



PTP Testing with xGenius: Dual PTP Analysis Test

ALBEDO xGeniusは、レガシーおよびパケット同期技術に対応した高度な同期テスト機能を備えています。特に注目すべきは、Precision Time Protocol (PTP) であり、これは携帯電話ネットワーク、電力変電所、大規模工場への正確なタイミング提供に成功しています。

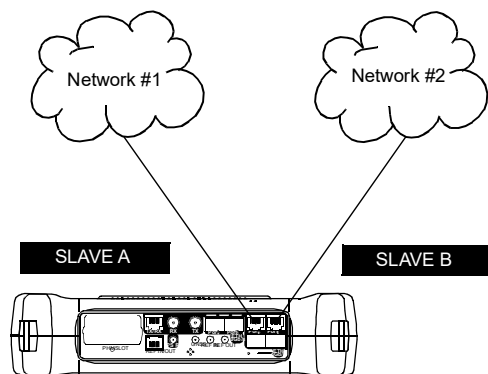


Figure 1 The xGenius .Dual sync analyser mode measures PTP performance in two links at the same time

xGeniusは、PTPマスターやスレーブをシミュレートし、プロトコルのデコードやキャプチャ、統計収集、パフォーマンス分析など、さまざまなレベルで通信ネットワークに展開されているPTPエンティティの動作を検証するためのテストを実行できます。このテストツールの際立った利点の一つは、マルチポート構成を利用して、異なるPTPエンティティを同時にシミュレートできる点です。本書では、2つの物理的に異なるイーサネットポートで同時に2つのPTPスレーブをシミュレートできるマルチポート構成の一つ、Dual Sync Analyzerに関する内容を扱います。ユーザーは各テストポートに同じまたは異なるプロファイルを設定し、それぞれのスレーブから統計を収集し、時間および周波数オフセットを含むタイミングパフォーマンスの結果を取得できます。

1つのテスターで2つのPTPテストを実行する明白な利点は、時間の節約です。Dual Sync Analyzerモードを使用すると、1ポートしか装備していないアナライザーで単一のテストを実行するのと同じ時間で2つのテストを実行できます。しかし、2つの異なるPTPリファレンス間の相関を測定する必要があるアプリケーションにおいては、目立たないが、より重要な利点があります。ここでは、次の2つのアプリケーションを説明しています：

- (1)複数の送信点または受信点を使用するMulti Input Multi Output (MIMO) など、5G同期における協調伝送または受信
- (2)電力ユーティリティアプリケーションに重要なIEC 62439-3 Parallel Redundancy Protocol (PRP) 上のPTP配布

1. LTE / 5G 同期

携帯電話ネットワーク、特にLTEおよび5G技術に基づくネットワークでは、タイミングと同期が必要です。これには、2つの理由があります。：

- (1)近隣の基地局やユーザー機器 (UE) 間の干渉を回避するために、5Gには固有のタイミングと同期の必要性があります。
- (2)携帯電話ネットワーク上に展開される一部のサービスには、厳格なタイミング要件があります。これらには、位置情報サービス、産業用自動化、スマートグリッドアプリケーションなどが含まれます。

5Gタイミング要件に関連して、2つの異なるクラスがあります。まず、LTE-TDDおよび5Gのために設定されたUTCとの最大誤差 $\pm 1.5\mu\text{s}$ に関するTime Division Duplex (TDD) 要件があります。もう一つは、リンクアグリゲーション、伝送ダイバーシティ、MIMOに関連する要件があります。



Table 1
LTE and 5G cluster limits in terms of TAE

Metric	LTE	5G
Inter-band carrier aggregation	260 ns	3 μs
Intra-band non-contiguous carrier aggregation	260 ns	3 μs / 260 ns
Intra-band contiguous carrier aggregation	130 ns	260 ns / 130 ns
MIMO or TX diversity transmissions, at each carrier frequency	65 ns	65 ns

これらの技術は、複数の送信機や受信機を協調して使用することで、伝送帯域幅、スループット、効率を向上させることができます。これらの技術にはグローバル (UTC) のタイミング要件は必要ありませんが、同じクラスターに属する相互関連する要素間の相対的な時刻オフセットにはしばしば厳しい制限があります。クラスターの制限は、UTCやTAIといった絶対的な時間基準との比較ではなく、同じクラスター内のメンバー間の相対的な時間オフセットに基づいて定義されます。

クラスターのメンバーからUTCへの時刻オフセットがわかっている場合、必要な相対メトリックを計算することもできますが、相対時刻誤差の測定精度は絶対時刻誤差よりも優れています。これは、絶対時刻誤差から導き出される結果が、直接の相対測定と同じ精度を持たない可能性があることを意味します。相対時刻誤差結果の追加の利点は、GNSSのような外部リファレンスを必要とせずに得られることです。

