Anritsu envision : ensure

高速 PAM 信号の発生と BER 測定

シグナル クオリティ アナライザ MP1800A シリーズ

目次

1.	はじめに2
2.	PAM 信号発生3
3.	PAM 信号の BER 測定5
4.	Anritsu Solution による PAM 信号生成と BER 測定
5.	まとめ20

1. はじめに

近年、IEEE802.3bj 100GBase-KP4 や IEEE802.3bs で審議されている次世代 200G, 400 Gbit/s 伝送方 式の検討において、従来の NRZ 伝送方式と比較してシンボルレートを上げずに伝送容量を増加させる、PAM (Pulse Amplitude Modulation)伝送方式が注目されています。

PAM4 信号は、NRZ のように 1 タイムスロットの中に 1 または 0 の 2 レベルで 1 bit を伝達するのではな く、1 タイムスロットの中に、4 レベルで 2 bit の情報を伝達します。PAM8 では、1 タイムスロットの中に 8 レベルで 3 bit の情報を伝達します。PAM は、信号の Symbol Rate を上げずに、情報伝達量を上げられるメ リットがある反面、1 タイムスロット内の各信号電圧レベルの差が小さくなっていくために、信号/雑音比率 が悪くなるデメリットがあります。

本 Application Note では、上記の特性を持つ PAM 信号の発生、および BER 測定の手法について記載します。



図 1.1 信号伝達方式と伝達情報量

表 1.1 に、最近の 100G / 200G / 400G 規格で使用される伝送方式の動向を示します。

Stand	ard	Format	Baud rate	Stand	ard	Format	Baud rate
	400G BASE-SR16	NRZ	26.6G		100G PSM4	NRZ	25.8G
4000	400G BASE-DR4	PAM4	53.1G		CWDM4/CLR4	NRZ	25.8G
	400G BASE-FR8	PAM4	26.6G		100G BASE-LR4	NRZ	25.8G
400G	400G BASE-LR8	PAM4	26.6G		100G BASE-ER4	NRZ	25.8G
	CDAUI-16	NRZ	25.8G	100G	100G BASE-CR4	NRZ	25.8G
	CDAUI-8	PAM4	26.6G		100G BASE-KR4	NRZ	25.8G
	200G BASE-SR8	NRZ	26.6G		100G BASE-KP4	PAM4	13.6G
	200G BASE-SR4	PAM4	26.6G		CAUI-10	NRZ	10.3G
2000	200G BASE-FR4	PAM4	26.6G		CAUI-4	NRZ	25.8G
2000	200G BASE-LR4	PAM4	26.6G		50G BASE-SR	PAM4	26.6G
	CCAUI-8	NRZ	25.8G	500	50G BASE-FR	PAM4	26.6G
	CCAUI-4	PAM4	26.6G	50G	50G BASE-LR	PAM4	26.6G
	100G BASE-SR10	NRZ	10.3G		50GAUI	PAM4	26.6G
1000	100G BASE-SR2	PAM4	26.6G		25G BASE-SR	NRZ	25.8G
100G	100G BASE-SR4	NRZ	25.8G	250	25G BASE-FR	NRZ	25.8G
	100G SWDM	NRZ	25.8G	230	25G BASE-LR	NRZ	25.8G
					25GAUI	NRZ	25.8G

表 1.1 各種規格の伝送方式

近年の規格動向として主な PAM4 の伝送速度は 26.6 Gbaud ですが、400G 伝送では 400GBase-DR4 等、一部 53.1 Gbaud の PAM4 伝送が採用されています。

2. PAM 信号発生

ここでは、PAM4 および PAM8 信号の発生方法と、信号生成時の注意点について記載します。図 1.1 で示し ましたように、PAM4 は、1 タイムスロットの中に 4 値、PAM8 は、8 値の情報を伝達します。そのために、 データ信号源として PAM4 には 2 チャネル(2²)、PAM8 には 3 チャネル(2³)の Pulse Pattern Generator (以 下 PPG)を使用します。図 2.1 に PAM4 および PAM8 信号生成の構成図を示します。基本的な構成は、マルチ チャネルの PPG が出力する Data 信号を Power Divider で結合するパッシブ方式です。アンリツは、高品質 の PAM 信号発生を簡単に行うために、これらのマルチチャネル PPG, 4PAM Convertor, 8PAM Convertor お よび波形調整のためのソフトウェアを提供しています。







図 2.2 アンリツの PAM 信号発生ソリューション

この場合、マルチチャンネル PPG には、以下の要件が求められます。

- a) 高精度チャネル間データ位相可変機能
- b) 高品質波形 (低ジッタ,低波形歪,高速立上り/立下り)

