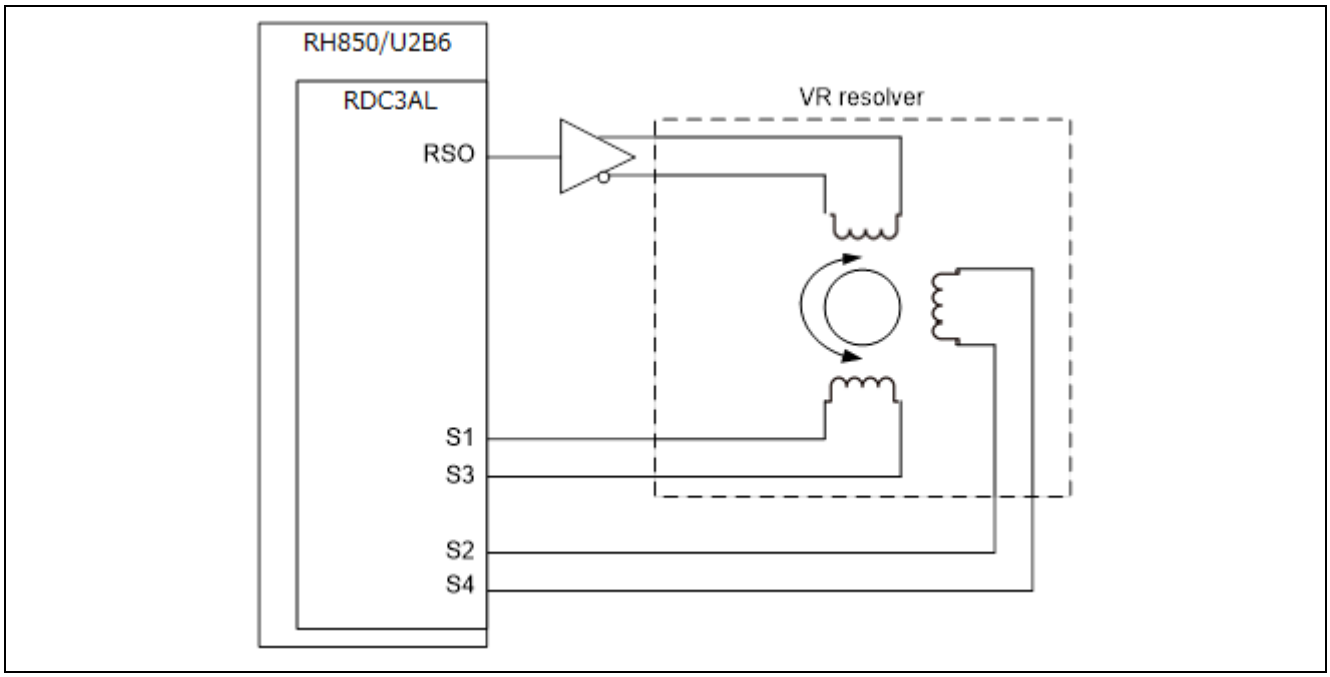


図 3-3 システム構成

3.3.3 初期設定説明

・モジュール説明

以下に、本初期設定例のモジュール一覧を示します。

表 3-1 モジュール一覧

関数名	機能
main_pm1	各関数の呼び出しを行います。
init_rdc3al0	RDC3AL0 初期設定
ena_rdc3al0	RDC3AL0 起動処理

・レジスタ設定

以下に、本動作例での各機能のレジスタ設定を示します。

表 3-2 RDC3AL レジスタの設定例 (1/2)

レジスタ名/略称	設定値	機能
励磁設定レジスタ / RDC3AL0REF	0x0B0F0410	EXFS2[3:0] b0000：励磁周波数選択ビット 2 EXFS[4:0] b01111：励磁信号周波数選択ビット ※EXFS と組み合わせで 10kHz 選択 RFEXS 1（default）：抽出機能有効 励磁成分抽出機能有効ビット SENS 1（default）：VR レゾルバ 使用センサー選択ビット EXIO 1：電圧励磁出力 RSO, COM 入出力切り替えビット EXF15 0：励磁信号周波数は EXFS[4:0]で設定された周波数 COMSTS[2:0] b000：ストップしない。AD コンパレータストップ機能選択ビット PLSNFS 1：励磁抽出ノイズフィルタ有り
制御ゲイン選択レジスタ 0 / RDC3AL0PI0	0x00020017	KVMS[1:0] b00(default) : AGC12 段階 1 段シフト方式 Kv ゲイン方式選択ビット DVW[1:0] b00(default) : ×1 ERR 偏差重みづけビット KPF 0(default) : Kp ゲインを 4 倍しない。Kp ゲイン 4 倍ビット KPS[1:0] b00(default) : ×1 Kp ゲイン選択ビット KIS[2:0] b000(default) : ×1 Ki ゲイン選択ビット DEVCK[2:0] b010(default) : 200 μs 周期クロック 制御偏差判定用クロック選択ビット LKVS[3:0]b0000(default) : ×1 低 Kv ゲイン選択ビット HKVS[3:0]b0000(default) : ×32 高 Kv ゲイン選択ビット BWCS 1(default) : 1：LPGS[2:0]ビットにより、PI 補償器の設定を行います。PI 補償器設定方法を選択します。 LPGS[2:0] b111 : 自動調整選択 ループゲイン設定ビット
制御ゲイン選択レジスタ 1 / RDC3AL0PI1	0x00011B01	SAGD 0(default)：強制ゲイン制御機能を使用します。短時間 BIST 復帰強制ゲイン制御機能ディスエイブルビット AGCD 0(default)：強制ゲイン制御機能を使用します。強制ゲイン制御機能ディスエイブルビット AGDS 1(default)：励磁異常のとき及び Ki リセット時は Kv が高ゲインに遷移しない。 AGST[3:0] b0000(default) : ×4 短時間 BIST 復帰初期 AGC ゲインビット AGC Kv 高ゲイン遷移制限ビット HKVLM[3:0] b0001(default) : X64 (AGC 7 レベルで設定可能) LKVLM[3:0] b1011(default) : X0.0625 (AGC 7 レベルで設定可能) MAXVS[2:0] b001(default) : 励磁異常のとき及び Ki リセット時は Kv が高ゲインに遷移します。AGC Kv 高ゲイン遷移制限ビット最大角速度選択 最大角速度 240000rpm 分解能 12bit

表 3-3 RDC3AL レジスタの設定例 (2/2)

レジスタ名/略称	設定値	機能
異常検出レジスタ 0/ RDC3AL0DIAG0	0x021A2933	P2ANT [1:0] b10：±32LSB（@12bit 分解能）2 経路変換異常閾値設定ビット EXCETH[7:0] 1Ah(default)：0.102×RVCC (Vpp) レゾルバ信号異常比較閾値設定ビット SGBTH[7:0] 29H(default)：0.58×RVCC (V) 断線異常比較閾値設定ビット(VR レゾルバ) SGBDTH[7:0] 33H(default)：0.85×RVCC (V) 断線異常比較閾値設定ビット(DC レゾルバ)
異常検出レジスタ 1 / RDC3AL0DIAG1	0xB0000000	CVEDS 0(default)：RD 変換異常検知信号の高速回転に対応した回路を選択します。変換異常検出回路選択ビット EDPS[1:0] b11(default)：7.37msec R/D 変換異常判定時間選択ビット VGASL[1:0] b00：天地絡検知検出なし VGST 0(default)： 天地絡検知開始ビット
デジタル演算レジスタ 0/ RDC3AL0DCUR0	0x00020024	AVE4[1:0] b01：励起周波数が 30kHz 以下の場合
RDC 停止レジスタ/ RDC3AL0RDSTP	0x00000100	MNTC 1：sinmnt、cosmnt の外部出力端子をオープンにします。 sinmnt、cosmnt 外部端子設定ビット ANSTP 0：アナログ回路動作 RD コンバータ動作
12-Bit SAR-ADC デジタル回路ブロック設定レジスタ 0 / RDC3AL0ADSTD0	0x00000000	ADCALCK[1:0] b00(default)：ADC キャリブレーション設定 0
12-Bit SAR-ADC デジタル回路ブロック設定レジスタ 1 / RDC3AL0ADSTD1	0x00010000	ADCALST 1：ADC キャリブレーション実行
自動 ROM テーブル収集レジスタ 1 / RDC3ALnROMCOR1	0x00001001	ROMBSTEN 1：ROM テーブルコレクション使用許可 ROMBST 1：ROM テーブルコレクション使用開始
RDC 停止レジスタ/ RDC3AL0RDSTP	-	PGAX1 1：PGA ゲインを 1 に設定
異常検出レジスタ 1/ RDC3AL0DIAG1	-	INIT 1：RDC3AL0 内を初期化 KIRST 1：Ki リセット Ki 積分器およびアキュムレータ積分器の値が“0” ERDEN 1： 異常検知開始 SQERST 1：二乗和振幅異常励磁カウンタリセット ERRST 1： エラー信号リセット
デジタル演算レジスタ 0/ RDC3AL0DCUR0	-	PGAIVSL[1:0] 1：PHI 出力がしきい値角度を超えた後に励起クロスが発生したときに PGA を反転する
エンコーダレジスタ 1 /RDC3AL0ENC1	-	ANG[15:0] 角度データ 角度が 16 ビット幅で格納される。 読み出し値を n とすると、角度は $360/2^{16}\times n$ （°）

4. RDC3AL の異常検出機能

4.1 異常検出機能概要

4.1.1 R/D コンバータの構成

レゾルバと R/D コンバータの構成は図 4 1 のようになっています。レゾルバからの入力信号部分と入力信号からデジタル角度に変換するトラッキングループに分けられます。

RDC3AL ではそれぞれに対し、異常を検出する機能を有しています

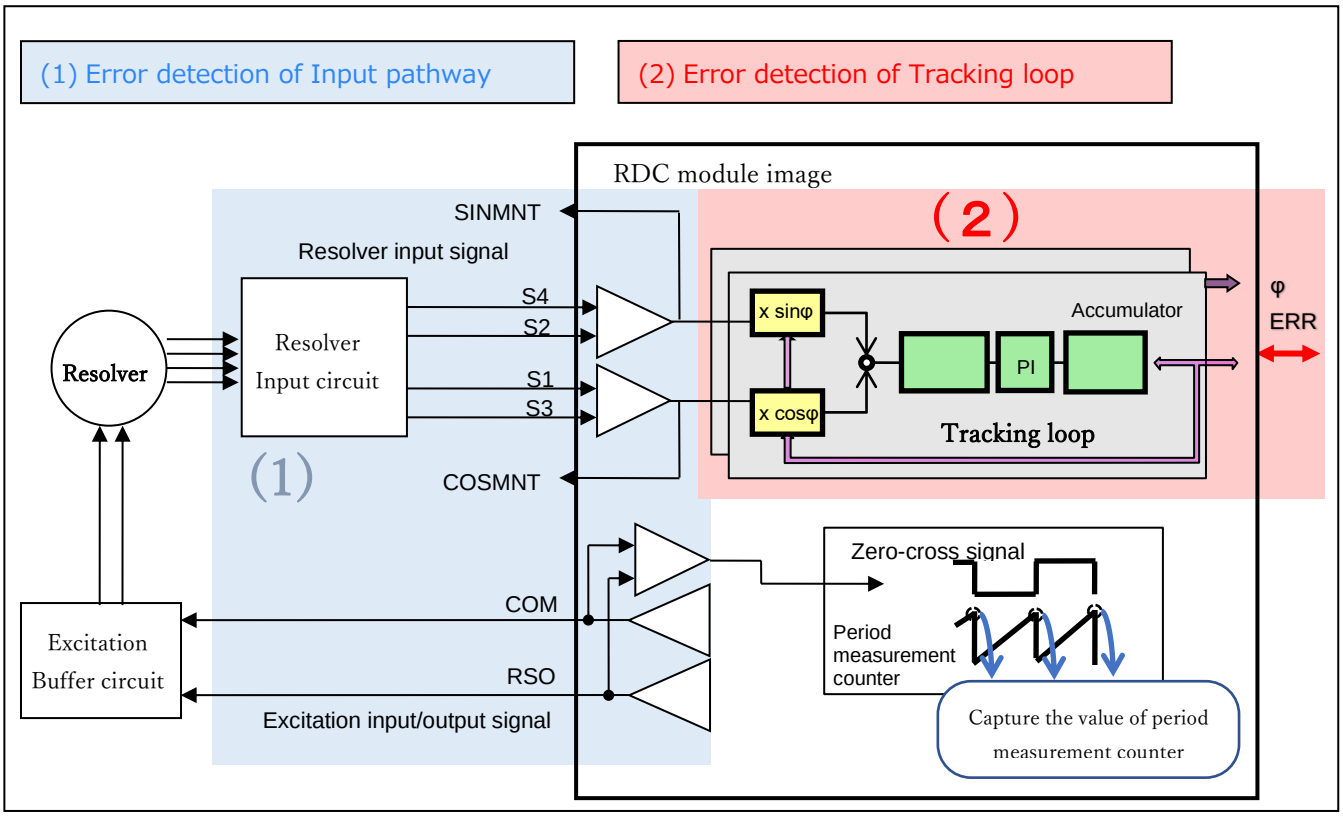


図 4-1 R/D コンバータの簡易構成図

4.1.2 入力経路の異常検出

入力経路の異常検出は下記図に示す５種類があります。

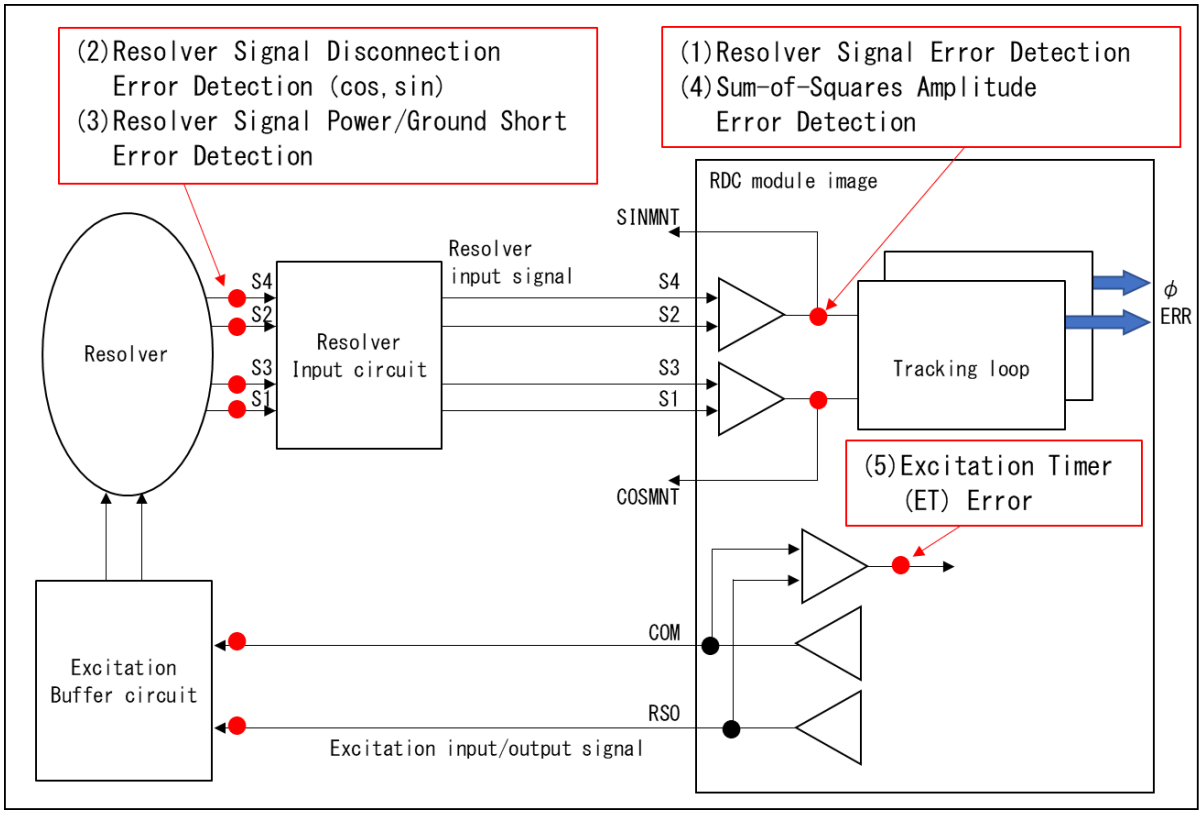


図 4-2 入力回路の異常検出

それぞれの概要は以下の通りです。

4.1.2.1 レゾルバ信号異常検出

励磁信号のエラーに起因するレゾルバ信号の振幅の縮小を検出します。エラーは、閾値内のレゾルバ信号が一定時間続くと発生します。

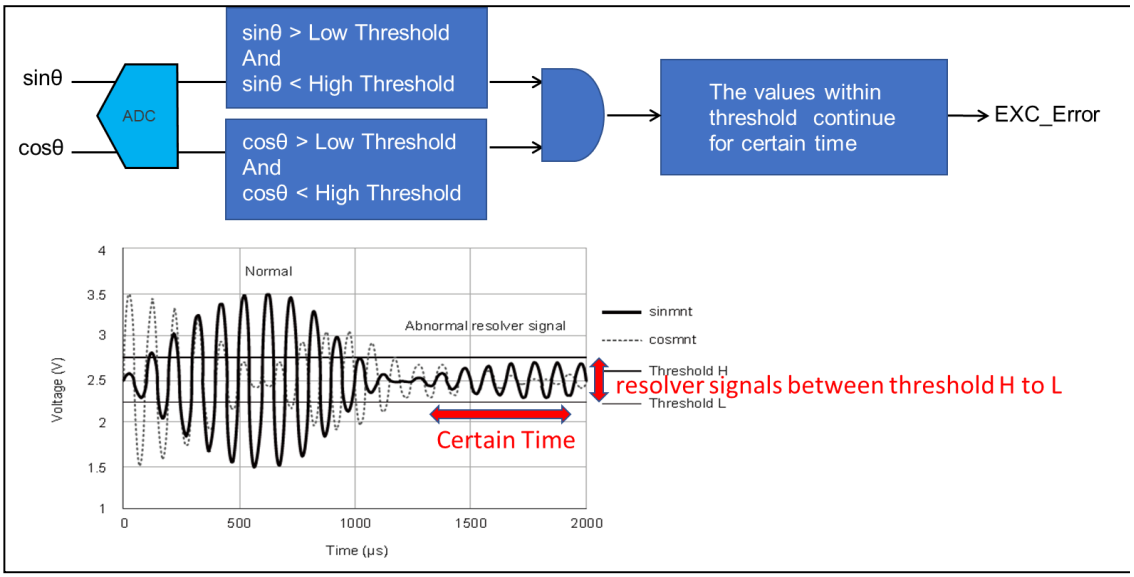


図 4-3 レゾルバ信号異常検出の概要

4.1.2.2 レゾルバ信号断線異常検出（cos、sin）

レゾルバ信号の断線を検出します。

VR レゾルバの場合は SINMNT、COSMNT のコモン電位(振幅の中心電位)が閾値を超えた期間が続くと異常と検出します。DC レゾルバの場合は SINMNT、COSMNT の電位が閾値を超えた場合に異常と検出します。