残念ながら、相対時刻オフセットテストは、ラボ環境または検証する機器が同じ場所にある場合にのみ可能です。しかし、多くの場合、クラスター測定が必要な場合はまさにこの状況です。このため、xGeniusのようなテストツールは、ラボおよびフィールドでの相対時刻誤差の測定に役立ちます。

2. PTP OVER PRP

Parallel Redundancy Protocol (PRP) は、通信メディアを複製することで LAN でのフェイルセーフな操作を提供します。すべての情報は、相互に隔離された 2 つのネットワーク (LAN A および LAN B) で 2 回送信されます。片方の複製が失われた場合、代替チャンネルを通じて情報がまだ受信される可能性が非常に高いです。

通常の実験条件では、フレームが 2 回受信され、Dual Attached Node (DAN) は、ほとんどの重複フレームを上位プロトコル層で処理する前に削除する重複検出アルゴリズムを実装しています。

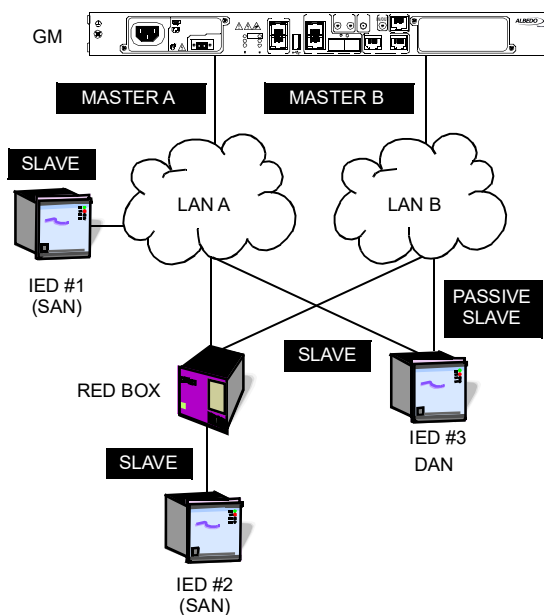


Figure 2 PRP provides redundant communications to IED #2 and #3. IED#1 is sensitive to network faults.

PRP 標準は、LAN A または LAN B のみに接続されているノードとの相互運用性を受け入れる柔軟性を持っています。これらは Single Attached Node (SAN) と呼ばれます。LAN A および LAN B には厳密な要件はありません。これらは通常、片方のネットワークに障害が発生しても、もう片方のネットワークに影響を与えないように設計されたブリッジイーサネットネットワークです。

PRP ネットワークでのタイミング配布は、2 つのチャンネルから 2 つの遅延パスでタイミング情報が収集されるため骨が折れます。これにより、遅延補償を実行不能にしてしまいます。ある時点で、スレーブは Port B で受信した同期パケットに対して LAN A から導出された補正を適用している可能性があります。この問題について、IEC 61850-9-3、PTP の Utility Profile で対処されています。PTP スレーブモードで動作する DAN は、片方のポートのみを SLAVE 状態に保ち、もう片方は PASSIVE SLAVE モードに保持します。PASSIVE SLAVE ポートと SLAVE ポートは類似していますが、PASSIVE SLAVE ポートは SLAVE ポートに障害が検出され

ない限り、発振器を制御しません。この場合、PASSIVE SLAVEポートが通常のSLAVEポートになります。この手順により、PTP同期（同期メッセージフロー）と遅延補償（ピア遅延要求/応答フロー）の手順間の一貫性が保証されます。

ALBEDO xGeniusテストユニットは、PRP LAN AおよびBで同時にPTPテストを実行し、アクティブおよびパッシブの両方のLANで性能要件が満たされていることを確認する機能を備えています。

Table 2

IEC 61850-9-3 performance limits

Device	Metric	Value
Grandmaster	Inaccuracy	250 ns
Transparent clock	Inaccuracy	50 ns
Boundary clock	Inaccuracy	200 ns
Media converter	Asymmetry	25 ns
Links	Asymmetry	25 ns

IEC 61850-9-3規格では、サブステーションネットワークでは1μs未満のエンドツーエンドのタイミング性能が達成可能であるとされています。相対時刻誤差の測定は、GMまたはネットワークの非対称遅延によって生成される時刻のずれを検出するのに役立ちます。