PAM 信号のジッタを低減するためには、PAM 生成に使用している複数 PPG 間のデータ位相を同じタイミン グにあわせる必要があります。表 1.1 から、26.6 GBaud PAM4 伝送の場合、1 bit 幅は 37.5 psec です。こ れは電気長では約 7.9 mm と非常に短く、数 mm のずれが波形品質に大きく影響します。そのため、a)に記 載したように、多チャンネル PPG には、高精度なチャネル間データ位相可変機能が必要になります。

また、b) PPG 自体の高品質波形も高品質な PAM 信号を得るために必須の要件です。PPG のジッタが大き ければ、PAM 信号のジッタも大きくなり、波形歪が大きければ、信号のベースラインが大きくなり信号/雑音 比率が悪くなります。立上り/立下りの遅さは、位相 Margin の減少に直接影響し、PAM 信号のジッタ増と信 号/雑音比率悪化に繋がります。

PAM 信号生成の詳細については、弊社アプリケーションノート「QAM 伝送評価用 PAM (Pulse Amplitude Modulation) 信号発生」

(<u>https://www.anritsu.com/ja-JP/test-measurement/support/downloads/application-notes/dwl009954</u>) にも 記載しておりますので、そちらも参照ください。

さらに、弊社では、400G 伝送の 400GBase-DR4 等で要求される 53.1 Gbaud PAM4 伝送にも貢献できるよう、G0374A 64 Gbaud PAM4 DAC を用意しております。

32 Gbaud PAM Converter (MZ1834A, MZ1838A)、および 64 Gbaud PAM4 DAC の両ソリューション共ジッタの透 過性がありますので、PAM4 の信号にジッタを印加し、ジッタ耐力試験を実施することも可能です。



Recommended cables: Data Cables 80 cm (J1612A x4) Clock Cable 130 cm (J1611A)



3. PAM 信号の BER 測定

ここでは、2章に発生方法を記載した PAM4 信号の BER を測定する方法について記載します。

図 3.1 に PPG1 と PPG2 のパターンで生成される PAM4 信号を示します。下段の波形の横に Threshold と記載しているのは、PAM4 の振幅値を判断する閾値電圧を示します。PAM4 の場合は、 4 値のため、各電圧値を識別するために 3 つの閾値電圧が必要になります。



図 3.1 PAM 信号と BER 測定時の Threshold の関係

Threshold2 に対応するパターンは、PAM を生成する際に最大の振幅で発生させている PPG2 のパターンと 同一になります。そして PPG1 のパターンは、Threshold1 と Threshold 3 に半分ずつ現れます。図中で波形 とともに青色の網掛けが被せてある部分が PPG1 のパターンです。PPG1 のパターンは、Threshold2 = 0(Low)の場合は、Threshold3 に、Threshold2 = 2(High)の場合は、Threshold1 に現れます。

このように各 Threshold で期待されるパターンが既知の場合には、そのパターンを Error Detector (以下 ED)に設定することにより、PAM 信号の BER を測定することができます。

Threshold 1 および 3 に対するデータパターンは、1 つの PPG から発生されたデータパターンが 2 つに分割 されたものであるため、測定された BER は、真の BER とは異なります。PPG1 から出力されたデータパター ンは、Threshold1 と Threshold 3 に対応する 2 つの ED で測定されます。PPG2 のパターンがマーク率 1/2 と仮定すると、Threshold1 パターン列と Threshold 3 パターン列のそれぞれ 50%が測定対象になります。 そのため PPG1 の測定結果を、単純に Threshold1 および Threshold 3 の和にしてしまうと、測定対象外の Error Count が含まれるため、Error Count の値が大きくなる可能性があります。 ここで、PAMのBERを測定するために測定器に求められる要件を3つ記載します。

 PAM 信号の BER 測定には、各 ED に設定するパターンが既知であることが前提です。そのためには、PAM を発生させる複数の PPG は、クロス点が同じタイミングで変化するクロック同期だけではなく、ビット パターンも同期している必要があります。

アンリツの MP1800A Signal Quality Analyzer PPG は、PPG から発生するユーザプログラマブルパター ンのパターン発生位置を相互に+/- 128 bit 可変させたり、PRBS のパターン周期を 1/2 周期ずらしたり 1/4 周期ずらしたりしてパターンを発生させることが可能です。そのため、2 つの PPG に PRBS23 段 (8388607 bits)を設定し、各 PPG のパターンを半周期ずらすことで相関性をなくした状態で、PAM4 信 号を生成することが可能になります。また、PPG のパターンが既知であるため、ED 側に設定するパター ンも簡単に用意できます。