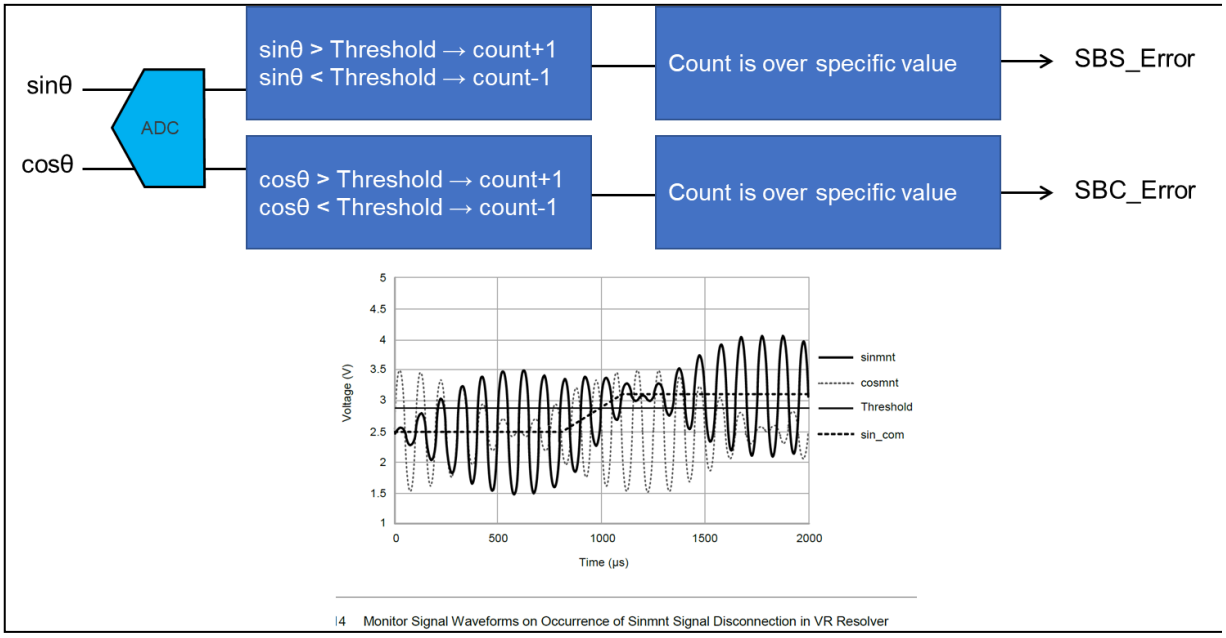


図 4-4 レゾルバ信号断線異常検出（cos,sin）の概要

4.1.2.3 レゾルバ信号 天絡地絡異常検出

レゾルバ端子(S1、S2、S3、S4、RSO、COM)が電源あるいはグランドにショートしたことを R/D コンバータのアナログ端子で検出する機能です。アナログ端子 6 本を巡回監視します。

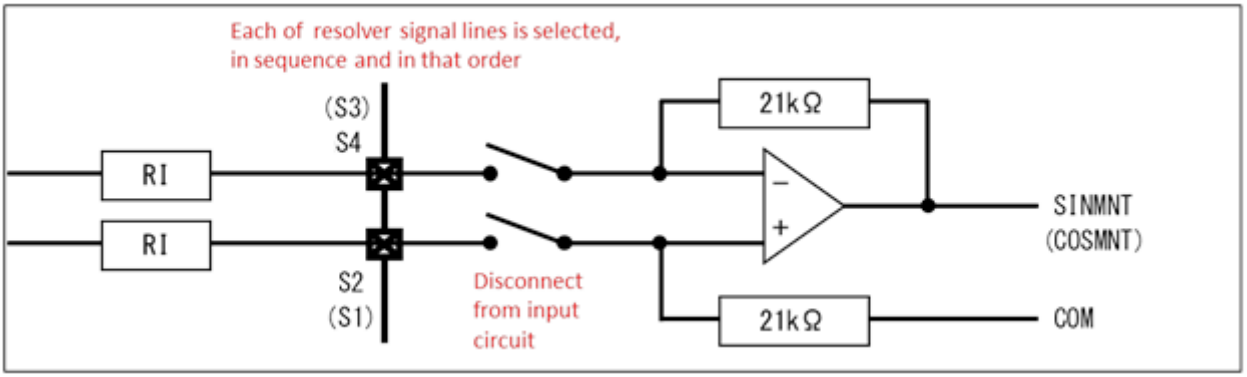


図 4-5 レゾルバ信号天絡地絡異常検出の概要

4.1.2.4 二乗和振幅異常検出

レゾルバ信号の振幅における変調、歪み、ノイズを検出します。

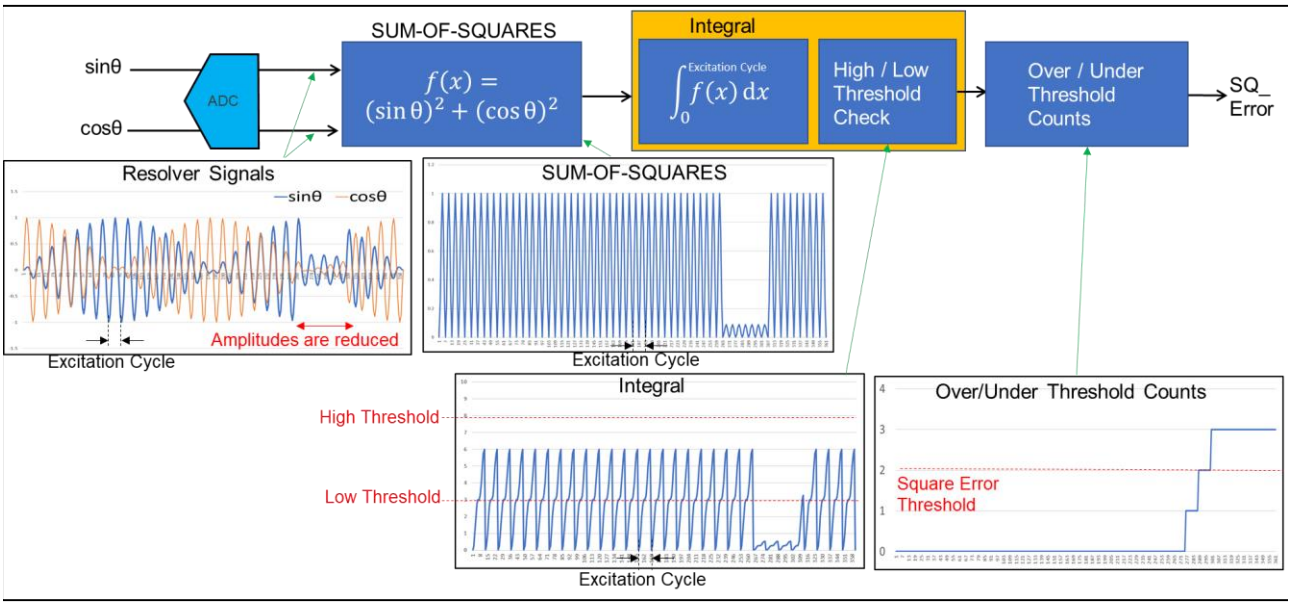


図 4-6 二乗和振幅異常検出の概要

4.1.2.5 励磁周期常検出

励磁信号の周期を測定します。励磁信号の周期が期待値を超えている時エラーが発生します。

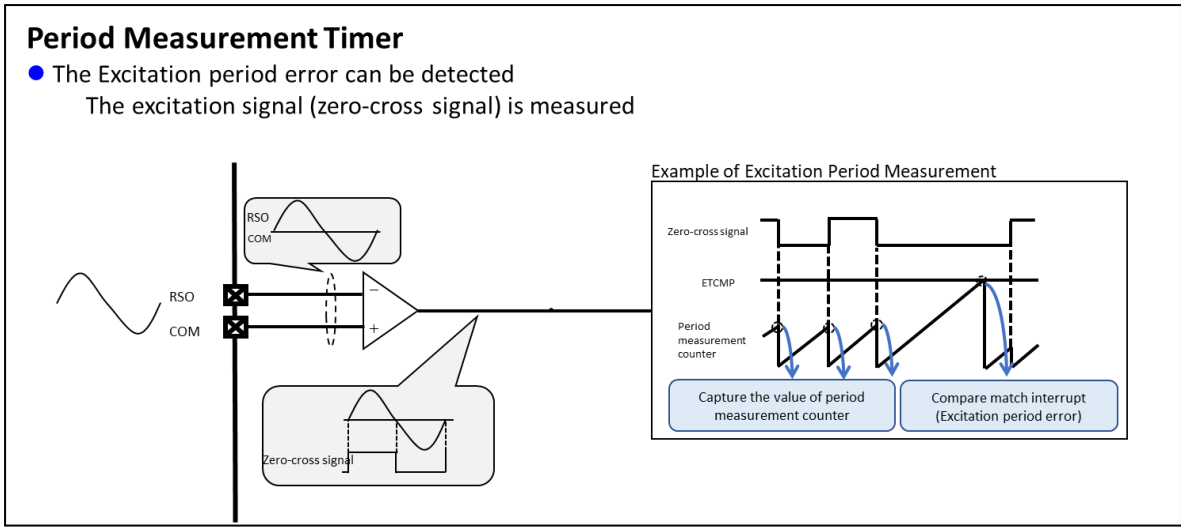


図 4-7 励磁周期異常検出の概要

4.1.3 トラッキングループの異常検出

トラッキングループの異常検出は下記図に示す２種類があります。

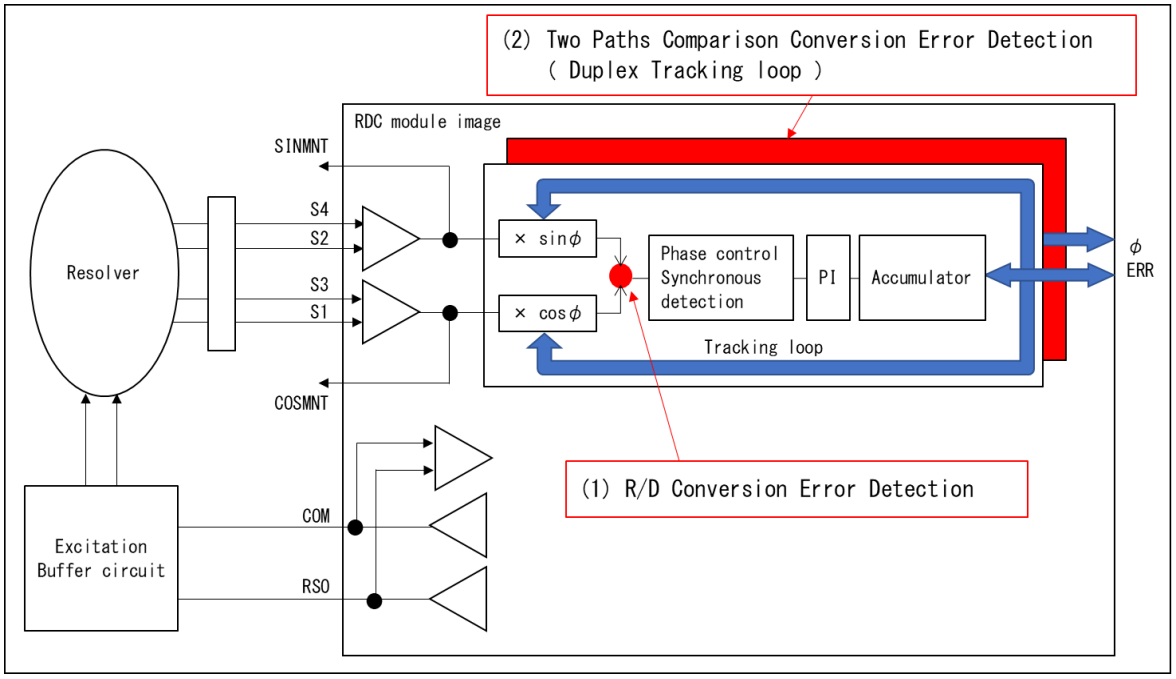


図 4-8 トラッキングループの異常検出

それぞれの概要は以下の通りです。

4.1.3.1 R/D 変換異常検出

R/D 変換ループの制御偏差を監視し、R/D 変換機能の演算エラーを検出します。

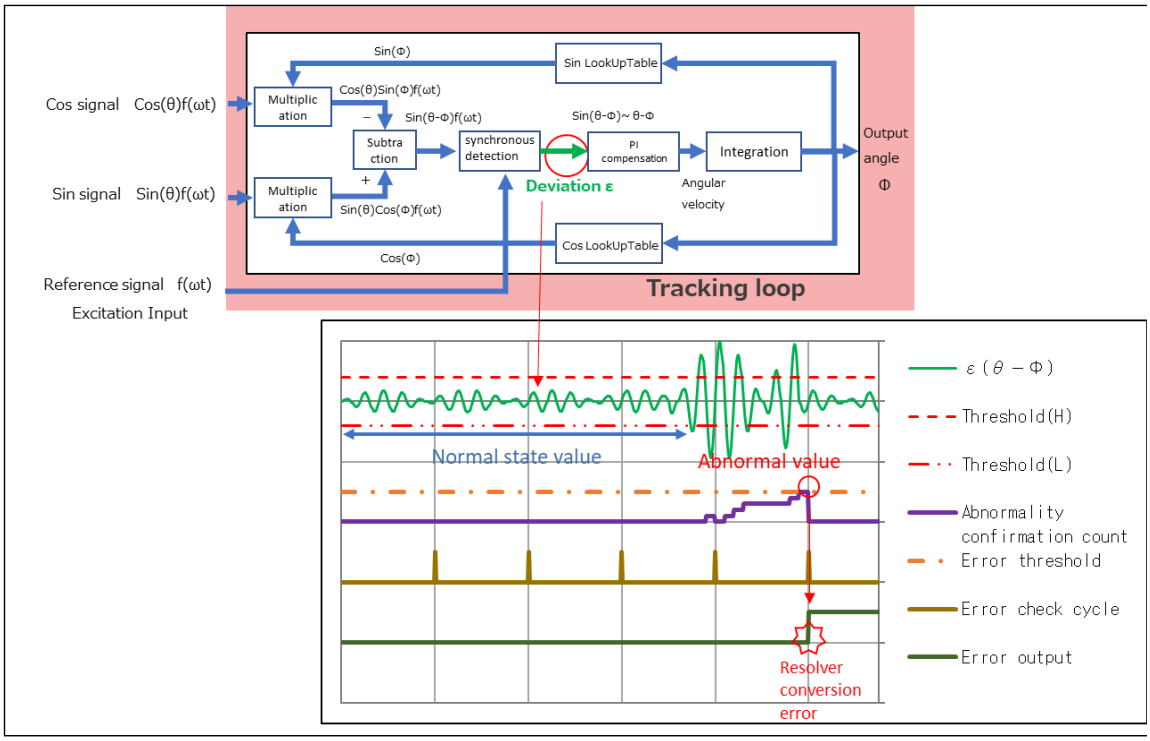


図 4-9 R/D 変換異常の概要

4.1.3.2 2 経路比較変換異常検出

この機能は、2 つの変換経路での角度変換の結果を比較することにより、冗長性を監視します。図 4-10 の phi0 と phi1 は常に比較され、監視されます。 phi0 と phi1 の結果が異なる場合にエラーが発生します。