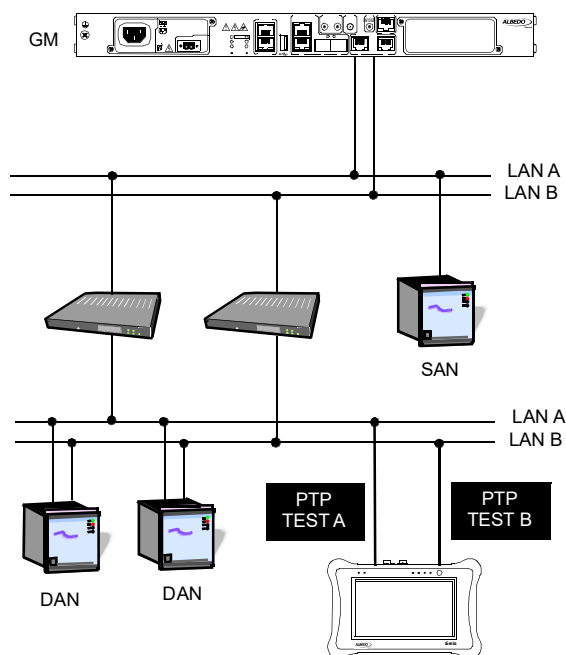


Figure 3 xGenius runs two simultaneous PTP tests and rates the transmission performance of LAN A and B.

PTP性能測定は、カスタマイズされたバックグラウンドトラフィック生成と組み合わせて行うことができます。このアプローチにより、トラフィック負荷が増加するにつれて性能がどのように低下するかをユーザーが調査できるようになります。

3. テストの実行

以下の段落では、xGeniusにおけるDual Sync Analyzerテストについて説明します。テスト手順には多くの小さなバリエーションがあります。ここで説明するセットアップでは、テストインターフェースがVLANタグなしのRJ-45であると考えています。テストポートには、PTP Utility Profile IEC 61850-9-3が設定されています。

リファレンスの設定

xGeniusは内蔵のGNSSレシーバーを装備している場合があります。これらのユニットにはアンテナ接続に適したSMAメスコネクタが搭載されています。内蔵GNSSレシーバーを備えたユニットには、5mの同軸ケーブル付きコンパクトアンテナと10mの延長ケーブルが付属しています。GNSSモジュールの仕様を考慮すれば、別のアンテナを使用することも可能です。内蔵GNSSモジュールを使用するには、以下の手順に従ってください。

1. アンテナをユニットに取り付けます。できるだけ開けている場所に設置してください。衛星が十分に視認できない場合、同期に失敗することがあります。衛星の視認数が減少すると、いくつかのテストの精度が低下する可能性があります。
2. ホームパネルから[Config]に進みます。ポート設定パネルが表示されます。
3. [Reference clock]に進みます。
4. [Input clock]を[GNSS]に設定します。
5. [LEDS]を押してテストステータスを表示します。
6. [REF]と[LOCK]のLEDが緑色になるまで待ちます:

注：xGeniusのOCXOバージョンのLockプロセスには約10分かかる場合があります。ルビウムユニットのCoarse lockプロセスには約20分かかります。

注：xGeniusのルビジウムおよびOCXOバージョンは、LOCK LEDが緑色になった時点でテスト準備が整いますが、ルビジウムユニットは最大の精度を発揮する準備がまだ整っていません。これらのユニットは、リファレンスに完全に[Locked]状態になる前に[Fine locking]ステータスに移行します。ルビジウムユニットでは[Fine locking]ステータスが約4時間続く場合があります。OCXOユニットには[Fine locking]ステータスがなく、Coarse lock手順が完了すると直接[Locked]状態になります。現在のロックステータス（Locking、Fine locking、Locked、Holdoverなど）は、[Reference clock]メニューの[Oscillator]メニューから確認できます。

GNSSプロパティの設定

ユーザーは、テストユニットのGNSSインターフェースを任意で設定できます。必須ではありませんが、これにより精度を向上させることはかなり重要です。以下の手順が必要です。:

1. ホームパネルから[Config]に進みます。ポート設定パネルが表示されます。
2. [Reference clock]に進みます。
3. [GNSS receiver]に進みます。
4. アンテナケーブルの補正値を[Antenna delay correction]フィールドで設定します。
5. [Active GNSS]設定を通じて、GPS、GLONASS、Beidou、Galileoのいずれかを有効または無効にします。
6. [Fixed-position mode]に進みます。
7. [Position averaging time]を調整し、[Fixed-position mode]を[Auto-average]に設定して位置平均を有効にします。
[Fixed-position status]フィールドが[Averaging]を表示します。
注: 合理的な精度を得るためには、少なくとも1時間の位置平均が必要です。
注: テストユニットの地理的位置が変更されない限り、位置平均プロセスは一度だけ実行すれば十分です。ユニットはGPSアンテナに接続されるたびに位置（経度、緯度、高度）の変化を確認します。座標に変化が検出されると、ステータスフィールドにエラーメッセージが表示され、モードが無効になります。
8. [Fixed position status]が[Active]になるまで待ちます。テスト準備完了です。

注: 理論的には、位置平均プロセスが終了する前にテストを開始することが可能です。この機能による時間推定の向上は、自動平均プロセスの終了時から自動的に適用されます。