2) 2 つめの要件は、ED の入力感度です。PAM4 信号の振幅を差動で 1.2 Vpp の信号を伝送すると仮定した 場合、各 ED に求められる Single-Ended の電圧識別範囲は、600 mVpp の 1/3 の 200 mVpp になりま す。さらに、ED で BER を同時に測定する場合は入力信号を Power Divider 等で 3 分岐する必要があり ます。その場合、Power Divider で分岐した後の振幅は 70 mVpp 以下となるため、ED には高い入力感 度が必要になります。



図 3.2 各 ED の入力振幅

すなわち ED には、数 10 mV の Eye Height の信号を測定する性能が求められることになります。アンリ ツの ED MU18304xB シリーズは、Eye Height 10 mVpp (Typical @ 28.1 Gbps)の信号を測定可能な、 世界最高の入力感度を持っており、このような小振幅信号の測定に最適です。

しかし、PAM4 信号は、個々の Eye の振幅が小さいために S/N 比が悪く、測定が難しい場合があります。その場合には、図 3.2 のように Power Divider を二段重ねるよりも、PAM4 Data 信号を 1ch 目の ED の Data 入力に接続し、PAM4 Xdata 側の信号を Power Divider で二分岐し、2ch 目、3ch 目の ED の Xdata 入力に接続して測定することにより、確実に測定することができます。 (図 3.3)。

1200mVpp diff	
600 mVpp single-ended	
200mVpp at each ED level	
PAM4 Data 200mVpp	→ED ch1 Data input: 200mVpp
PAM4 Xdata	→ED ch2 Xdata input: 100mVpp
200mVpp	→ED ch3 Xdata input: 100mVpp

図 3.3 分岐段数の少ない PAM4 測定方法

3) 最後の要件は、先ほど記載した BER 測定をより正確に行うためにパターン内から測定対象外部分を除外 する測定マスク機能です。ED のパターン設定時に、1 bit ごとに測定対象部分を指定することにより、よ り正確な BER 測定が可能になります。 なお、図 3.1 のように、3 つの ED を使用して BER を測定する場合の PAM4 としての Total BER は、以下の計算で求

められます。

PAM4 BER = $\frac{\text{Error Count (Threshold2)+Masked Error count(Threshold1+Threshold3)}}{2 \text{ x Clock count (Threshold2)}}$

4. Anritsu Solution による PAM 信号生成と BER 測定

本章では、具体的にアンリツソリューションを使用して 32 Gbaud / 64 Gbaud PAM4 信号の発生と BER 測定をする方法について記載します。

4.1. 32 Gbaud PAM4 Solution

28G/32 Gbaud PAM4 Solution として使用する機器を表 4.1.1 に示します。2 種類の測定系はそれぞれ、 PAM4 の 3 つの Eye を同時に測定する場合と、3 つの Eye を 1 つずつ順番に測定する場合を示しています。

				3 Eye 同時測定	3 Eye 逐次測定
Model Number	Model Name	Required Option	Note	Qty.	Qty.
MP1800A	Main Frame	002, 015, 032		1	1
MU181000A	Synthesizer			1	1
MU183020A	PPG (2ch)	023, 031		1	1
MU492044 D		000 *0)	High Sensitivity	1	
MU183041B	ED (4ch)	022 3)	10 mV (eye height)	I	
MU492040B	ED (1ch or 2ch)	010 or 020	High Sensitivity		1
WU 103040D			10 mV (eye height)		
MZ1834B	4PAM Converter		K(m)x2 – K(f)x3	1	1
K240C	Power Divider		K(f)-K(f)-K(f)	1 * ¹⁾	
K241C	Power Splitter		K(f)-K(m)-K(f)	1 * ¹⁾	
14 400 4 *2)	Convial Cable 0.0m		K(m)-K(m)	2	
J1439A -/	Coaxial Cable 0.8m		For FD - K241/0C	3	

表 4.1.1 32 Gbaud PAM4 Solution 機器構成

本構成には、DUT との接続に必要な Cable は記載していません。

*1) Single-end 測定時。差動信号測定時には倍の数量が必要です。

*2) Single-end 測定時。差動信号測定時には、J1551A Skew Matched Cables が同数量必要です。

*3) Clock Recovery が必要な場合に追加ください。

まずは3つの Eye を同時に測定する系について記載します。

PPG は、1 モジュールで 2ch の PPG を内蔵している MU183020A を使用します。2ch PPG の Data / Xdata 出力に直接 MZ1834B を接続することにより、PAM4 信号を発生させることができます。

振幅、オフセット等 PAM 信号設定は、下記アンリツ Web サイトからダウンロード可能な、PAM アプリケ ーションソフトウェアを使用できます。

Japan: http://www.anritsu.com/ja-JP/test-measurement/support/downloads/software/dwl17288 USA: https://www.anritsu.com/en-us/test-measurement/support/downloads/software/dwl17288 Europe: https://www.anritsu.com/en-gb/test-measurement/support/downloads/software/dwl17288 ASIA: https://www.anritsu.com/en-au/test-measurement/support/downloads/software/dwl17288



