

YM2413アプリケーションマニュアル

本記載内容は、YM2413データシート（日本語版）、YM2413アプリケーションマニュアル(英語版)、MSX-Datapackを参考に作成しています。
また、赤字記載内容は裕之が独自に解釈or解析した結果を記載しています。

YM2413データシートは、下記公式ページより入手することが可能です。

[製品情報 サウンドジェネレーターLSI 半導体 YAMAHA\(http://www.yamaha.co.jp/product/lsi/prod/sgl/\)](http://www.yamaha.co.jp/product/lsi/prod/sgl/)

YM2413アプリケーションマニュアルは、下記ページを参照させていただきました。

[YM2413 FM Operator Type-LL \(OPLL\) Application Manual\(http://www.smspover.org/maxim/docs/ym2413am/\)](http://www.smspover.org/maxim/docs/ym2413am/)

目次

[1.OPLLの概要](#)

[1-1 概要](#)

[1-2 特徴](#)

[1-3 FM方式の概要](#)

[2.機能](#)

[2-1 機能概要](#)

[2-2 端子配置図](#)

[2-3 端子機能](#)

[2-4 端子制御](#)

[2-5 チャンネルとスロット](#)

[2-6 ブロック図](#)

[2-7 レジスタマップ](#)

[3.動作説明](#)

[3-1 レジスタ](#)

[3-2 フェイズジェネレーター\(PG\)](#)

[3-3 エンベロープジェネレーター\(EG\)](#)

[3-4 オペレータ\(OP\)とDAコンバーター\(DAC\)](#)

[4.インターフェース](#)

[4-1.クロック生成](#)

[4-2.オーディオ出力](#)

[4-3.プロセッサ接続](#)

[5.OPLLでの楽音の作り方](#)

[5-1.音作りの考え方](#)

[5-2.音作りの基本](#)

[5-3.音作りの例](#)

[5-4.リズム音について](#)

[6.電気的特性](#)

[7.タイミング図](#)

[8.パッケージ外形図](#)

1.OPLLの概要

1-1 概要

OPLL (FM OPERATOR TYPE-LL)は、音源としてYAMAHA独自のFM音源を採用するとともに、DAコンバーターや水晶発振回路を内蔵しているため従来の音源LSIに比べて、非常に容易にかつローコストで音源システムを組み立てることが可能です。さらに本LSIでは、ソフトウェアの簡便さを図るため音色データをROMとしてもち音色変更にもちデータ変更を一度の音色選択操作ですませることができます。また、効果音や独自の音色も発音可能とするために1音色分の音色データレジスタも内蔵しています。尚内蔵音色データはキャプテン・文字多重放送に対応した音色をもっております。

1-2 特徴

- ・ FM音源を採用し、リアルなサウンドを作ることが可能
- ・ モード選択により9音同時発音あるいはメロディー音6音・リズム音5音の2つのモードを選択可能（いずれの場合にも異音色可）
- ・ 音色データ内蔵（メロディー音15音色・リズム音5音色～キャプテン・文字多重放送対応）
- ・ DAコンバーター内蔵
- ・ 水晶発振回路内蔵
- ・ ビブラート発振器 / 振幅変調発振器内蔵
- ・ 入力TTLコンパチブル
- ・ 5V単一電源

- ・ Si-Gate NMOS LSI
- ・ 18ピンプラスチックDIP (YM2413B) 、または24ピンプラスチックSOP (YM2413B-F)

1-3 FM方式の概要

FM方式とは、Frequency Modulationすなわち周波数変調の意味で、変調によって生じる高調波を楽音の合成に利用したものです。この方式は比較的簡単な回路で、非調和音も含む高い高調波成分を持つ波形を発生させることができ、しかも変調指数と高調波のスペクトル分布の対応が非常に自然であるため、自然楽器の合成音から電子楽器まで、幅広い音作りが可能ということが確認されています。

FM方式は以下の式のように4つのパラメータで表現されます。

$$(式1) \quad F = A \sin(\omega c t + I \sin \omega m t)$$

ここでは、Aは出力振幅、Iは変調指数、また ωc 、 ωm はそれぞれキャリア、モジュレータの各周波数です。この式1は次のように表現することもできます。

$$(式2) \quad F = J_0(I) \sin \omega c t + J_1(I) \{ \sin(\omega c + \omega m)t - \sin(\omega c - \omega m)t \} + J_2(I) \{ \sin(\omega c + 2\omega m)t + \sin(\omega c - 2\omega m)t + \dots \}$$