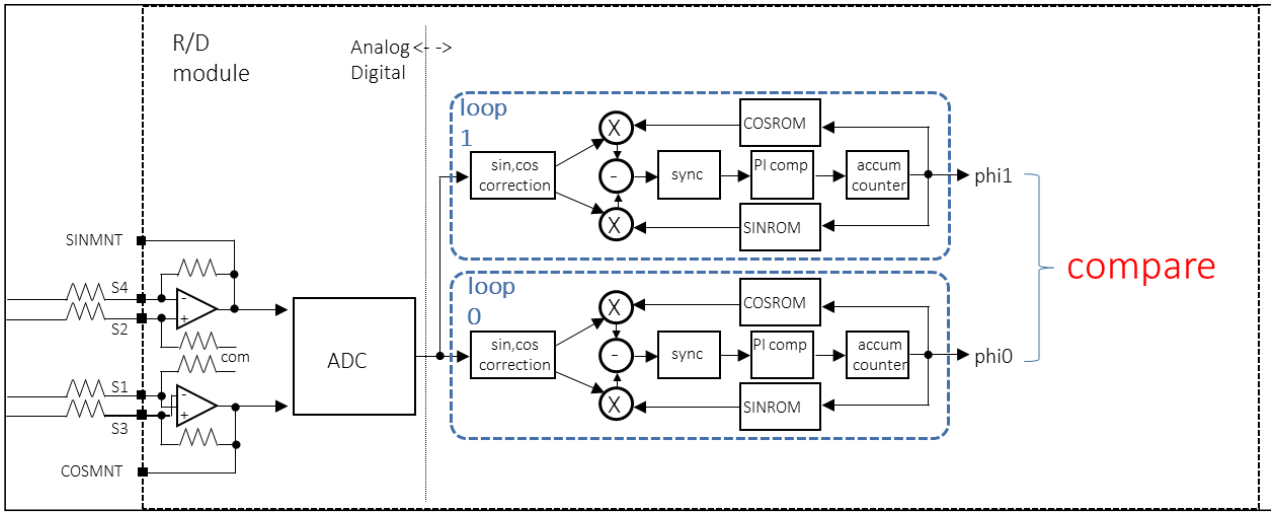


図 4-10 2 経路比較変換異常検出の概要

4.2 異常検出機能詳細

RDC3AL の異常検出方法の詳細について説明します。

4.2.1 レゾルバ信号異常検出

レゾルバに入力される励磁信号の異常によって起こるレゾルバ信号の振幅の縮小を検出します。レゾルバ信号異常が検出されると、RDC 異常割り込み要求信号が“H”になります。

モニタ出力(SINMNT と COSMNT の両方)の振幅電圧が閾値を下回った状態が約 220 μs 以上継続した場合にレゾルバ信号異常と判定します。励磁信号を持たない DC レゾルバの場合でもモニタ出力の振幅電圧が閾値を下回った状態が約 220μs 以上継続した場合にレゾルバ信号異常と判定します。

閾値は「 EXCETH[7:0]×RVCC / 256 (Vpp) 」で設定することができます。

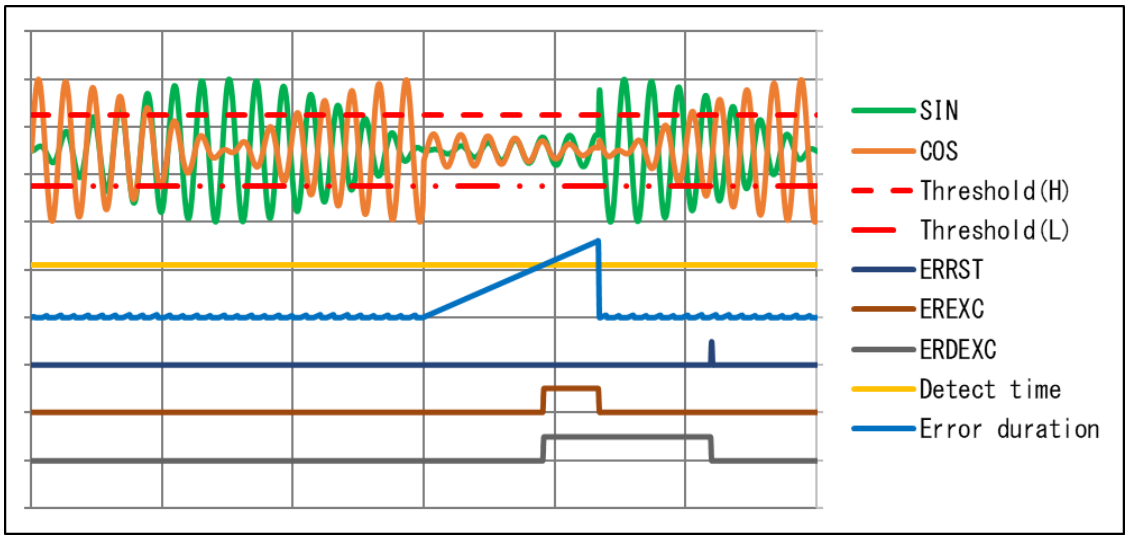


図 4-11 VR レゾルバでのレゾルバ信号異常検出

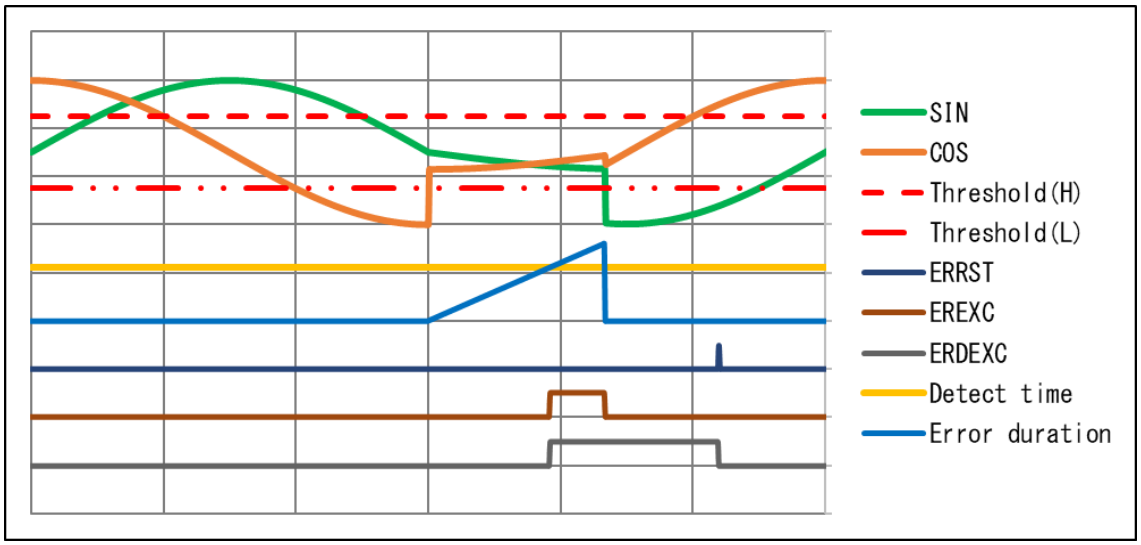


図 4-12 DC レゾルバでのレゾルバ信号異常検出

4.2.1.1 レジスタ設定例

レゾルバ信号異常検出機能を使用する時のレジスタ設定例を以下に示します。

表 4-1 レゾルバ信号異常検出使用時のレジスタ設定例

レジスタ名/略称	ビット名/略称	設定値	機能
異常検知レジスタ 0/ RDC3ALnDIAG0	レゾルバ信号異常比較閾値設定ビット/ EXCETH[7:0]	0x1A	レゾルバ信号異常検知閾値を設定します。左記設定値は 0.102×RVCC(Vpp) です。
異常検知レジスタ 1/ RDC3ALnDIAG1	異常検知開始ビット / ERDEN	1	本ビットが“1”になってから 26 msec 後に異常検知出力マスクが解除され、異常検知が有効となります。
	エラー信号リセットビット / ERRST	1	1 にセットすると異常検知出力レジスタ 1 が 0 にリセットされます。ただし異常が継続している場合は 0 にリセットされず 1 が立ったままとなります。
異常検知レジスタ 2/ RDC3ALnDIAG2	レゾルバ信号異常選択ビット / EREXCS	0	レゾルバ信号異常発生時に ERR、ERHD、EREXC、ERDEXC に 1 を立てます。

4.2.2 レゾルバ信号断線異常検出

レゾルバ信号（S1～S4）ラインの断線（接触不良含む）を検出します。レゾルバ信号断線異常が検出されると、RDC 異常割り込み要求信号が“H”になります。

VR レゾルバ設定（SENS=1 設定時）を選択している場合、モニタ信号出力（SINMNT, COSMNT）のコモンレベル変動が設定した閾値を超えているかを検出します。この閾値を超えた場合にレゾルバ信号断線異常と判定します。閾値は「 0.5×RVCC＋SGBTH[7:0]×RVCC / 512 (V) 」で設定することができます。

DC レゾルバ設定(EXIO=1,SENS=0 設定時)を選択している場合、モニタ信号の DC レベルが閾値を超えているかを検出します。閾値は「 0.5×RVCC＋(SGBDTH[7:0]×8＋1024)×RVCC / 4096 (V) 」で設定することができます。

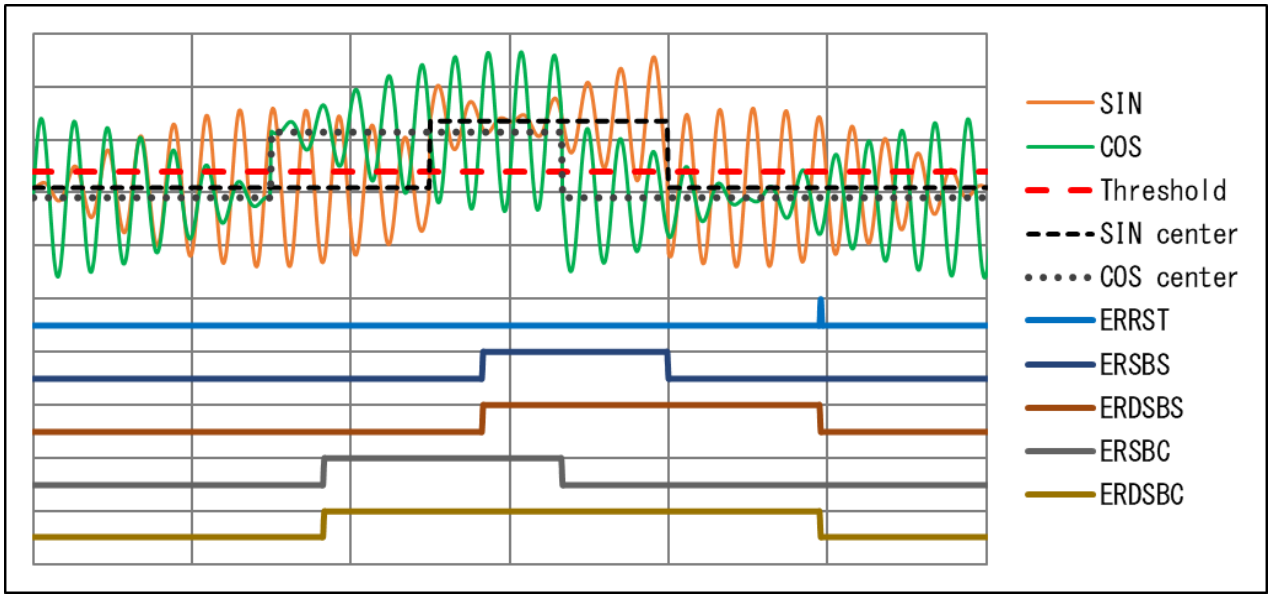


図 4-13 VR レゾルバでのレゾルバ信号断線異常検出

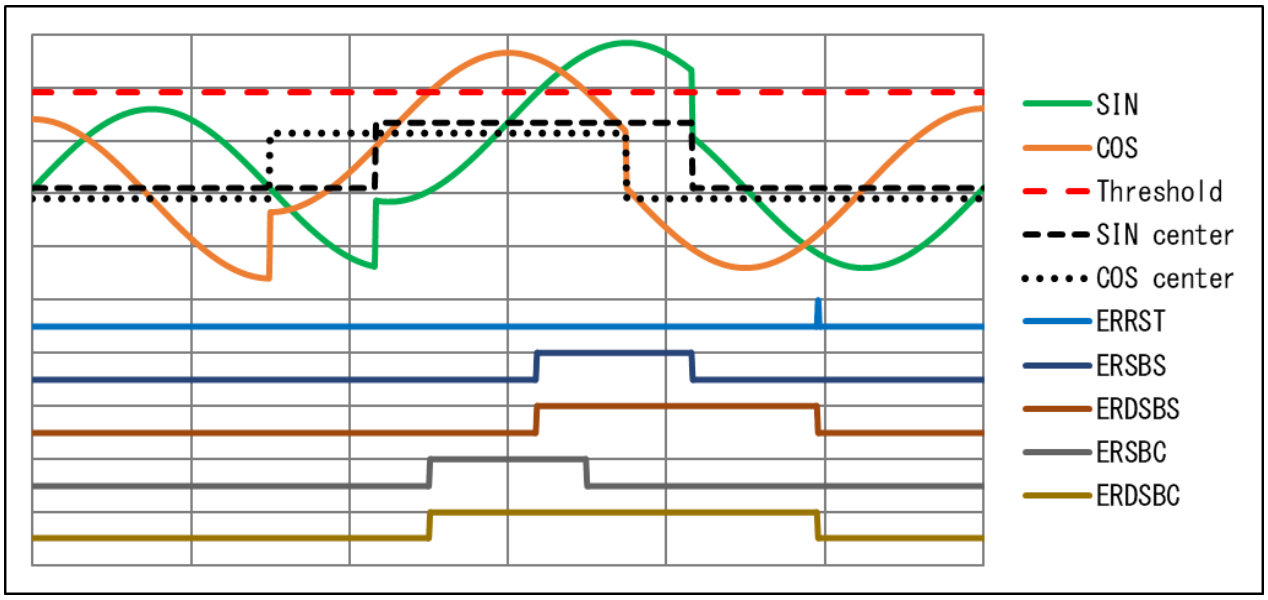


図 4-14 DC レゾルバでのレゾルバ信号断線異常検出

4.2.2.1 レジスタ設定例

レゾルバ信号断線異常検出機能を使用する時のレジスタ設定例を以下に示します。

表 4-2 レゾルバ信号断線異常検出使用時のレジスタ設定例

レジスタ名/略称	ビット名/略称	設定値	機能
異常検知レジスタ 0/ RDC3ALnDIAG0	VR レゾルバ断線異常比較閾値設定ビット / SGBTH[7:0]	0x29	VR レゾルバ使用時の断線異常検知閾値を設定します。 左記設定値は 0.58×RVCC(V) です。
	DC レゾルバ断線異常比較閾値設定ビット / SGBDTH[7:0]	0x33	DC レゾルバ使用時の断線異常検知閾値を設定します。 左記設定値は 0.85×RVCC(V) です。
異常検知レジスタ 1/ RDC3ALnDIAG1	異常検知開始ビット / ERDEN	1	本ビットが“1”になってから 26 msec 後に異常検知出力マスクが解除され、異常検知が有効となります。
	エラー信号リセットビット / ERRST	1	1 にセットすると異常検知出力レジスタ 1 が 0 にリセットされます。ただし異常が継続している場合は 0 にリセットされず 1 が立ったままとなります。
異常検知レジスタ 2/ RDC3ALnDIAG2	断線異常(cos)選択ビット / ERSBCS	0	断線異常（cos）発生時に ERR、ERHD、ERSBC、ERDSBC に 1 を立てます。
	断線異常(sin)選択ビット / ERSBSS	0	断線異常（sin）発生時に ERR、ERHD、ERSBS、ERDSBS に 1 を立てます。

4.2.3 R/D 変換異常検出

R/D 変換ループの制御偏差を監視し、R/D 変換機能の動作異常を検出します。R/D 変換異常が検出されると、RDC 異常割り込み要求信号が“H”になります。

内部制御偏差（ε）が設定した閾値を上回る、または下回ると制御偏差過大と認識します。閾値は固定値となっています（詳細はユーザーズマニュアルの「39.5.3 異常検出の特性」を参照してください）。RDC3ALnDIAG1 レジスタの EDPS[1:0]ビットで設定した判定時間の 50% を超えた場合に R/D 変換異常と判定します。

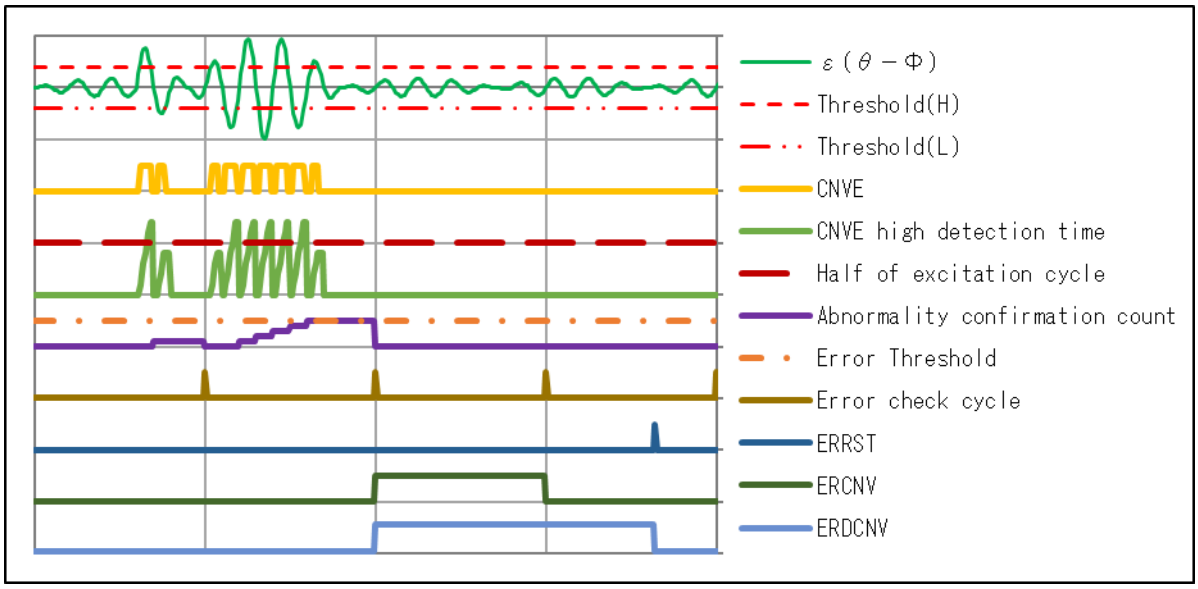


図 4-15 R/D 変換異常検出

「内部制御偏差ε」はユーザーズマニュアルの 26.2.3 の動作原理(図 4-16 参照)を説明している式の赤枠部分になります。θとΦに差がある場合は励磁周期の正弦波状になります。また、青枠で示した側のεは PI 補償器のゲインを決める際に使用している制御偏差値になります。