図 4.1.1 PAM 信号設定ソフトウェア

3 つの Eye の同時測定用として、PAM4 信号を K240C+K241C の Power Divider セットにより 3 分岐しま す。ED は、3ch 必要になるため、1 モジュールで ED を 4ch 内蔵している高感度の MU183041B 4ch High Sensitivity ED を使用します。測定時に ED の Clock Recovery を使用する場合には、ED の 1ch 目には、PAM4 中央の Eye の閾値を設定しておき、2ch 目、3ch 目でそれぞれ Top, Bottom の Eye を測定します。これは、 MU183041B の Clock Recovery 回路が、1ch 目の入力に接続されており、1 と 0 の比率が 50%である中央 の Eye は、Clock Recovery の入力として最適なためです。参考までに、PAM4 を PRBS で発生している場合、 Top Eye の 0 の割合は 75%、Bottom Eye の 1 の割合は 75%となり、Clock Recovery に入力する信号とし ては適切ではありません。

図 4.1.2 に 3 つの Eye の同時測定系を示します。



図 4.1.2 PAM4 発生と 3Eye 同時測定系

次に3つの Eye を1つずつ順番に測定する系(図4.1.3)について記載します。



図 4.1.3 PAM4 発生と 3Eye 逐次測定系

発生側は前述と同様です。測定側は、Eye を1つずつ順番に測定するため、前述の系の4ch ED ではなく、 1ch ED を使用することができます。もちろんこの場合は、ED で受信する信号をリアルタイムに全 bit 測定す るわけではありませんが、3つの Eye を順番に測定することで、信号品質の傾向を把握することができます。

3 つの Eye を順番に測定する系で、Clock Recovery を使用する場合は、1ch ED ではなく、2ch ED を使用 します。4ch ED の場合と同様に 1ch 目には中央の PAM4 Eye の閾値を設定し、2ch 目で BER 測定を行いま す。この場合、PAM4 の信号を ED に入力する前に Power Divider で分岐するか、Data 側を 1ch 目に、Xdata 側を 2ch 目に接続する方法があります。

MP1800Aは、PAM43つのEyeの同時測定、逐次測定いずれにも対応した測定アプリケーション(図4.1.4) を内蔵していますので、お客様の構成に合わせたソリューションを提供可能です。

PAM BER Measurer	ment		1.4.5	04335	10.00	×				
3 Eye Parallel 3 Eye Serial Close Close										
Time	Single	▼ 00 00:00:01	-							
Pattern	PRBS15	Change the PP	G Combination setting to Combination	.						
Auto Search	PAM Coarse	Combination:	2ch							
Module	Unit1-Slot4-Data	1 💌								
Result										
	Thres	hold Phase		Error Rate	Error Count	Alarm				
	Data	XData	1							
ј✔ Тор	} ∨ }	····· v }····	mUl							
Middle	} ∨ }	v	mUl							
I Bottom	v -	v	mUI							
			Total							
			Frequency (MHz)							
	0) %		Date&Time	• 2	016/07/19 17:25:17				

図 4.1.4 2 つの PAM4 測定アプリケーション

4.1.1 32 Gbaud PAM 用 PPG の設定

PPG1 と PPG2 は、それぞれの相関を最小にするために、PRBS のパターン周期を相互に半分ずらす、[2ch Combination]に設定します。

[1:1:1] 28G/32G 4ch PPG Data1 💌			
Output Pattern Error Addition Pre-Code Misc1 Misc2	D		
Clock Setting			
Clock Source Unit1:Slot6:MU181000B			
Bit Rate 32.100000 = Gbit/s Offset 0			
Output Clock Rate Halfrate			
Con	nbination Setting	1	×
Reference Clock Internal	Orientian	Combination	
Combination Setting	Cladenender	2ch	OK
Operation Combination	independent	2ch	Cancel
Setting Combination 4ch	 Combination 	4ch 2ch CH Sync	
	C Channel Syr	nchronization	
\longrightarrow			_
	Data Interface	Combination	
	Date 4		
	Data 1 Data 2	2ch PPG	
	Data 3	2ch PPG	1
	Data 4	200000	1

図 4.1.1.1 2ch Combination Setting

- 図 4.1.1.1 のように、PPG 設定画面の[Misc2]タブから[Setting…]ボタンを押し、Combination Setting スクリーン内の[Operation]領域内で、[Combination]を選択します。
- MU183020A ではなく、MU183021A 4ch PPG をご使用の場合は、さらに、Combination 領域内で、
 [2ch]を選択してください。
- 図 4.1.1.2 のように、PPG 設定画面中、[Pattern]タブで、Test Pattern を選択します。ここでは、[PRBS] を選択します。Length から、[2^7-1]を選択します。