Dual Sync Analyzer の設定

同じユニット内のxGeniusのポートAとポートBを、入力位相を相互に比較したり、テスター独自の内部時間と比較したりできるPTP疑似スレーブに設定し、相対および絶対TE結果を含むさまざまなパフォーマンスパラメータを生成することができます。

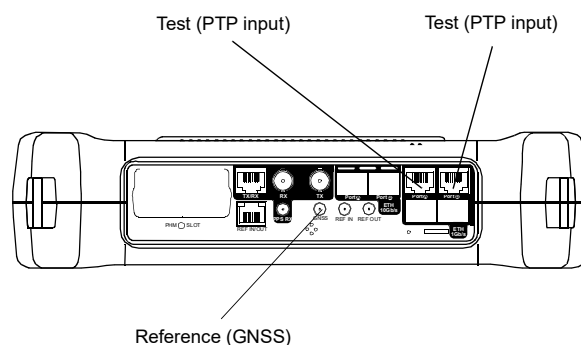


Figure 4 Albedo xGenius test and clock reference interfaces used in this testing scenario.

ユニットの接続

このシナリオでは、電気インターフェースでテストを実施することを想定しています。ポートAのRJ-45コネクタをPRPのLAN Aに接続し、ポートBのRJ-45コネクタをLAN Bに接続します。

1. ホームパネルから[Config]に進みます。ポート設定パネルが表示されます。
2. [Mode]を選択してモード選択メニューに入ります。
3. [Ethernet endpoint]を選択します。

テストの有効化

xGeniusには、PTP用のさまざまなテストオプションが含まれています。ここでは、BCおよびTCのテストオプションを取り上げます。必要なテストモードを有効にするには、次の手順に従ってください。:

1. ホームパネルから[Test]に進みます。テスト設定パネルが表示されます。
2. [PTP]に進みます。
3. [PTP mode]を[**Dual sync analyzer**]に設定します。上部の通知エリアに2つのラベルが表示されます。1つ目のラベル (PTP) は、ユニットでPTPが有効になっていることを示し、2つ目のラベル (SS) は、ユニットが同時に2つのPTPスレーブをエミュレートしていることを示します。

LAN A PTP疑似スレーブの設定

ポートAでPTP刺激信号を生成するためには、次の手順が必要です。ポートがITU-T G.8275.1プロファイルを実行していることを前提としています。:

1. ホームパネルから[Test]に進みます。テスト設定パネルが表示されます。
2. [PTP]に進みます。
3. [Slave clock A settings]に進みます。
4. [Addressing mode]を[**Multicast**]に設定し、[Path delay mechanism]を[**Peer-to-peer**]に設定します。
5. PTPに関連するさまざまなメッセージのタイミングを[**Message timing**]メニューで設定します。
[Sync TX interval]は[1 pkt/s]、
[Peer Delay Request TX interval]は[1 pkt/s]、
[Announce TX interval]を[1 pkt/s]、
[Announce RX timeout (#msgs)]を[3]に設定します。
6. ネットワークに適した[**Domain**]を設定します。

LAN B PTP疑似スレーブの設定

LAN Bアナライザーを設定するには、ポートAと同様の手順を行いますが、[Slave clock A settings]メニューではなく、[Slave clock B settings]メニューを使用します。

ポートAおよびポートBの設定が正しければ、画面上部のPTPインジケータ (PTP SS) が黄色から緑色に変わります。

テストのしきい値設定

PTPがアクティブになると、ユーザーはテストの実行と結果のしきい値の設定をさらに行う必要があります。このセットアップでは、しきい値のみを設定するだけで十分です。テストを有効にするために特定の操作は必要ありませんが、TEしきい値を次の手順で設定する必要があります。:

1. ホームパネルから[Test]に進みます。テスト設定パネルが表示されます。
2. [PTP two way TE objectives]に進みます。
3. [Enable]を[On]に設定します。
4. [Total peak]を[1 μs]に設定します。
5. [PTP two way TE objectives]パネルの残りのパラメータをすべて[0(ゼロ)]に設定します。

テストの実行

TEテストの準備完了です。テストユニットで[RUN]を押して開始します。これで、TEメトリクスがリアルタイムで計算されます。TE結果を確認するには、次の手順に従ってください。:

1. ホームパネルから[Results]に進みます。テストポートの結果パネルが表示されます。
2. [Port A]を選択して、ポート固有の結果に入ります。
3. [PTP]に入って、PTPプロトコルに関する結果を表示します。
4. [Time Error statistics]に進んで、両方向TEの結果を取得します。
5. 最大値と最小値の[Total]と[Relative TE]を確認し、これらがIEC 61850-9-3で定義された限度内に収まっているか確認します。

LAN Bの結果を確認するには、前の手順をポートB結果メニューで繰り返します。TEテストを停止するには、任意の時点で[RUN]を再度押しします。