26.2.3 動作原理

RDC3A モジュールの動作原理について説明します。

RDC3A は、トラッキングループ方式により、レゾルバ（アナログ信号）をデジタル信号に変換（R/D 変換）します。

トラッキングループは 20MHz で動作します。

励磁信号 f(t)を励磁コイルに入力することにより、モータの回転子の角度（θ）に応じてレゾルバから f(t)・sin θ , f(t)・cos θ が出力されます。これをそれぞれ RDC3AnS2-RDC3AnS4, RDC3AnS1-RDC3AnS3 端子に入力します。

これらを増幅して、乗算型 D/A コンバータへ入力します。一方、アキュムレータの出力を COSROM（または SINROM）をとおし、cos φ（または sin φ）を生成し、それぞれに対応する D/A コンバータへフィードバックします。その後、両者 D/A コンバータ出力を減算し、

$$f(t)\cdot(\sin\theta\cdot\cos\phi-\cos\theta\cdot\sin\phi)$$

$$\boxed{=f(t)\cdot\sin(\theta-\phi)}=\varepsilon$$

$$\fallingdotseq f(t)\cdot(\theta-\phi)$$

を得ます。この値をコンパレータ（CMP）で 1bit A/D 変換したものがデジタル部に受け渡されます。

同期検波回路において励磁成分 f(t)を取り除き

$$\boxed{\text{制御偏差}=\theta-\phi}$$

を得ます。

図 4-16 ユーザーズマニュアル「26.2.3 動作原理」抜粋

レゾルバ入力角(θ)と R/D 出力角(φ)が離れているときには、sin(θ-φ)が値を持つため、εは励磁周期で振幅を持つ信号となります（図 4-17）。レゾルバ入力角(θ)と R/D 出力角(φ)があっているときには、εは COM(2.5V)近辺の値になります（図 4-18）。

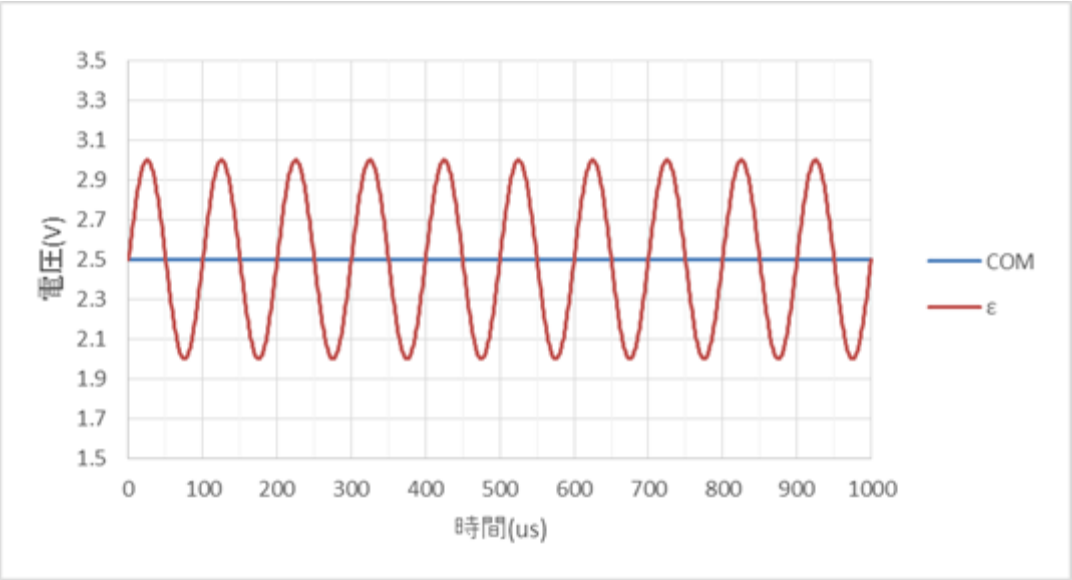


図 4-17 角度がずれているときの内部制御偏差

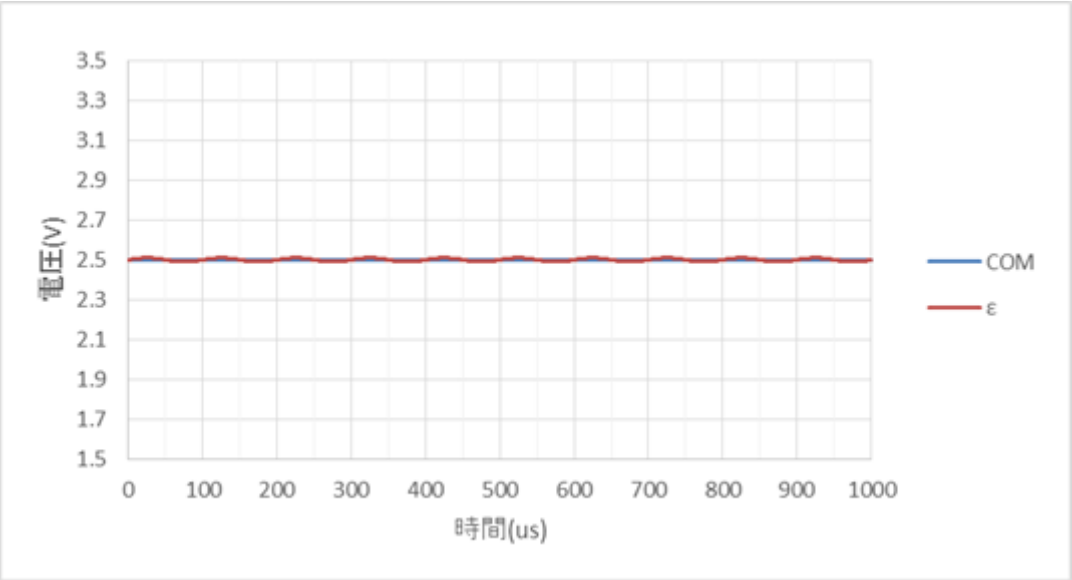


図 4-18 角度があっているときの内部制御偏差

レゾルバ入力角(θ)と R/D 出力角(φ)が離れている、変換異常の状態ではεが振幅を持つので、High 側と Low 側に閾値を設け、その範囲を外れていることを示す CNVE 信号を内部で生成します。 CNVE 信号が 1 のときがεの振幅が大きいときになります。

励磁半周期ごとに CNVE 信号の 1,0 の割合をカウンタ回路により求め、1 の割合が励磁半周期全体の 50%を超えている場合、その励磁半周期は異常、超えていない場合は正常という判定を行っていきます。励磁半周期ごとの正常、異常の判定を EDPS ビットで選択される変換異常判定時間(例 7.37ms)で集計し、異常な半周期の数が全半周期の数の 50%を超えているときに、R/D 変換異常として ERCNV ビット、ERDCNV ビットがセットされます。

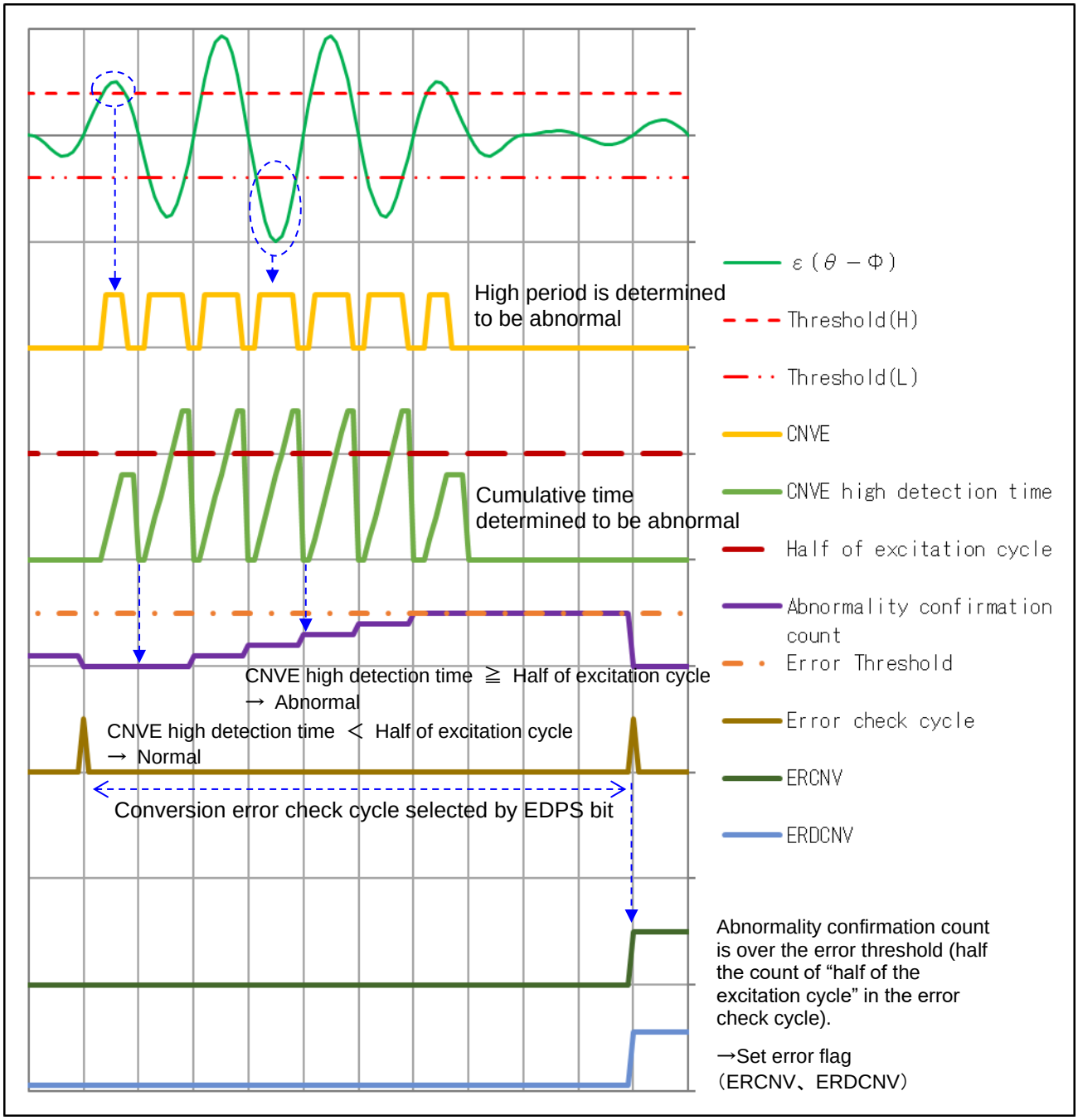


図 4-19 R/D 変換異常検出の原理

4.2.3.1 レゾルバ設定例

R/D 変換異常検出機能を使用する時のレジスタ設定例を以下に示します。

表 4-3 R/D 変換異常検出使用時のレジスタ設定例

レジスタ名/略称	ビット名/略称	設定値	機能
異常検知レジスタ 1/ RDC3ALnDIAG1	変換異常検出回路選択ビット / CVEDS	0	RD 変換異常検知信号の高速回転に対応した回路を選択します。
	R/D 変換異常判定時間選択ビット / EDPS[1:0]	3	R/D 変換異常の判定時間（急加速時回避判定時間選択）を選択します。 11b：7.37 msec
	異常検知開始ビット / ERDEN	1	本ビットが“1”になってから 26 msec 後に異常検知出力マスクが解除され、異常検知が有効となります。
	エラー信号リセットビット / ERRST	1	1 にセットすると異常検知出力レジスタ 1 が 0 にリセットされます。ただし異常が継続している場合は 0 にリセットされず 1 が立ったままとなります。
異常検知レジスタ 2/ RDC3ALnDIAG2	変換異常選択ビット / ERCNVS	0	変換異常発生時に ERR、ERHD、ERCNV、ERDCNV に 1 を立てます。

4.2.4 2 経路比較変換異常検出

2 個の角度変換ループからの角度変換結果を比較することで、変換異常、回路内の故障を検出します。角度変換ループの phi 角度出力と他ループの phi 角度出力を比較し、両者の差が閾値よりも大きい場合、2 経路比較変換異常と判定します。閾値は P2ANT[1:0]ビットで設定可能です。

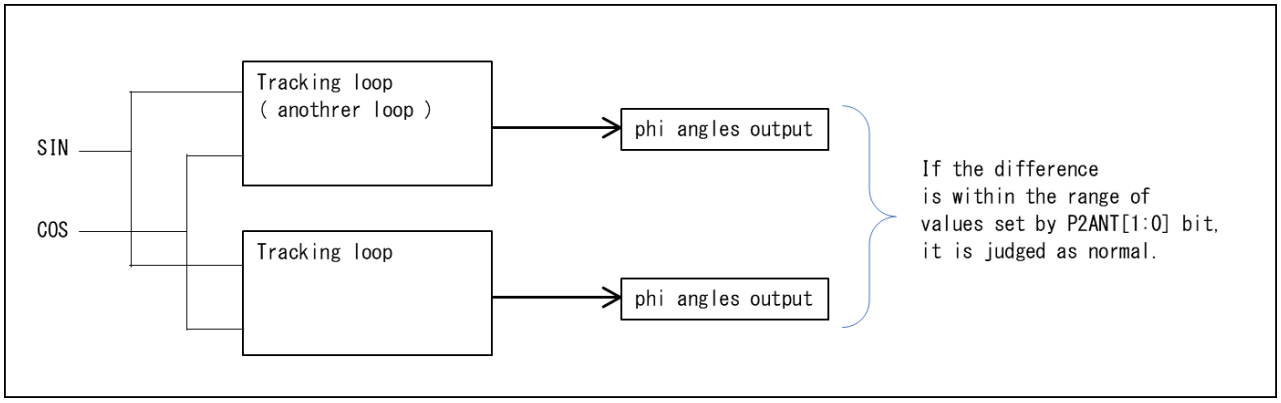


図 4-20 2 経路比較変換異常検出

4.2.4.1 レゾルバ設定例

２経路比較変換異常検出を使用する時のレジスタ設定例を以下に示します。

表 4-4 2 経路比較変換異常検出使用時のレジスタ設定例

レジスタ名/略称	ビット名/略称	設定値	機能
異常検知レジスタ 0/ RDC3ALnDIAG0	2 経路変換異常閾値設定ビット / P2ANT [1:0]	2	角度変換ループと他ループの 2 経路変換異常比較の閾値を±32LSB に設定します。
異常検知レジスタ 1/ RDC3ALnDIAG1	異常検知開始ビット / ERDEN	1	本ビットが “1”になってから 26 msec 後に異常検知出力マスクが解除され、異常検知が有効となります。
	エラー信号リセットビット / ERRST	1	1 にセットすると異常検知出力レジスタ 1 が 0 にリセットされます。ただし異常が継続している場合は 0 にリセットされず 1 が立ったままとなります。
異常検知レジスタ 2/ RDC3ALnDIAG2	2 経路変換異常選択ビット / ERP2S	0	経路変換異常発生時に ERR、ERHD、ERP2、ERDP2 に 1 を立てます。

4.2.5 レゾルバ信号 天絡・地絡異常検出

RSO、COM、S1、S2、S3、S4 のレゾルバ信号線について、天絡異常(電源ショート)、地絡異常(グランドショート)を検出します。ただし、内部励磁使用時(EXIO=1)はショートした電源あるいはグランドと励磁バッファ出力が衝突するため RSO、COM 端子の異常を正しく検出できません。外部励磁使用時（EXIO = 0）、RSO, COM 端子の異常を検出可能です。