図 4.1.1.2 Pattern Setting

- 4) PAM Control Software を起動し、Amplitude 1,2,3 を設定します。
- 5) サンプリングオシロスコープを用いて、PAM4 波形を確認します。
- 6) PAM4 波形上で Skew が観測される場合は、PPG の Delay を使用して Skew が最少になるよう調整くだ さい。

4.1.2 32 Gbaud PAM 用 ED の設定

3 章に記載したように、Threshold1 と Threshold 3 用の ED 側パターンは、通常の PRBS パターンから変更 する必要がありますので、PRBS パターンではなく、User Programmable パターンを使用します。 2 つの PPG のパターンを PRBS7 に設定した場合の例を用いて説明します。PAM4 信号は、PPG1 に対する PPG2の振幅を2 倍にした場合、図4.1.2.1の信号レベルになります。これを各 ED が測定する 3 つの Threshold に分割します。Threshold2 は、PPG2 のパターンそのものですので、今回は、PRBS7 です。Threshold1 は、 PAM4 の信号レベルが"3"となる bit を"H"レベルとし、それ以外の bit を"L"レベルとして設定します。 Threshold3 の場合は、PAM4 信号レベルが"0"となる bit を"L"レベルとし、それ以外の bit を"H"レベルとし て設定します。



図 4.1.2.1 PAM4 信号の ED パターン

MP1800A には、PAM4 検証に使用可能なパターンが、下記フォルダに格納されています。
 <C:¥Anritsu¥MT1800A¥Pattern Files¥PAM_Pattern>

以下、PRBS7 を例に説明します。

- 2) 図 4.1.2.2 のように、ED 設定画面中、[Pattern]タブで、Test Pattern を選択します。
- Threshold1 用 ED1 では、[Data]を選択します。この設定により、User Programmable パターンが使用できます。さらに、PN7_upper_bin.txtをロードします。
- 4) Threshold2 用 ED2 では[PRBS]を選択します。また、Length から、[2^7-1]を選択します。
- 5) Threshold3 用 ED3 では、[Data]を選択します。さらに、PN7_lower_bin.txt をロードします。

Result Measur	ement Pattern Input	Capture Misc1 Misc2
_ Test Pattern –	PRBS 💌	-Logic-POS 💌Bit Shift-1bit 💌
Length	PRBS ZeroSubstitution	Edit
Mark Ratio	Data Mixed	

図 4.1.2.2 ED の Pattern 設定

上記で読み込んだ Data Pattern は、すでに除外すべき bit をマスクし、正確な BER を測定できる状態です。

ここでは、測定対象から除外すべき bit をマスクする方法を記載します。除外対象となる bit は、Threshold1の場合、Threshold2 が"0"となっているのと同じタイミングの bit です。Threshold 3の場合は、Threshold2 が"2"となっているのと同じタイミングの bit が対象外になります。図4.1.2.1の Threshold2, Threshold3の横で、網掛けされていない部分が、測定除外対象の bit です。

- 6) [Pattern]タブで[Data] [Edit]を押すと、Pattern Editor が表示されます。図 4.1.2.3 を参照してくだ さい。
- 7) [Format]項目で、[BIN]を選択すると、Pattern Editor 下部のパターン表示領域に測定パターンが Binary 表示されます。
- 8) [Block Window] チェックボックスにチェックを入れます。
- 9) 測定対象から除外したい bit を選択していくと、選択した bit は、青く網掛けされていきます。青く網掛けされている bit は、測定対象から除外され、Error が発生したとしても計算には含まれません。
- 10) マスクの設定が完了したら、[OK]ボタンを押して編集を保存します。

- Test Pattern - Data 💽 - Logic - Po	
Length 134217728 bits	Loading Edit
	Pattern Editor
	File(E) Edit(E)
	Q Q x1 OK
	Number of Block Display Format Marker Cursor Coverwrite Cancel
	Row Length Table Bin OFF C Marker C Insert
	Data Length 127 Range
	Number of Row Whole Any Direct 0 1 Reverse Pattern
	Edit Block Window Bit Window
	Atemate
	0 31
	00000000 00000032 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 0 1 1 1 1 1 0 1 1 1 1 0 1 1 1 0 0 1
	Cursor Addr 0

図 4.1.2.3 Pattern Editor 上でのマスク設定

11) Threshold1 と Threshold3 用の ED は、図 4.1.2.4 に示す様に Block Window ボタンを ON にしてマス ク機能を有効にします。