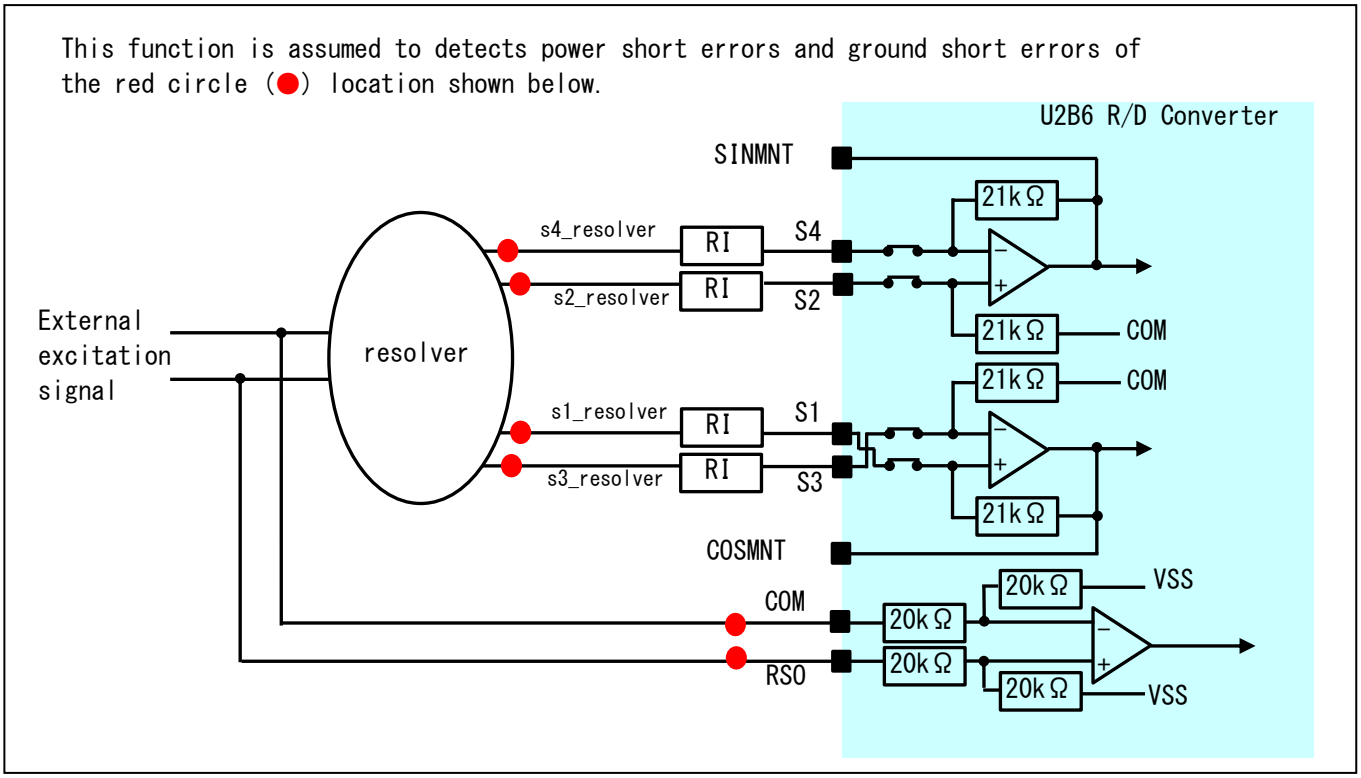


図 4-21 レゾルバ信号 天絡・地絡異常検出の想定回路

S1～S4 入力端子にはアンプが内蔵されているため、レゾルバの S1～S4 端子が電源もしくはグランドにショートしたとしても R/D コンバータの S1～S4 入力端子電位は電源もしくはグランドの電圧レベルになるとは限りません。そのため、一旦アンプ入力をスイッチで切断することによって天絡地絡異常を検出可能にします。切断している間に RSO、COM、S1～S4 の 6 端子のショートを検出します。スイッチにより切断している時間は約 78μs(13μs×6 端子)です。この間は入力が切り離されるため、SINMNT と COSMNT の出力レベルは COM と同一レベルになります。R/D コンバータの出力角度はレゾルバ信号 天絡地絡異常検出機能の開始時の回転速度に合わせて角度追従状態を維持します。

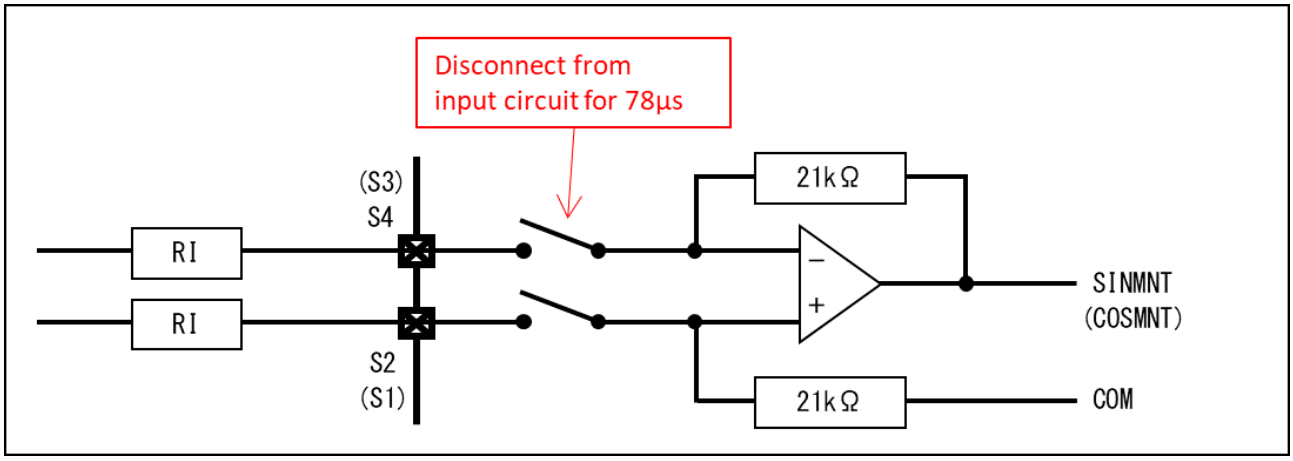


図 4-22　天絡地絡異常検出時の切断位置

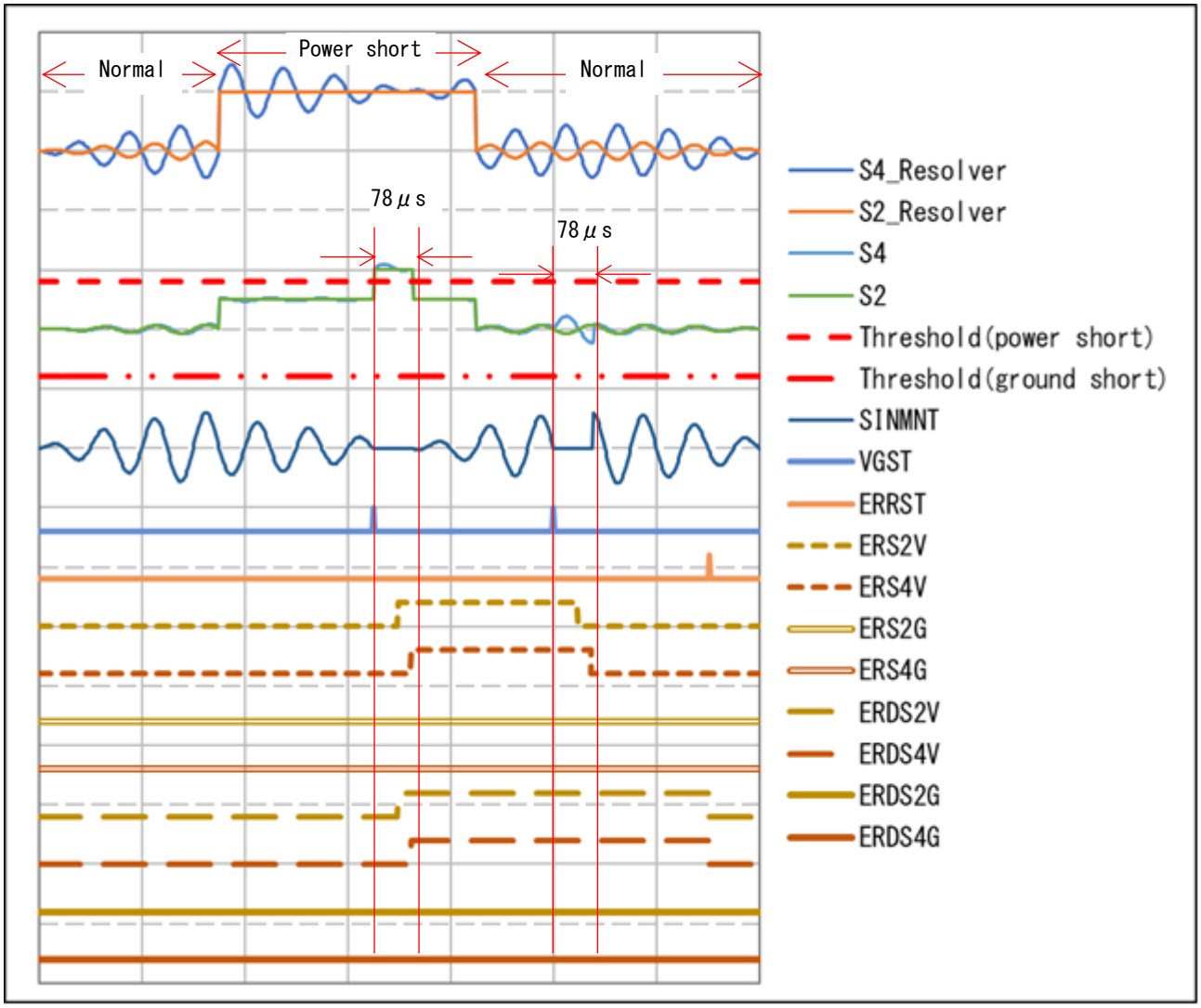


図 4-23　S2 信号の電源ショートによる天絡検出

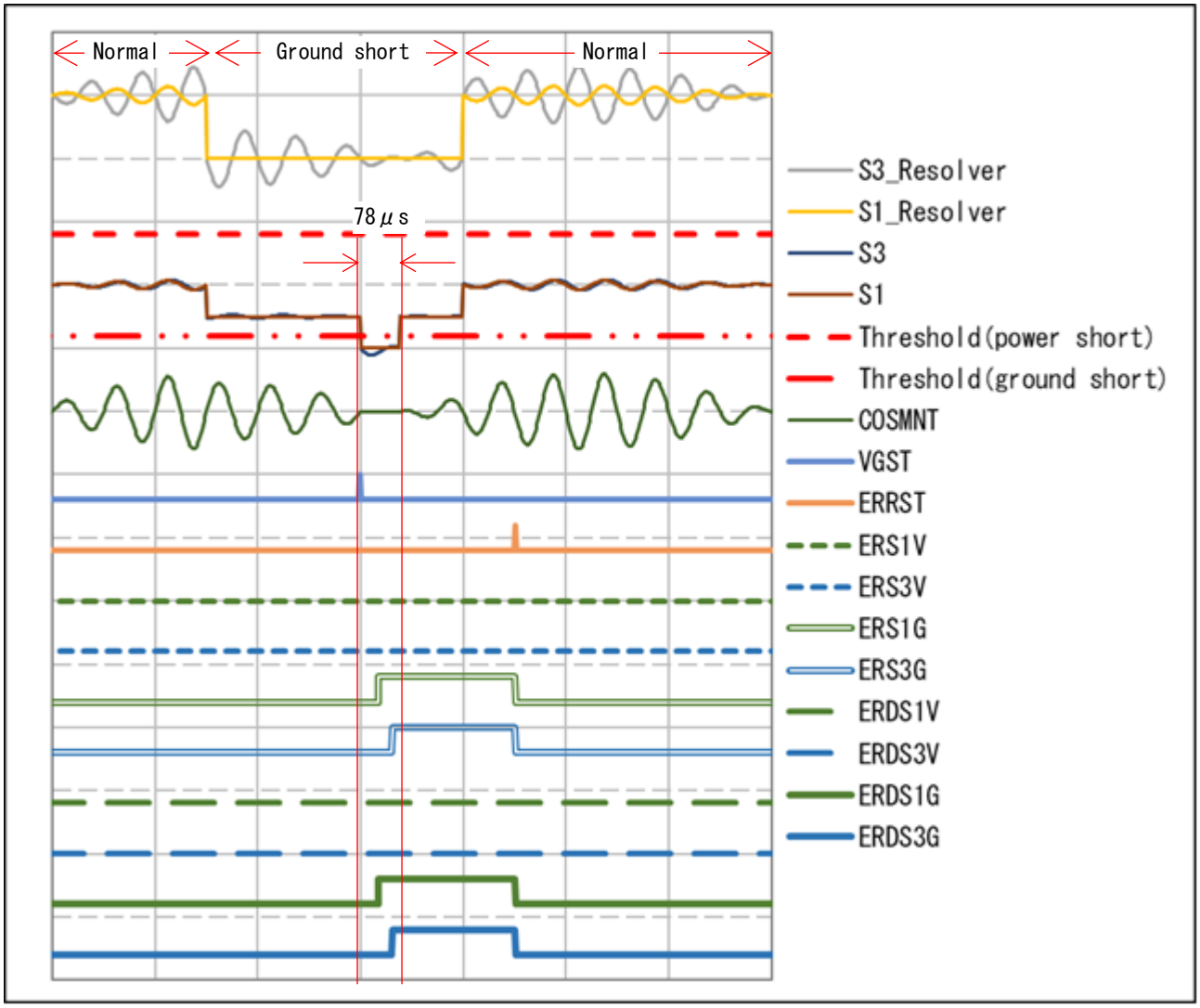


図 4-24　S1 信号のグランドショートによる地絡検出

4.2.5.1 レゾルバ設定例

レゾルバ信号 天絡地絡異常検出を使用する時のレジスタ設定例を以下に示します。

表 4-5 レゾルバ信号 天絡・地絡異常検出使用時のレジスタ設定例

レジスタ名/略称	ビット名/略称	設定値	機能
異常検知レジスタ 1/ RDC3ALnDIAG1	天地絡検知開始方法選択ビット / VGASL[1:0]	1	VGST ビットに 1 を書き込んだ時、天絡地絡検知を開始します。
	天地絡検知開始ビット / VGST	1	1 を書き込むと天絡地絡検知を 1 回開始します。
	異常検知開始ビット / ERDEN	1	本ビットが “1”になってから 26 msec 後に異常検知出力マスクが解除され、異常検知が有効となります。
	エラー信号リセットビット / ERRST	1	1 にセットすると異常検知出力レジスタ 1 が 0 にリセットされます。ただし異常が継続している場合は 0 にリセットされず 1 が立ったままとなります。
異常検知レジスタ 2/ RDC3ALnDIAG2	RSO 天絡選択ビット / ERR1VS	0	RSO 天絡異常発生時に ERR、ERHD、ERR1V、ERDR1V に 1 を立てます。
	COM 天絡選択ビット / ERR1VS	0	COM 天絡異常発生時に ERR、ERHD、ERR2V、ERDR2V に 1 を立てます。
	S1 天絡選択ビット / ERS1VS	0	S1 端子 天絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS1V、ERDS1V に 1 を立てます。
	S2 天絡選択ビット / ERS2VS	0	S2 端子 天絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS2V、ERDS2V に 1 を立てます。
	S3 天絡選択ビット / ERS3VS	0	S3 端子 天絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS3V、ERDS3V に 1 を立てます。
	S4 天絡選択ビット / ERS4VS	0	S4 端子 天絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS4V、ERDS4V に 1 を立てます。
	RSO 地絡選択ビット / ERR1GS	0	RSO 地絡異常発生時に ERR、ERHD、ERR1G、ERDR1G に 1 を立てます。
	COM 地絡選択ビット / ERR1GS	0	COM 地絡異常発生時に ERR、ERHD、ERR2G、ERDR2G に 1 を立てます。
	S1 地絡選択ビット / ERS1GS	0	S1 端子 地絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS1G、ERDS1G に 1 を立てます。
	S2 地絡選択ビット / ERS2GS	0	S2 端子 地絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS2G、ERDS2G に 1 を立てます。
	S3 地絡選択ビット / ERS3GS	0	S3 端子 地絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS3G、ERDS3G に 1 を立てます。
	S4 地絡選択ビット / ERS4GS	0	S4 端子 地絡異常発生時に ERR、ERHD、ERS4G、ERDS4G に 1 を立てます。

4.2.6 二乗和振幅異常検出

Sin、Cos レゾルバ入力信号振幅に変動、歪、ノイズ等が発生したことを検出する機能です。

モニタ信号（SINMNT、COSMNT）を R/D 内蔵の ADC で取得した値を二乗和し、その二乗和値を励磁周期内で積分します。励磁周期で積分した二乗和値に対して H 側閾値、L 側閾値を設定し、この閾値を超えた励磁周期の回数をカウントします。このカウント値がカウント閾値以上になると二乗和振幅異常として出力されます。この一連の検出動作は自動で実施しており、ユーザーは二乗和積分値の H 側、L 側閾値の設定（SQHTH、SQLTH ビット）、カウント閾値の設定（SQCTH ビット）を行います。また任意のタイミングでカウント中の異常カウント数をクリアすることが可能です（SQERST）。