Result Measurement	Pattern Input Cap	oture Misc
– Test Pattern – Data	-Logic	POS 💌
Length	127 bits	Loading Edit
Mack		
Block Window	N Bit Window OF	F External Mask OFF

図 4.1.2.4 Block Window 機能の有効化

12) 最後に、ED の入力設定を行います。

Single-ended での測定をする場合には、特に設定する項目はありませんが、PAM4 を Differential 測定す る場合には、ED Input Tab から、Input condition を Differential 50ohm – Independent に設定してくだ さい。PAM4 信号では、Top eye と Bottom eye のパターンが異なるため、Differential で Top / Bottom eye を測定する場合は、Data と Xdata で設定する Threshold Level を逆にする必要があります。つまり、Top eye を測定する場合、Data 側の Threshold は、Top eye の Threshold にしますが、Xdata 側の Threshold は、 Bottom eye の Threshold に設定する必要があります。



図 4.1.2.5 ED Input Setting

13) 以上で PPG、ED の設定が完了しましたので、各 ED の対象となる Threshold を調整すれば、PAM の BER を測定することができます。

図 4.1.4 に示したように、MP1800A には、2 つ PAM4 BER 測定方法があります。 4ch ED あるいは 2ch ED を 2 枚使用する場合には、図 4.1.4 で示したように、Top, Middle, Bottom の Eye をそれぞれ測定する ED を指定します。

ED が 1ch の場合には、図 4.1.2.6 に示すように、Top, Middle, Bottom の Eye を順番に測定し、Total BER 測定結果を表示します。1ch の ED で順番に BER 測定を行いますので、測定結果は、全 Bit をもれなく測定し たものではありません。BER の本質にたちかえり、測定結果は Probability になります。

	ement						
Eye Parallel 3 E Measurement Cor	ye Serial				•	Start Sto	Close
Time	Single	-	00 00:00:01	-			
Pattern	PRBS15	-	Change the P	PG Combination setting t	0		
Auto Search	PAM Coarse	-	Operation: Combination:	Combination 2ch			
Module	Unit1-Slot4-Dat	ta1 💌]				
tesult							
	Thre	shold	Phase		Error Rate	Error Count	Alarm
	Data	XData		-			
• Тор	V	·	V	mUI			
Middle	V		v	mUl			
F Bottom	V		v	mUI			
				Total			
				Frequency (MHz)			
		0 %			Date&Time	•	2016/07/19 17:25:17

図 4.1.2.6 1ch ED を使用した PAM4 の逐次測定

4.1.3 32 Gbaud PAM4 Patterns

4.1.2 章で紹介した上記マスク情報があらかじめ設定された PAM 用のパターンは、MP1800A 本体内の下記 フォルダに格納されていますので、このパターンを使用する限り、お客様自身でマスク情報を編集する必要は ありません。

<C:¥Anritsu¥MP1800A¥Pattern Files¥PAM_Pattern>

表 4.1.3.1 に、MP1800A に格納してある PAM4 測定用 Pattern およびその説明を記載します。

Pattern name	Desctiption
PRBS7, 9, 10, 11, 15, 20	PRBSを二つのPPGで発生しPAM4 Converterで合成したパターン
PRBS13Q, PRQS10	PRBS発生回路と同じ回路で発生でき、ランダム性はPRBSと同等のままPAM4に展開 できることから、PAM4テストパターンとして定義されているパターンです。 PPOSは Psoudo Pandom Outparagy Seguagoの PS PPRSは20-1の長さを持ちます。
	が、PRQSは、4 ⁿ -1の長さを持つ数列です。
Gray PRBS13Q	CEI-56G-VSR-PAM4で規定しているTransmitter OutputやReceiver Inputの振幅, Eye Height, Eye Width, VEC性能をスコープで評価するためのパターンです。パターン 長(8191ビット)はスコープでキャプチャー可能な長さで、ランダム性の高い次数が選択さ れています。 また、PAM4信号は2ビットのペアで4レベルを表現しますが、1レベルの変動に対して、 01→10のように2ビットの変動を検出してしまう場合があります。それを避けるため、送 信側ではGray code(00⇒00, 01⇒01, 10⇒11, 11⇒10)、受信側ではその反対のGray Decodeが用いられます。
SSPR	Short Stress Pattern Randomの略。SSPRパターンはCEI 3.1で定義されている 32,762bit長のパターンで、パターン長はPRBS15相当で、テスト信号としてのwander面 でのストレス性が高いことから、PAM4評価用パターンとして検討されています。
JP03A	"0303…"パターン列で、TransmitterのRjジッタ評価用パターン。
JP03B	"03"が15連続、つづいて"30"が16連続するパターンです。TransmitterのEven-Oddジッ タ評価用パターンです。
Square	"3333333300000000"パターン列で、光インターフェースのOMA評価用に使用します。