下記図にレゾルバ入力振幅が減衰し、励磁周期 5 回分の異常カウントが発生し、二乗和振幅異常が発生した場合の波形例を示します。

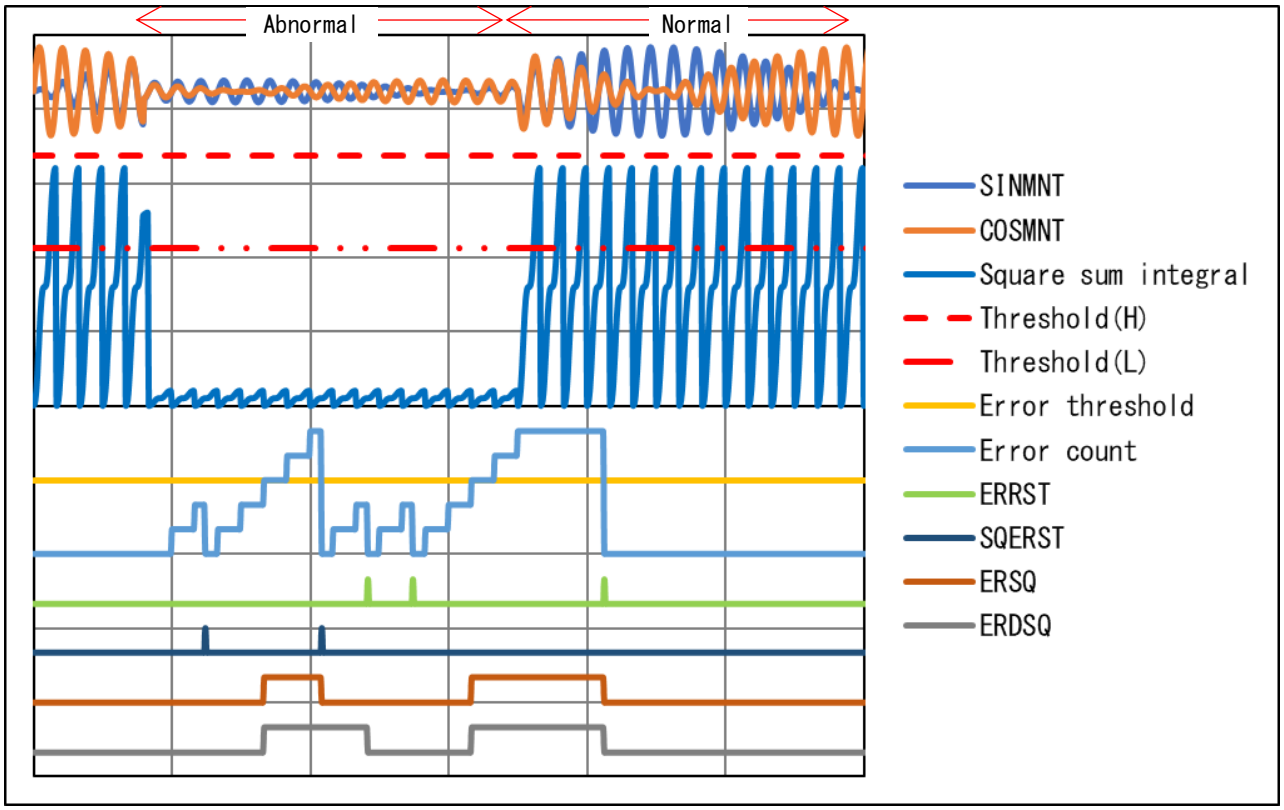


図 4-25 二乗和振幅異常検出

4.2.6.1 閾値の決定方法例

理想波形における二乗和振幅積分値は以下の表の値となっています。ノイズなどの他の影響を受けるため実際の値とは異なります。その影響を考慮して閾値を決定します。

下記表にない値は線形補間により算出してください。

Table 49.49 Relationship between the Resolver Signal (MNT Signal) Amplitude, Excitation Frequency, and Values of the Integrated Sum-of-Squares Amplitude

excitation frequency (kHz)→	5kHz	7.5kHz	10kHz	12.5kHz	15kHz	17.5kHz	20kHz
MNT signal amplitude ↓							
0.1 × RVCC (Vpp)	254	169	128	104	83	72	63
0.2 × RVCC (Vpp)	1032	692	520	417	341	296	255
0.3 × RVCC (Vpp)	2304	1533	1156	921	771	649	582
0.4 × RVCC (Vpp)	4104	2719	2052	1638	1364	1169	1031
0.5 × RVCC (Vpp)	6435	4296	3222	2583	2152	1847	1601
0.6 × RVCC (Vpp)	9230	6127	4595	3685	3067	2633	2294
0.7 × RVCC (Vpp)	12567	8379	6282	5041	4177	3577	3144
0.8 × RVCC (Vpp)	16420	10942	8167	6574	5471	4684	4096
0.9 × RVCC (Vpp)	20761	13855	10355	8281	6909	5918	5212

※ 上記表はユーザーズマニュアルの表 49.49 の転記になります。

以下の条件で二乗和振幅異常検出を行った場合を一例として記載します。

- レゾルバ信号振幅 ：2.1Vpp
- 励磁周波数 ：10kHz
- 励磁周期内の変換回数 ：SINMNT/COSMNT それぞれ 50 回
- 理想波形からの許容誤差 ：±0.3Vp-p（1.8～2.4Vp-p）

上記条件から二乗和振幅異常検出で使用する下限値（1.8Vp-p）と上限値（2.4Vp-p）は上記表にはありません。そのため、それぞれの値に近い 2 点の線形補間によって求めます。上記例ですと、上下限値はそれぞれ以下のような値となります。

- 下限値：1694 上限値：2988

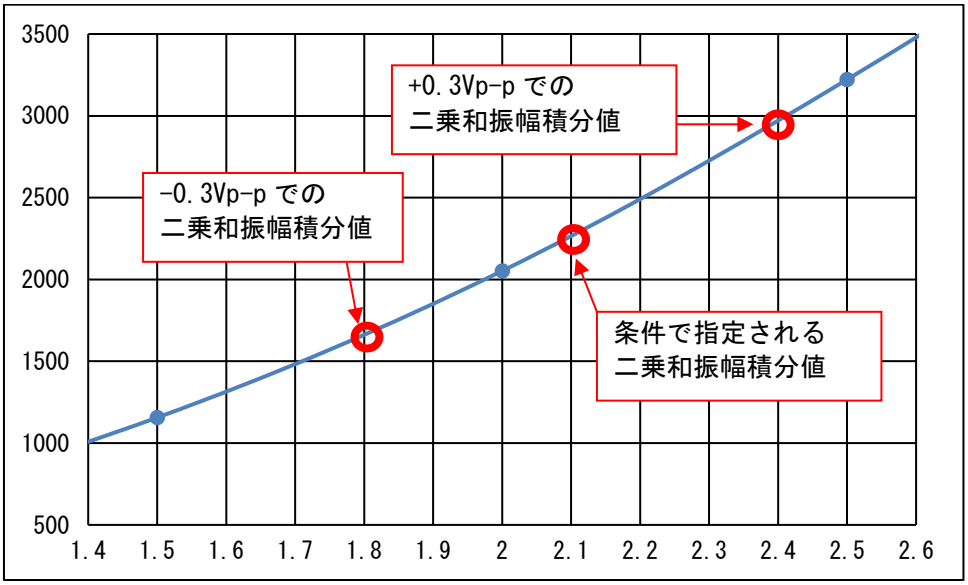


図 4-26 二乗和振幅異常で使用する上下限値イメージ

4.2.6.2 レゾルバ設定例

二乗和振幅異常検出を使用する時のレジスタ設定例を以下に示します。

表 4-6 二乗和振幅異常検出使用時のレジスタ設定例

レジスタ名/略称	ビット名/略称	設定値	機能
異常検知レジスタ 1/ RDC3ALnDIAG1	異常検知開始ビット / ERDEN	1	本ビットが“1”になってから 26 msec 後に異常検知出力マスクが解除され、異常検知が有効となります。
	二乗和振幅異常励磁カウンタリセット / SQERST	1	1 にすると二乗和振幅異常励磁カウンタ値が 0 リセットされます。
	エラー信号リセットビット / ERRST	1	1 にセットすると異常検知出力レジスタ 1 が 0 にリセットされます。ただし異常が継続している場合は 0 にリセットされず 1 が立ったままとなります。
異常検知レジスタ 2/ RDC3ALnDIAG2	二乗和振幅異常選択ビット / ERSQS	0	二乗和振幅異常発生時に ERR、ERHD、ERSQ、ERDSQ に 1 を立てます
異常検知レジスタ 3/ RDC3ALnDIAG3	二乗和振幅 H 側閾値 / SQHTH[15:0]	8192	二乗和振幅積分値異常検知の H 側振幅閾値を設定します。
	二乗和振幅 L 側閾値 / SQLTH[15:0]	512	二乗和振幅積分値異常検知の L 側振幅閾値を設定します。
異常検知レジスタ 4/ RDC3ALnDIAG4	二乗和振幅異常励磁カウント閾値 / SQCTH[2:0]	4	二乗和振幅異常と判定するための振幅異常の発生した励磁周期カウント数を設定します。カウント数が本ビット設定値以上となると二乗和振幅異常と判定されます。
励磁設定レジスタ/ RDC3ALnREF	励磁抽出ノイズフィルタビット /PLSNFS	1	励磁成分抽出回路のノイズフィルタを選択します。 1：ノイズフィルタ有り

4.2.7 励磁周期異常検出

周期計測タイマは励磁信号（ゼロクロス信号）の周期を計測します。ゼロクロス信号のエッジ（立ち上がり／立ち下がり選択可）を検出すると周期計測カウンタの値をキャプチャし、ET キャプチャレジスタ（RDC3ALnETCAP）に格納します。これにより、励磁信号の周期を計測することができます。

RDC3ALnETEN レジスタの IREN ビットが“1”（割り込み許可）の場合、ET キャプチャレジスタ（RDC3ALnETCAP）に設定した値と周期計測カウンタを比較して、一致したときに励磁タイマ割り込み要求を発生します。励磁信号の周期異常を検出するために使用する場合は RDC3ALnETCAP レジスタに励磁信号の周期よりも長い期間の値を設定してください。励磁タイマ割り込み要求の発生をもって励磁信号の周期異常を検出します。

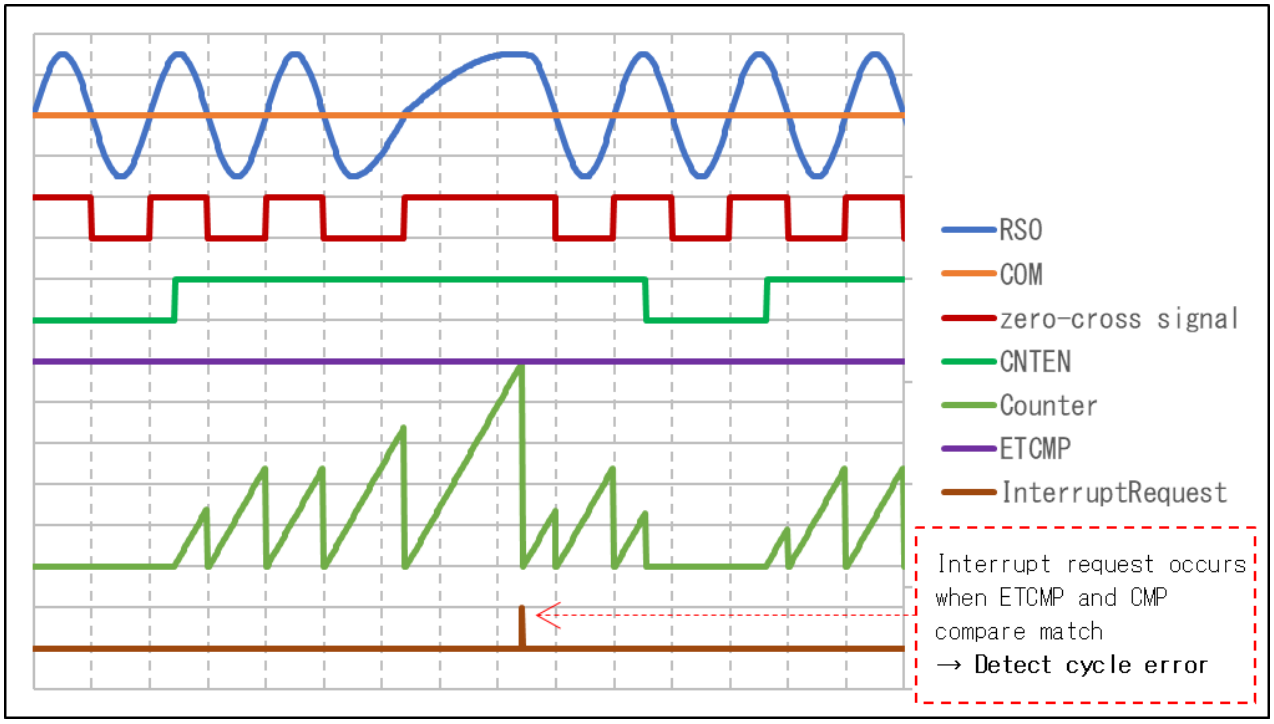


図 4-27 励磁周期異常検出

4.2.7.1 レゾルバ設定例

励磁信号の周期計測タイマを励磁周期異常検出機能として使用する時のレジスタ設定例を以下に示します。

表 4-7 励磁周期異常検出使用時のレジスタ設定例

レジスタ名/略称	ビット名/略称	設定値	機能
ET 制御レジスタ/ RDC3ALnETEN	コンペアー致機能有効ビット / CMPEN	1	コンペアー致機能の有効、無効を切り替えます。 1：コンペアー致機能が有効となります。
	割り込み要求許可ビット / IREN	1	割り込み要求の許可、不許可を切り替えます。 1：割り込み出力許可となります。
	カウンタの動作許可ビット / CNTEN	1	周期計測タイマ、イベントタイマの動作許可を切り替えます。 1：周期計測タイマ、イベントタイマは動作します。
ET キャプチャレジスタ/ RDC3ALnETCAP	ET コンペアビット / CMP[15:0]	0x1F40	コンペアー致が発生するカウント値を設定します。本設定例は 10kHz の励磁信号周期の２倍の値（200μsec）となっています。

4.3 異常検出機能の注意事項

4.3.1 レゾルバ信号断線異常検出の注意事項

- レゾルバ信号断線異常検出では VR レゾルバと DC レゾルバで閾値と比較するレベルが異なります。VR レゾルバ設定時は SINMNT／COSMNT のコモンレベルと閾値を比較します。DC レゾルバ設定時は SINMNT／COSMNT そのもののレベルと閾値を比較します。また、閾値の設定もそれぞれに存在します

4.3.2 二乗和振幅異常検出の注意事項

- 二乗和振幅異常検出機能は励磁成分のあるレゾルバ入力信号において使用可能で、励磁信号のない DC レゾルバ入力信号の場合は使用できません。
- ERSQS ビットに 0 を設定することで二乗和振幅異常検出機能が有効になりますが、ERSQS ビットを 0 にする時は、その直後に SQERST ビットを 1 にしてカウント値をクリアしてください。
- 天絡・地絡異常検出を実施すると 78us 間励磁振幅が無くなるため、二乗和振幅異常検出において 1 回カウントされることになります。VGASL[1:0]=01 設定で VGST ビット書き込みにより天絡地絡異常検出を実施する場合は、その間 ERSQS ビット=1 に設定して二乗和振幅異常検出を OFF にしてください。
- VGASL[1:0]=10 設定により 10ms 間隔で天絡地絡異常検出を実施する場合は少なくとも 10ms に一回以上の割合で SQERST ビットにより二乗和振幅異常カウントをクリアしてください。
- 天絡地絡異常検出を実施したいが二乗和振幅異常を検出する必要がない場合は ERSQS ビットを 1 に設定したままにしてください。
- 二乗和振幅異常検出を行うときは必ず励磁設定レジスタ(RDC3ALnREF)の励磁抽出ノイズフィルタビット(PLSNFS)を 1(ノイズフィルタ有り)に設定してください。この設定により、励磁信号にノイズが乗った場合にそのノイズを励磁周期として抽出してしまうのを防ぎます。

4.4 異常検出全体レジスタ設定フロー

本動作例のレジスタ設定フローを以下に示します。

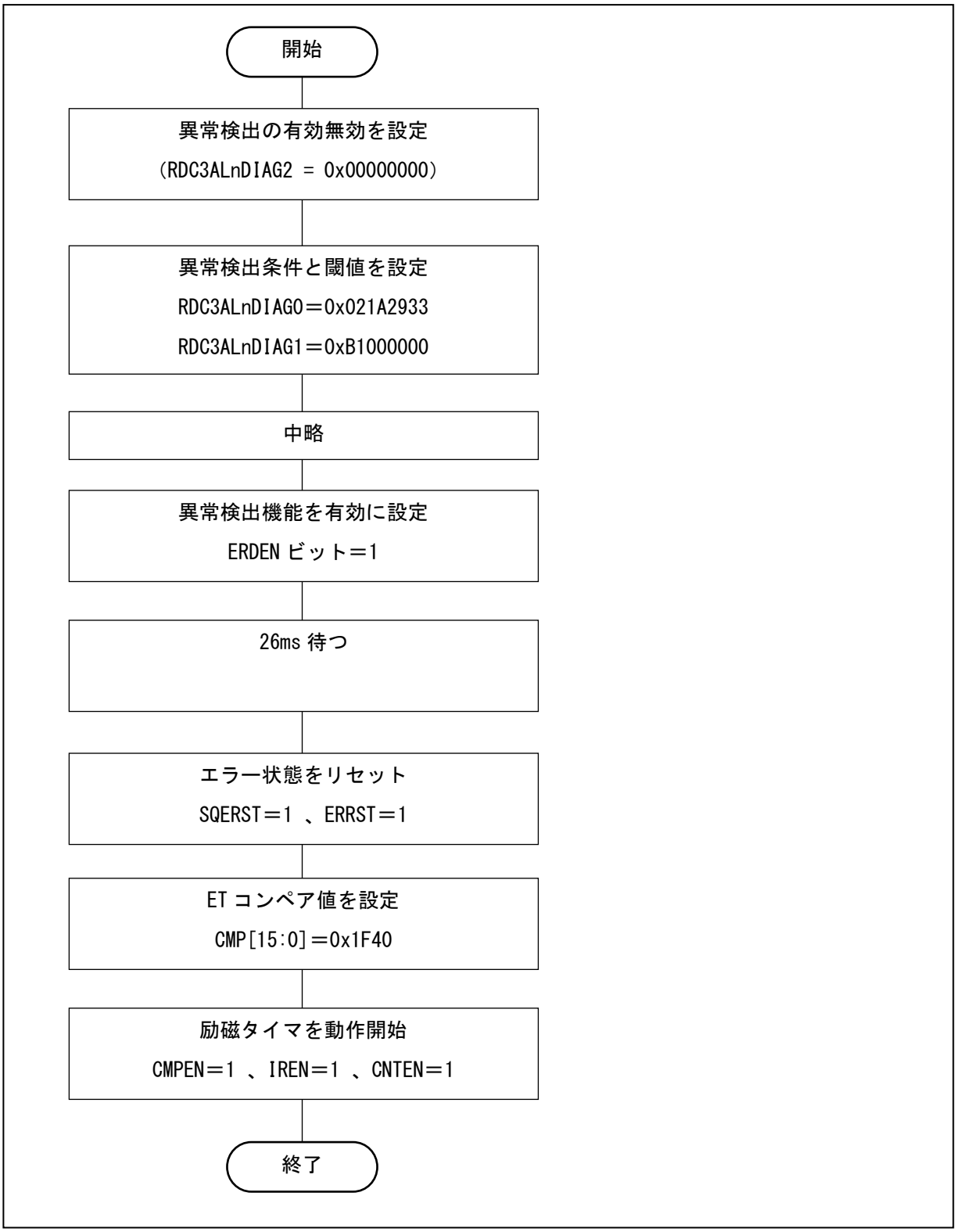


図 4-28 レジスタ設定フロー

5. RDC3AL の自己診断機能

5.1 組み込み自己診断(BIST)機能の概要

RDC3AL では、指定された操作の正当性を確認する為に組み込み自己診断(Built-in Self Test：BIST)機能が組み込まれています。

本機能は RDC3ALnBIST1 レジスタに BIST 命令を設定することで、内部でシミュレートされた目的の信号入力を生成し、それに応答して出力される信号を監視します。