表 4.1.3.1 PAM4 pattern description

4.2. 64 Gbaud PAM4 Solution

56G/64 Gbaud PAM4 Solution として使用する機器を表 4.2.1 に示します。

Model Number	Model Name	Required Option	Note	Qty.
MP1800A	Main Frame	002, 015, 032		1
MU181000B	4port Synthesizer			1
MU183020A	PPG (2ch)	022, 031		2
MU183040B	ED (2ch)	020	High Sensitivity 10 mV (eye height)	1
MP1862A	56G/64Gbit/s DEMUX		Guaranteed up to 56Gbps with PRBS7 and PRBS15	1
G0374A	64Gbaud PAM4 DAC		Works up to 64Gbaud PAM4 / NRZ.	1
J1612A	Coaxial Cable 0.8m		K(m)-K(m) for data, Skew < 3ps.	6
J1661A	Coaxial Cable 1.3m		K(m)-K(m) for clock	3

表 4.2.1 64 Gbaud PAM4 Solution 機器構成

本構成には、DUT との接続に必要な Cable は記載していません。

図 4.2.1 に 56G/64Gbaud PAM4 Solution の接続図を示します。MP1800A の 32G 2ch PPG を 2 枚使用 し、4 本の Data 信号を G0374A 64 Gbaud PAM4 DAC に接続することにより、4.8 Gbaud から 64 Gbaud までの PAM4 および NRZ の信号を発生させることができます。PPG の Data 出力と、G0374A の Data 入力 を接続する 4 本のケーブルは、Skew の差が 3ps 以下に保たれている J1612A を使用します。ここで使用す るケーブル間の Skew が大きい場合、G0374A の入力部の位相余裕が減少し G0374A の Data 出力からエラ ーが発生する可能性があるのでご注意ください。また、高周波信号を扱うケーブルは、購入時に Skew や周波 数特性が規定されていても、使用中に強い曲げが加えられたり、強い圧力が加えられたりすると、その後は当 初の性能が保証されなくなりますので、ケーブルの扱いも合わせてご注意ください。

受信側は、MP1800A 32G 2ch ED と接続した MP1862A を使用することにより、56 Gbaud までの PRBS15 で BER 測定が可能です。また、アンリツでは、G0374A で発生させた PAM4 信号を MP1862A で測定するための PRBS7 および PRBS15 のパターンも提供可能です。



図 4.2.1 56G/64Gbaud PAM4 Solution

4.2.1 64 Gbaud PAM 用 Tx 側の設定

まず、PPG の設定を行います。G0374A に接続する PPG は、4ch ありますので、これら 4ch の同期設定を 行います。PPG の Misc2 Tab から Combination Setting の Setting を押し、Combination Setting Dialog を開きます。その中の左上部の Operation 設定を Combination にし、右側の Combination 設定から 64Gx2ch を選択します。



☑ 4.2.1.1 PPG Combination setting

これにより、2 枚の 2ch PPG の出力タイミングが、相互にずれるため、64 Gbaud PAM4 を発生させる場合に、出力 Data 間の相関を少なくすることができます。

次に、PPG Misc2 Tab で Output Clock Rate を Full rate に設定します。さらに、4ch すべての PPG Data の出力振幅を 1.0 Vpp、オフセットを Vth 0V に設定します。振幅とオフセット両方を、4 つの Channel に設 定する必要があるため、図 4.2.1.2 に示している PPG Misc2 Tab の Grouping Setting を使用すると、一度に 4 か所の設定をすることができ、便利です。

[1:1:1] 28G/32G 4ch PPG Data1 💌					
Output Pattern Error Addition Pre-Code Misc1 Misc2					
Clock Source Unit1:5	Unit1:Slot6:MU181000A 💌				
Bit Rate 18.00	18.000000 😴 Gbit/s Offset 0 🛫 ppm				
Output Clock Rate Halfrate					
Reference Clock Internal					
Combination Setting Operation Setting					
Grouping Setting Setting Data1-4					
Tab	Outrout	Dettern			
Data1-4	Output	Pattern			
Data1	\searrow				
Data2	\searrow				
Data3	\geq				
Data4	\leq				

☑ 4.2.1.2 Group Setting and Clock output setting

これで PPG の設定は完了です。次に、PPG と G0374A のタイミング調整手順を記載します。

A) 2 つの 2ch PPG の Test Pattern を両方とも Data に設定し、パターン長を 16 bits、パターンの中身を
 "0001 1011 0010 0111"に設定します。

Output Pat	ern Error Addition	Pre-Code Misc1 Misc2
- Test Patter	n – Data	▼-Logic-POS ▼
Length	268435456	bits 🗖 Loading Edit

図 4.2.1.3 Pattern Setting

B) PPG の全 Channel の Delay 値をすべて同じ値、たとえば 0 mUI、に設定します。 Delay の値は、 PPG の Output Tab で設定します。

Output Pattern Error Addition Pre-Code Misc1 Misc2					
Bit Rate Monitor 32.10000 Gbit/s	Clock ON 💌				
Data/XData ON V Offset Von V	[
Tracking OFF					
Level Guard OFF Setup	VD-t-				
Data Defined Interface Variable	Variable				
Amplitude 1.000 - Vpp	1.000 TVpp				
Amplitude 1.000 Vpp	1.000 Vpp				
Loffset 0.000 V	0.000 V				
Cross Point 50.0 💉 %	50.0 📑 %				
Delay E 💿 📑 mUl 🗘 0.00	ps 🔳 Calibration				
Relative 0 mUI					
Jitter Input OFF Unit Offset	0 nUI				
1					

☑ 4.2.1.4 PPG Delay Setting

 C) 上記 A),B)の設定で信号を発生させた結果、図 4.2.1.5 のようになっていることを観測します。もし 観測波形が図 4.2.1.5 と異なる場合は、同じ波形になるようにすべての Channel の PPG Delay 値を 100 mUI ステップで調整してください。



図 4.2.1.5 01230213 Pattern

D) C)の調整が完了し、図 4.2.1.5の状態になりましたら、PPGの Pattern を PRBS15 に設定してください。この状態で、1 bit ごとの Eye の幅の大きさが均等になるように G0374A 正面パネル上の DATA DUTY Adj. 調整ボリュームで調整します。



図 4.2.1.6 DCD Adjustment

E) 最後に、G0374A 正面パネルで PAM4 出力振幅を調整し、波形調整は完了です。

4.2.2 56 Gbaud PAM 用 Rx 側の設定

MP1862A 56G/64Gbit/s DEMUX を使用することにより、IEEE や OIF で議論されている 53.1 Gbaud PAM4 の BER 測定をすることができます。MP1862A では、PRBS15 のパターンを使用し、56 Gbaud PAM4 まで BER 測定が可能です。

アンリツでは、MP1862A DEMUX で 56 Gbaud PAM4 の BER 測定をするための PRBS7, PRBS15 のパタ ーンを用意しています。なお、本パターンには、32 Gbaud PAM4 のパターンのようにマスクが設定されてお らず、PAM4 信号の Top 側、Bottom 側の測定では不要な測定箇所も測定するため、信号によっては理論上多 めの誤りが測定されることがあります。

PAM4 BER 測定の際には、MP1862A の Threshold を測定対象の Sub eye (Top / Middle / Bottom)に合わせて変更します。Single-ended かつ Middle eye 測定時には、Auto Search 機能を使うことにより、自動的に最適 Threshold を探索することができます。

5. まとめ

本 Application Note では、32 Gbaud, 64 GbaudPAM 信号を評価するための発生方法と BER 測定の方法 および測定器に要求される要件について記載しました。

アンリツは今後も、お客様の最先端研究に貢献する測定ソリューションを提供し続けていきます。

Anritsu envision : ensure

お見積り、ご注文、修理などは、下記までお問い合わせください。 記載事項は、おことわりなしに変更することがあります。

アンリツ株式会社 http://www.anritsu.com 本社 〒243-8555 神奈川県厚木市恩名5-1-1 TEL 046-223-1111 ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。 厚木 〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5 計測器営業本部 TEL 046-296-1202 FAX 046-296-1239 計測器営業本部 営業推進部 TEL 046-296-1208 FAX 046-296-1248 仙台 〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1 住友生命仙台中央ビル 計測器営業本部 TEL 022-266-6134 FAX 022-266-1529 名古屋〒450-0003 愛知県名古屋市中村区名駅南2-14-19 住友生命名古屋ビル 計測器営業本部 TEL 052-582-7283 FAX 052-569-1485 大阪 〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101 大同生命江坂ビル 計測器営業本部 TEL 06-6338-2800 FAX 06-6338-8118 福岡 〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28 ツインスクエア 計測器営業本部 TEL 092-471-7656 FAX 092-471-7699 ■カタログのご請求、価格・納期のお問い合わせは、下記または営業担当までお問い合わせください。 計測器営業本部 営業推進部 TEL: 0120-133-099 (046-296-1208) FAX : 046-296-1248 受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く) E-mail : SJPost@zy.anritsu.co.jp ■計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。 計測サポートセンタ-TEL: 0120-827-221 (046-296-6640) 受付時間/9:00~12:00、13:00~17:00、月~金曜日(当社休業日を除く) E-mail: MDVPOST@anritsu.com ■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。 また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。 再生紙を使用しています。 公知

1602