試験項目を以下に示します。

表 5-1 BIST 機能

試験項目	診断内容
角度変換 BIST	R/D 変換機能のセルフテスト レゾルバ信号入力として以下の電気角を設定できます ● 対象角度 0° ● 対象角度 45° ● 対象角度 270°
エラー検知 BIST	エラー検出機能のセルフテスト ● レゾルバ信号エラー検出 BIST ● レゾルバ信号断線異常検出 BIST(sin / cos) ● R/D 変換エラー検出 BIST ● 電源/地絡エラー検出 BIST ● 二乗和振幅誤差検出 BIST(high / low)
AD BIST	12 ビット SAR-ADC 変換結果の妥当性のセルフテスト ● 1、2.5、4 V の電圧を順番に印加し、ADC 変換の結果を判定 ● 判定閾値は ADB3TH[1:0]で設定

5.2 BIST 機能の詳細

5.2.1 BIST 機能の分類

BIST は実行時間の長さにより、短期と長期の 2 種類に分類されます。

長期 BIST は電源投入時のみ実行可能です。長期 BIST は最大 10 ms の BIST 用に内部生成されたシミュレート信号で動作するため、角度出力はレゾルバ入力と一致しません。

短期 BIST は角度変換中に実行でき、BIST 実行中の角度変換追跡を維持します。

短期 BIST は電源投入時でも実行できますが、長期 BIST を先に実行してください。

- 短期 BIST：ADBIST、レゾルバ信号異常検出 BIST、レゾルバ信号断線異常検出 BIST(sin/cos)、電源ショート異常 BIST、地絡異常 BIST、二乗和振幅異常検出 BIST(ハイ/ロー))
- 長期 BIST：角度変換 BIST、変換誤差 BIST

5.2.2 BIST 機能の実行

BIST を実行するには以下の設定を行ってください。

(1) BIST 実行時に強制ゲインコントロール機能を有効にします。 (RDC3ALnPI1 レジスタの AGCD ビットを 0 に設定)

(2) 短周期 BIST を実行するには、EINTEN ビットを 0 に設定してエラー割り込みを無効にします。

(3) BIST を実行する場合は、VGASL[1:0] ビットを 00B に設定します。

(4) VGFLG ビット (電源/地絡エラー検出実行ビット) を 0 として読み出します。値が 1 の場合は、約 80 μs 待ってから再度ビットを読み出します。

(5) 角度変換 BIST 実行時は、sin・cos 角度補正レジスタの位相補正ビットを 0° に設定してください。

sin 相補正ビット SINPO[11:0] = 000H

cos 相補正ビット COSPO[11:0] = 000H

(6) 変換エラーBIST を実行するには、EDPS ビットを 10B に設定します。

(7) BIST 実行時の入力ゲイン抵抗値はデフォルト(21kΩ)、励磁バッファ振幅値はデフォルト(2Vpp)に設定してください。

PGX1=0、IRSS0 = 1、EXOC[1:0] = 10B、IRSC[3:0] = 0100B、IRSS1 = 0、EXOS = 0、EAATSP = 1

(8) SQERST ビットのカウント値を 1 にセットしてクリアしてから、二乗和振幅検出 BIST (ハイサイド/ローサイド) を実行してください。

(9) BIST が完了すると、

BIST 結果をクリアするには、RDC3ALnBIST1 レジスタの BISTCL ビットを 1 に設定します。

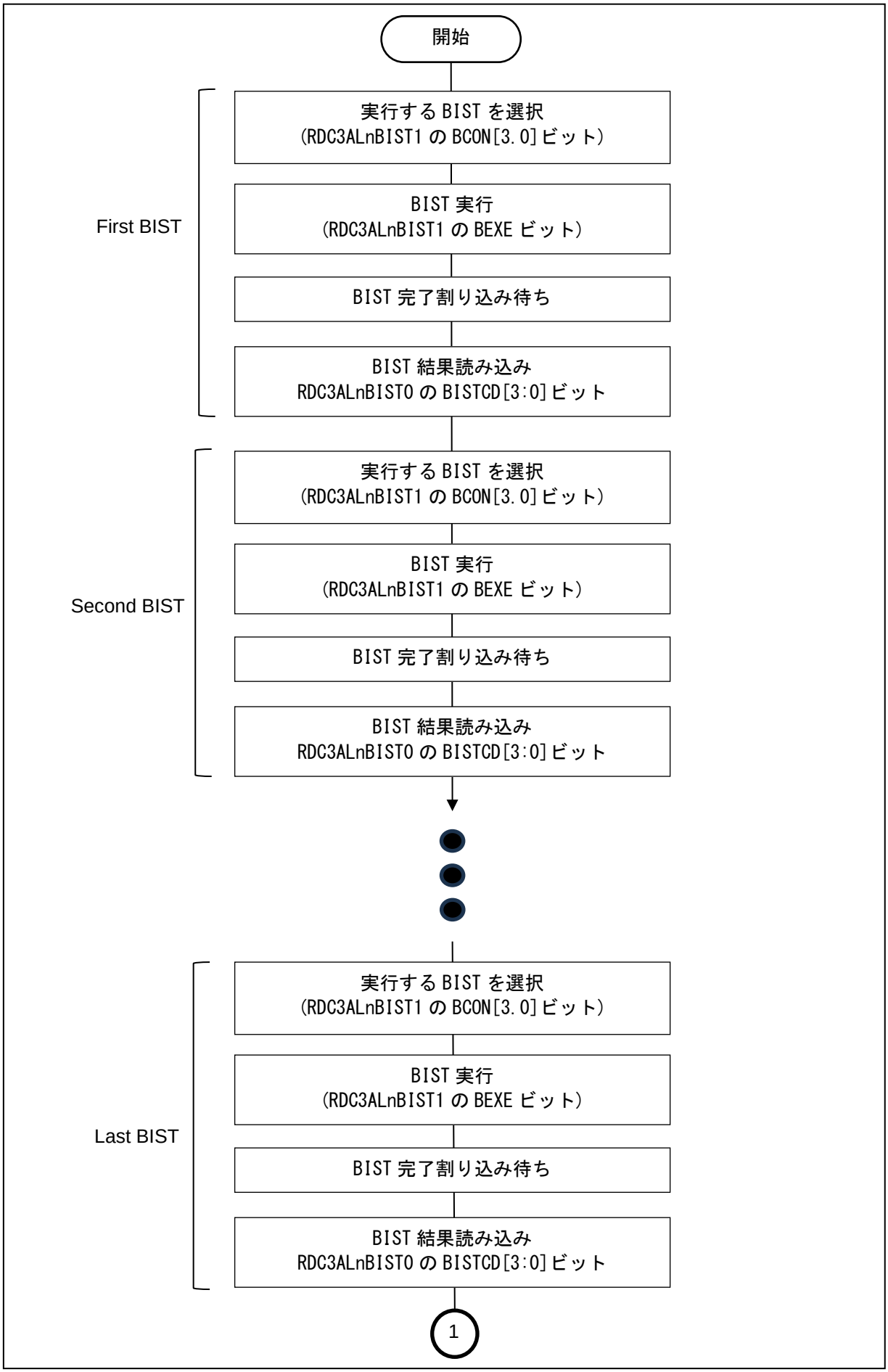
RDC3ALnDIAG1 レジスタの ERRST ビットを 1 にセットしてエラー信号をリセットしてください。

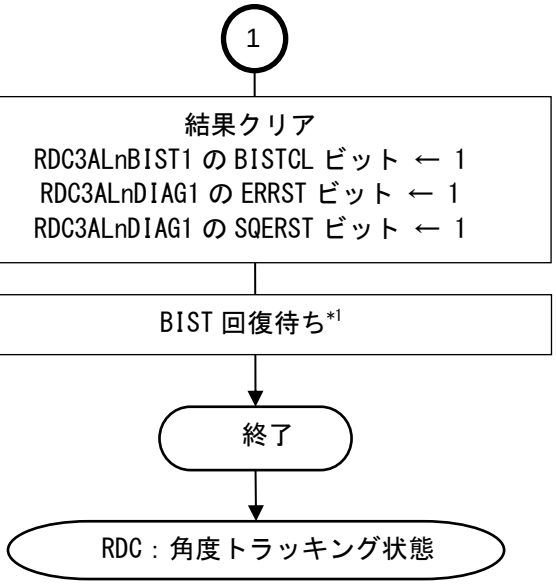
RDC3ALnDIAG1 レジスタの SQERST ビットを 1 に設定すると、二乗和振幅誤差のカウンタ値がリセットされます。

(1)、(2)、(3)、(5)、(6)、(7)の手順で変更したレジスタの設定を元の値に戻します。

表 5-2 各設定値における BIST

BCON[3:0]	実行される BIST
0000	BEXE ビットは無効
0001	この設定は許可されていません
0010	二乗和振幅誤差検出 BIST（ロー）
0011	二乗和振幅誤差検出 BIST（ハイ）
0100	ADBIST
0101	角度変換 BIST(0°)
0110	角度変換 BIST(45°)
0111	角度変換 BIST(270°)
1000	この設定は許可されていません
1001	エラー検出 BIST: レゾルバ信号エラー検出 BIST
1010	エラー検出 BIST：レゾルバ信号断線検出 BIST（cos）
1011	エラー検出 BIST：レゾルバ信号断線検出 BIST（sin）
1100	エラー検出 BIST: 変換エラー BIST
1101	エラー検出 BIST: 電源ショート エラー BIST
1110	エラー検出 BIST: 地絡エラー BIST
1111	この設定は許可されていません

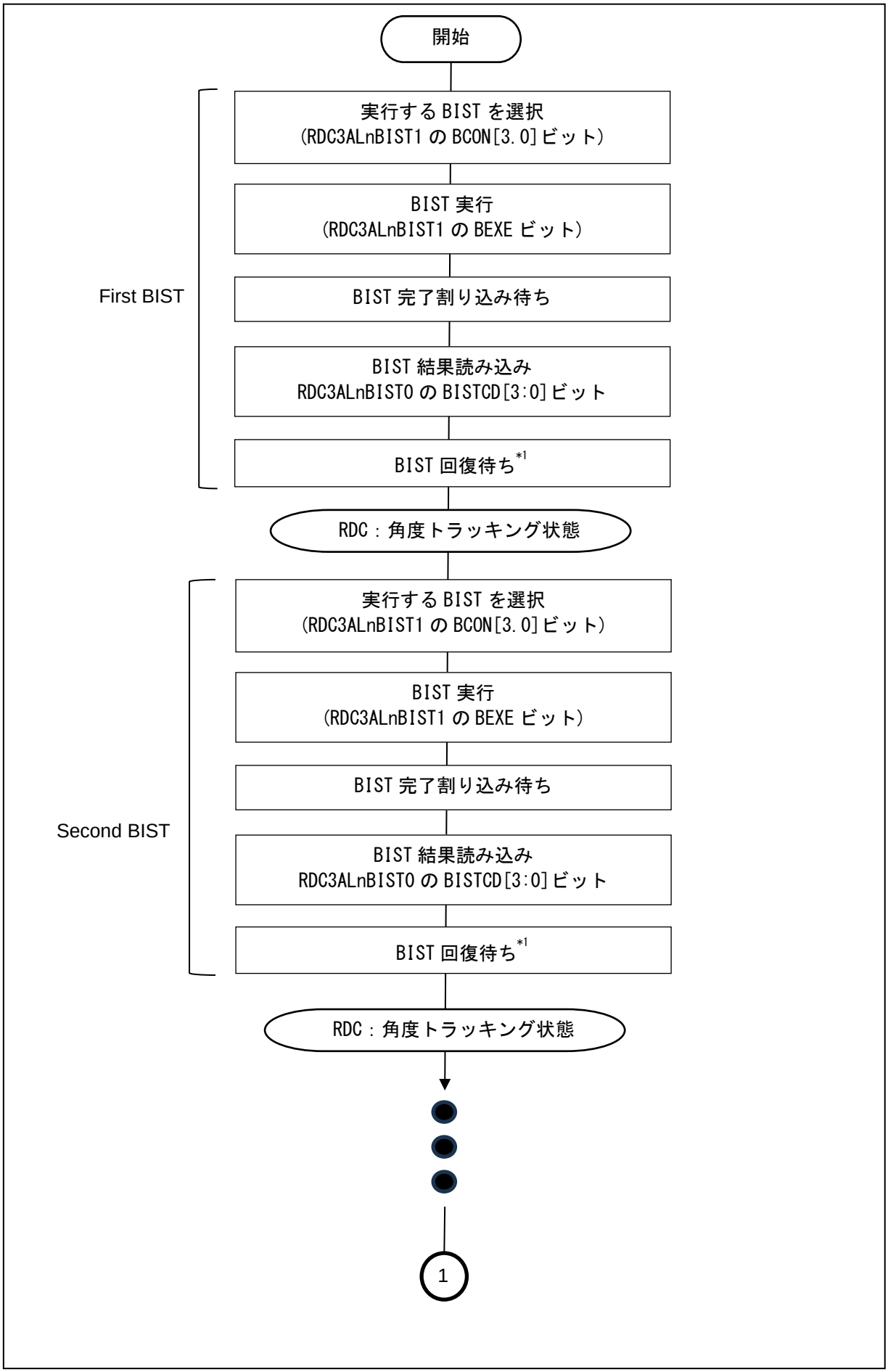

開始
First BIST
実行する BIST を選択
(RDC3ALnBIST1 の BCON[3.0]ビット)
BIST 実行
(RDC3ALnBIST1 の BEXE ビット)
BIST 完了割り込み待ち
BIST 結果読み込み
RDC3ALnBIST0 の BISTCD[3:0]ビット
Second BIST
実行する BIST を選択
(RDC3ALnBIST1 の BCON[3.0]ビット)
BIST 実行
(RDC3ALnBIST1 の BEXE ビット)
BIST 完了割り込み待ち
BIST 結果読み込み
RDC3ALnBIST0 の BISTCD[3:0]ビット
Last BIST
実行する BIST を選択
(RDC3ALnBIST1 の BCON[3.0]ビット)
BIST 実行
(RDC3ALnBIST1 の BEXE ビット)
BIST 完了割り込み待ち
BIST 結果読み込み
RDC3ALnBIST0 の BISTCD[3:0]ビット
1

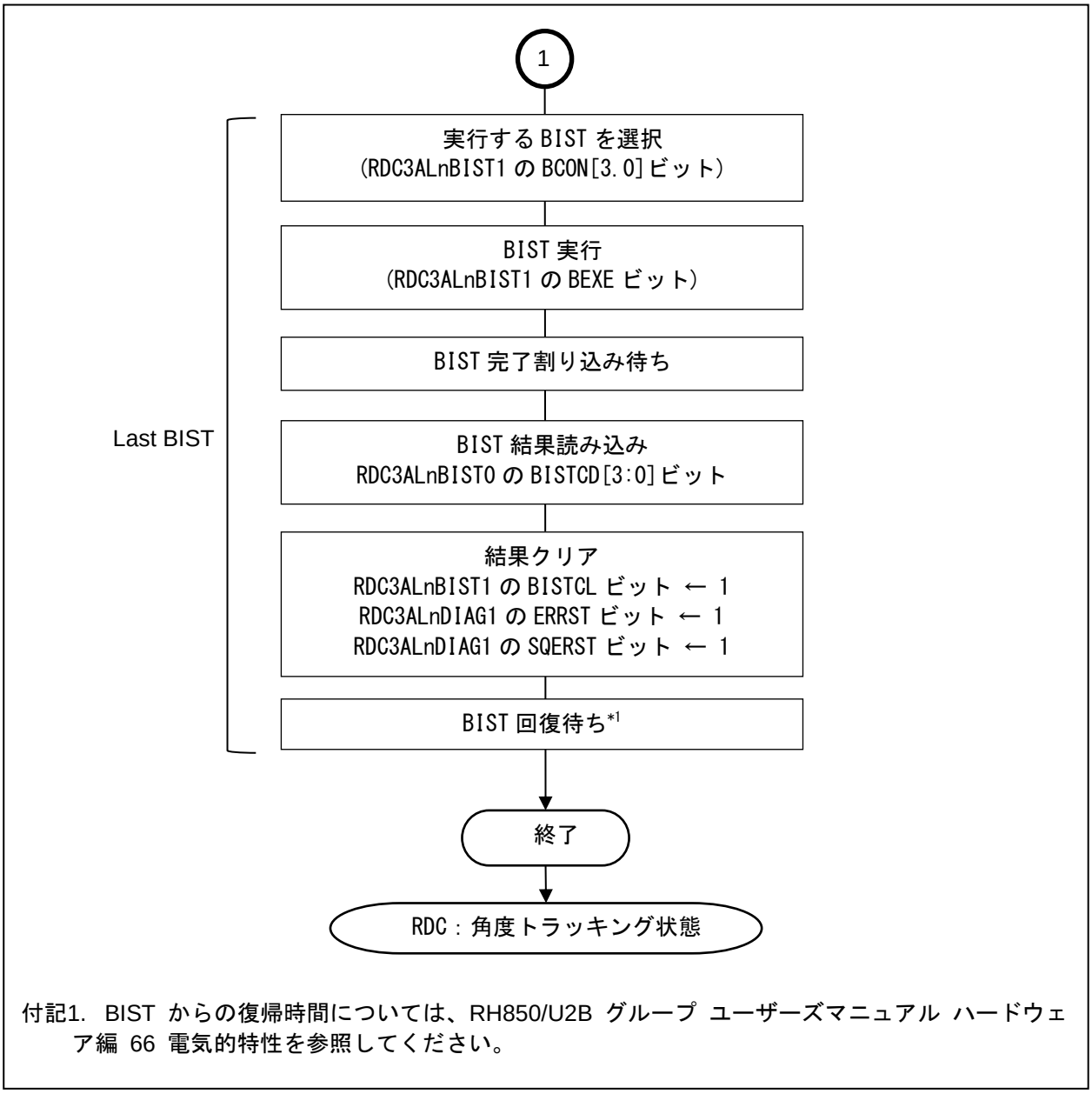


付記1. BIST からの復帰時間については、RH850/U2B グループユーザーズマニュアル ハードウェア編 66 電気的特性を参照してください。

最初に実行するすべての長期 BIST を実行してから、短期 BIST を実行します。

図 5-1 電源投入後の BIST 実行シーケンス


開始
First BIST
実行する BIST を選択
(RDC3ALnBIST1 の BCON[3.0]ビット)
BIST 実行
(RDC3ALnBIST1 の BEXE ビット)
BIST 完了割り込み待ち
BIST 結果読み込み
RDC3ALnBIST0 の BISTCD[3:0]ビット
BIST 回復待ち*1
RDC：角度トラッキング状態
Second BIST
実行する BIST を選択
(RDC3ALnBIST1 の BCON[3.0]ビット)
BIST 実行
(RDC3ALnBIST1 の BEXE ビット)
BIST 完了割り込み待ち
BIST 結果読み込み
RDC3ALnBIST0 の BISTCD[3:0]ビット
BIST 回復待ち*1
RDC：角度トラッキング状態
1



付記1. BIST からの復帰時間については、RH850/U2B グループ ユーザーズマニュアル ハードウェア編 66 電気的特性を参照してください。

図 5-2 角度変換時の BIST 実行シーケンス（短期 BIST）

5.2.3 ADC ソフトウェア BIST

ADC の故障診断は、該当するレジスタに書き込まれた 12 ビット SAR-ADC の DAC コードが ADC 内で変換され、その結果が該当するレジスタから読み出されるという手順で CPU によって診断されます。ユーザーは DAC コードを自由に設定できます。つまり、12 ビット ADC の 4096 コードのいずれかに設定できます。

理想的な状態では、ソフトウェアはソフトウェア BIST に設定された DAC コードと同じ値を A/D 変換の結果として返します。

しかし、実際の動作では、理想的でない要因により誤差を含んだ値が出力されます。

したがって、CPU がこれらのエラーを判断するために適切な値 (±32 LSB 程度) を設定する必要があります。 このソフトウェア BIST では、ADC 内の DAC の全スイッチの組み合わせ機能の正常性を診断することが可能です。

一方、上述した ADBIST は、ADC の入力ノードに 3 つの電圧を印加することで変換結果を診断します。

ADBIST と本ソフトウェア BIST を併用することで、12 ビット ADC のほぼすべてのノードの故障診断が可能になります。

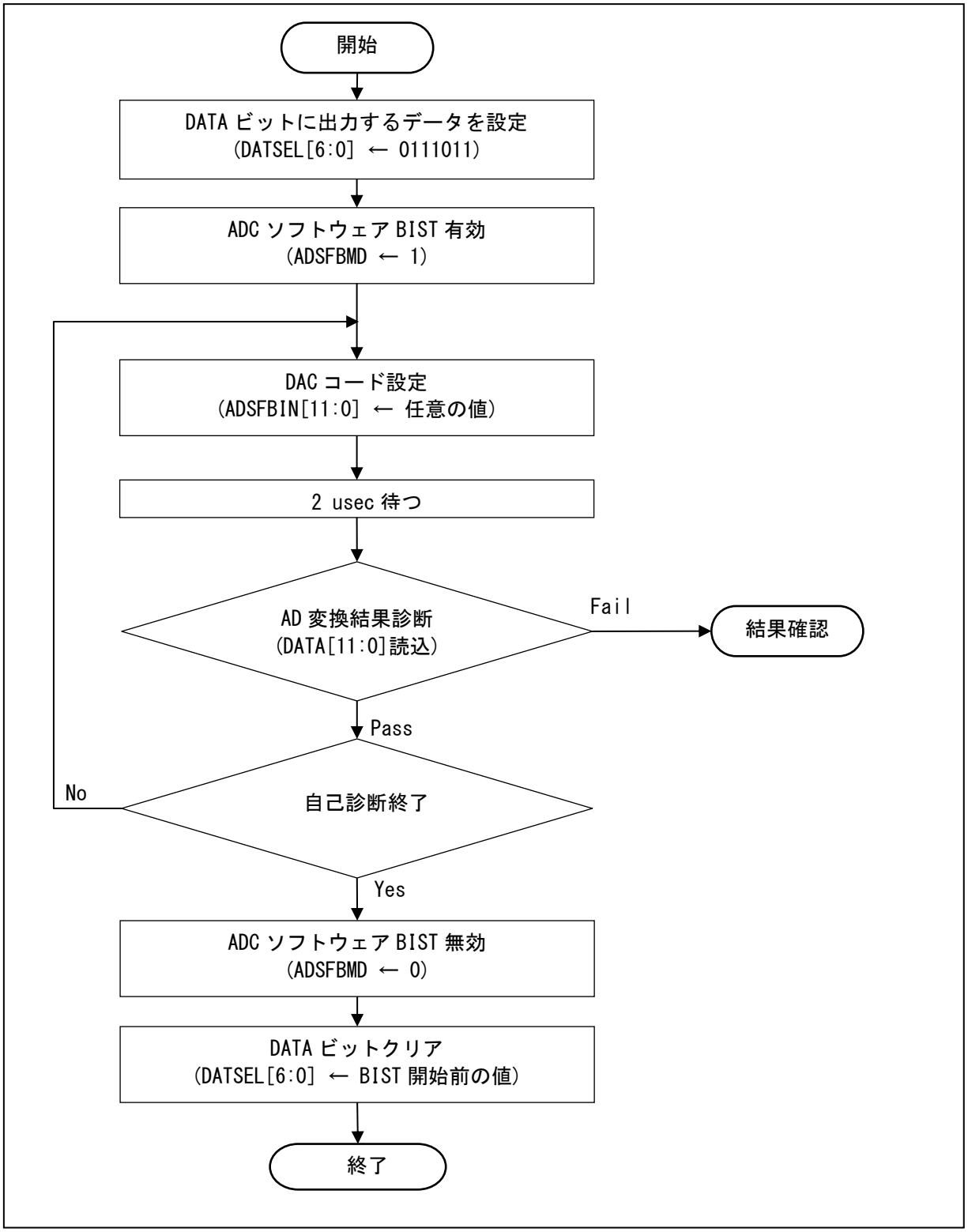


図 5-3 ADC ソフトウェア BIST の実行シーケンス

5.3 BIST 機能の注意事項

- BIST によっては、内部状態の異常により RDC エラー割り込みが発生します。
  このエラーが発生して動作に支障をきたす場合は、EINTEN ビットにより RDC エラー割り込みを禁止してください。

改訂記録

Rev.	発行日	改訂内容	
		ページ	ポイント
1.00	2022.03.31	-	初版発行
2.00	2023.09.29	42-	「5. RDC3AL の自己診断機能」を追加

製品ご使用上の注意事項

ここでは、マイコン製品全体に適用する「使用上の注意事項」について説明します。個別の使用上の注意事項については、本ドキュメントおよびテクニカルアップデートを参照してください。

1. 静電気対策
   CMOS 製品の取り扱いの際は静電気防止を心がけてください。CMOS 製品は強い静電気によってゲート絶縁破壊を生じることがあります。運搬や保存の際には、当社が出荷梱包に使用している導電性のトレーやマガジンケース、導電性の緩衝材、金属ケースなどを利用し、組み立て工程にはアースを施してください。プラスチック板上に放置したり、端子を触ったりしないでください。また、CMOS 製品を実装したボードについても同様の扱いをしてください。
2. 電源投入時の処置
   電源投入時は、製品の状態は不定です。電源投入時には、LSI の内部回路の状態は不確定であり、レジスタの設定や各端子の状態は不定です。外部リセット端子でリセットする製品の場合、電源投入からリセットが有効になるまでの期間、端子の状態は保証できません。同様に、内蔵パワーオンリセット機能を使用してリセットする製品の場合、電源投入からリセットのかかる一定電圧に達するまでの期間、端子の状態は保証できません。
3. 電源オフ時における入力信号
   当該製品の電源がオフ状態のときに、入力信号や入出力プルアップ電源を入れないでください。入力信号や入出力プルアップ電源からの電流注入により、誤動作を引き起こしたり、異常電流が流れ内部素子を劣化させたりする場合があります。資料中に「電源オフ時における入力信号」についての記載のある製品は、その内容を守ってください。
4. 未使用端子の処理
   未使用端子は、「未使用端子の処理」に従って処理してください。CMOS 製品の入力端子のインピーダンスは、一般に、ハイインピーダンスとなっています。未使用端子を開放状態で動作させると、誘導現象により、LSI 周辺のノイズが印加され、LSI 内部で貫通電流が流れたり、入力信号と認識されて誤動作を起こす恐れがあります。
5. クロックについて
   リセット時は、クロックが安定した後、リセットを解除してください。プログラム実行中のクロック切り替え時は、切り替え先クロックが安定した後に切り替えてください。リセット時、外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックで動作を開始するシステムでは、クロックが十分安定した後、リセットを解除してください。また、プログラムの途中で外部発振子（または外部発振回路）を用いたクロックに切り替える場合は、切り替え先のクロックが十分安定してから切り替えてください。
6. 入力端子の印加波形
   入力ノイズや反射波による波形歪みは誤動作の原因になりますので注意してください。CMOS 製品の入力がノイズなどに起因して、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域にとどまるような場合は、誤動作を引き起こす恐れがあります。入力レベルが固定の場合はもちろん、V_{IL}（Max.）から V_{IH}（Min.）までの領域を通過する遷移期間中にチャタリングノイズなどが入らないように使用してください。
7. リザーブアドレス（予約領域）のアクセス禁止
   リザーブアドレス（予約領域）のアクセスを禁止します。アドレス領域には、将来の拡張機能用に割り付けられている リザーブアドレス（予約領域）があります。これらのアドレスをアクセスしたときの動作については、保証できませんので、アクセスしないようにしてください。
8. 製品間の相違について
   型名の異なる製品に変更する場合は、製品型名ごとにシステム評価試験を実施してください。同じグループのマイコンでも型名が違うと、フラッシュメモリ、レイアウトパターンの相違などにより、電気的特性の範囲で、特性値、動作マージン、ノイズ耐量、ノイズ輻射量などが異なる場合があります。型名が違う製品に変更する場合は、個々の製品ごとにシステム評価試験を実施してください。

ご注意書き

1. 本資料に記載された回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報は、半導体製品の動作例、応用例を説明するものです。回路、ソフトウェアおよびこれらに関連する情報を使用する場合、お客様の責任において、お客様の機器・システムを設計ください。これらの使用に起因して生じた損害（お客様または第三者いずれに生じた損害も含みます。以下同じです。）に関し、当社は、一切その責任を負いません。
2. 当社製品または本資料に記載された製品データ、図、表、プログラム、アルゴリズム、応用回路例等の情報の使用に起因して発生した第三者の特許権、著作権その他の知的財産権に対する侵害またはこれらに関する紛争について、当社は、何らの保証を行うものではなく、また責任を負うものではありません。
3. 当社は、本資料に基づき当社または第三者の特許権、著作権その他の知的財産権を何ら許諾するものではありません。
4. 当社製品を組み込んだ製品の輸出入、製造、販売、利用、配布その他の行為を行うにあたり、第三者保有の技術の利用に関するライセンスが必要となる場合、当該ライセンス取得の判断および取得はお客様の責任において行ってください。
5. 当社製品を、全部または一部を問わず、改造、改変、複製、リバースエンジニアリング、その他、不適切に使用しないでください。かかる改造、改変、複製、リバースエンジニアリング等により生じた損害に関し、当社は、一切その責任を負いません。
6. 当社は、当社製品の品質水準を「標準水準」および「高品質水準」に分類しており、各品質水準は、以下に示す用途に製品が使用されることを意図しております。

   標準水準：　コンピュータ、OA 機器、通信機器、計測機器、AV 機器、家電、工作機械、パーソナル機器、産業用ロボット等

   高品質水準：輸送機器（自動車、電車、船舶等）、交通制御（信号）、大規模通信機器、金融端末基幹システム、各種安全制御装置等

   当社製品は、データシート等により高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、直接生命・身体に危害を及ぼす可能性のある機器・システム（生命維持装置、人体に埋め込み使用するもの等）、もしくは多大な物的損害を発生させるおそれのある機器・システム（宇宙機器と、海底中継器、原子力制御システム、航空機制御システム、プラント基幹システム、軍事機器等）に使用されることを意図しておらず、これらの用途に使用することは想定していません。たとえ、当社が想定していない用途に当社製品を使用したことにより損害が生じても、当社は一切その責任を負いません。
7. あらゆる半導体製品は、外部攻撃からの安全性を 100%保証されているわけではありません。当社ハードウェア／ソフトウェア製品にはセキュリティ対策が組み込まれているものもありますが、これによって、当社は、セキュリティ脆弱性または侵害（当社製品または当社製品が使用されているシステムに対する不正アクセス・不正使用を含みますが、これに限りません。）から生じる責任を負うものではありません。当社は、当社製品または当社製品が使用されたあらゆるシステムが、不正な改変、攻撃、ウイルス、干渉、ハッキング、データの破壊または窃盗その他の不正な侵入行為（「脆弱性問題」といいます。）によって影響を受けないことを保証しません。当社は、脆弱性問題に起因しまたはこれに関連して生じた損害について、一切責任を負いません。また、法令において認められる限りにおいて、本資料および当社ハードウェア／ソフトウェア製品について、商品性および特定目的との合致に関する保証ならびに第三者の権利を侵害しないことの保証を含め、明示または黙示のいかなる保証も行いません。
8. 当社製品をご使用の際は、最新の製品情報（データシート、ユーザーズマニュアル、アプリケーションノート、信頼性ハンドブックに記載の「半導体デバイスの使用上の一般的な注意事項」等）をご確認の上、当社が指定する最大定格、動作電源電圧範囲、放熱特性、実装条件その他指定条件の範囲内でご使用ください。指定条件の範囲を超えて当社製品をご使用された場合の故障、誤動作の不具合および事故につきましては、当社は、一切その責任を負いません。
9. 当社は、当社製品の品質および信頼性の向上に努めていますが、半導体製品はある確率で故障が発生したり、使用条件によっては誤動作したりする場合があります。また、当社製品は、データシート等において高信頼性、Harsh environment 向け製品と定義しているものを除き、耐放射線設計を行っておりません。仮に当社製品の故障または誤動作が生じた場合であっても、人身事故、火災事故その他社会的損害等を生じさせないよう、お客様の責任において、冗長設計、延焼対策設計、誤動作防止設計等の安全設計およびエージング処理等、お客様の機器・システムとしての出荷保証を行ってください。特に、マイコンソフトウェアは、単独での検証は困難なため、お客様の機器・システムとしての安全検証をお客様の責任で行ってください。
10. 当社製品の環境適合性等の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合せください。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、適用される環境関連法令を十分調査のうえ、かかる法令に適合するようご使用ください。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、一切その責任を負いません。
11. 当社製品および技術を国内外の法令および規則により製造・使用・販売を禁止されている機器・システムに使用することはできません。当社製品および技術を輸出、販売または移転等する場合は、「外国為替及び外国貿易法」その他日本国および適用される外国の輸出管理関連法規を遵守し、それらの定めるところに従い必要な手続きを行ってください。
12. お客様が当社製品を第三者に転売等される場合には、事前に当該第三者に対して、本ご注意書き記載の諸条件を通知する責任を負うものといたします。
13. 本資料の全部または一部を当社の文書による事前の承諾を得ることなく転載または複製することを禁じます。
14. 本資料に記載されている内容または当社製品についてご不明な点がございましたら、当社の営業担当者までお問合せください。

注 1. 本資料において使用されている「当社」とは、ルネサス エレクトロニクス株式会社およびルネサス エレクトロニクス株式会社が直接的、間接的に支配する会社をいいます。

注 2. 本資料において使用されている「当社製品」とは、注 1 において定義された当社の開発、製造製品をいいます。

(Rev.5.0-1　2020.10)

本社所在地

〒135-0061 東京都江東区豊洲 3-2-24（豊洲フォレシア）

www.renesas.com

商標について

ルネサスおよびルネサスロゴはルネサス エレクトロニクス株式会社の商標です。すべての商標および登録商標は、それぞれの所有者に帰属します。

お問合せ窓口

弊社の製品や技術、ドキュメントの最新情報、最寄の営業お問合せ窓口に関する情報などは、弊社ウェブサイトをご覧ください。

www.renesas.com/contact/

© 2021 Renesas Electronics Corporation. All rights reserved.