ここで、 $J_n(I)$ はn次の第1種Bessel関数です。(式2)式からわかるように各倍音の振幅は、変調指数のBessel関数で表現されることになり、式1によるFM音源は特定の楽音や効果音の合成に非常に有効となることがわかります。ただし、これでは高調波が一様に分布しないためString系の音源には不向きとなります。そこで、考え出されたのが(式3)で表されるfeedback FMという方式です。

$$(式3) \quad F = A \sin(\omega c t + \beta F)$$

ここで β は帰還率です。このfeedback FMでは、高調波スペクトルが鋸歯状波となりString系の音作りも可能となります。以上のような、FM方式を実現するためには、次の3つの機能ブロックが必要です。

1. ωt を発生させるphase generator (PG)
2. 振幅Aや変調指数Iを時間関数として得るためのenvelop generator (EG)
3. sinテーブル (sin)

以上の3つの構成要素を組み合わせると1つのユニットとして考えると、先のFM方式は図1-1のように表すことができます。したがって、このユニット（オペレータセル：OP）の考え方をいれれば、FM方式の音作りは、ユニット内の周波数パラメータやEGパラメータの設定、そしてユニット間の組み合わせのデータを作ればよいことになります。

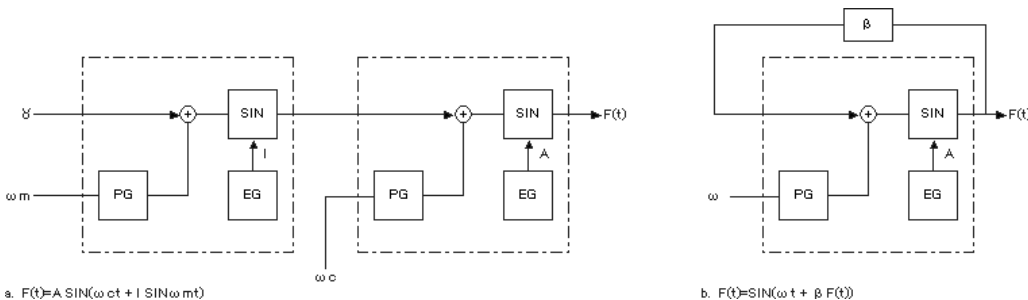


図1-1 ユニットセルによるFM方式の表現

2.機能

2-1 機能概要

OPLLは9ビットDAコンバーターを内蔵したFM音源LSIであり、メロディー音を9音あるいはメロディー音6音・リズム音5音の2つの発音モードをもち、両モードとも同時異音色発音が可能です。さらにこの両モードをソフトウェアで選択することも可能です。本LSIの特色の1つは、音色ROMを内蔵していることです。この音色ROMは、別表のごとくメロディーに対して15音色・リズムに対して5音色用意されています。また表からもわかるようにキャプテン・文字多重放送に用いられる音色はすべて組み込まれています。したがって、これら機器（キャプテン・アダプター、文字多重放送受信機内蔵TV）への応用が容易になります。また、効果音や独自の音創りが可能なように1音色分の音色レジスタがあります。この音色レジスタの各パラメータは次式のE,W1,I,W2をコントロールすることにより、基本波W1に付するいろいろな高調波を生成することができます。

$$FM = E \sin(\omega_1 t + I \sin \omega_2 t)$$

OPLLは従来のFM音源と異なり、音色がROMとして内蔵されているため、プロセッサからの発音制御が大幅に簡素化されています。最初に音色選択レジスタに希望の音色を登録します。その後Key-ON、F-Numberレジスタに所定の音程とタイミングでデータを書き込むことにより、発音を開始します。この時、曲に合せて適当にサスティンレジスタ、ボリュームレジスタにデータを書き込めば難なくプロセッサによる自動演奏を楽しむことができます。備えつけの音色以外の独自の音色を楽しむ時には、先に述べた音色レジスタにデータをセットした後、音色選択レジスタを'0'にすることにより、オリジナルの音色を出すことができます。またリズム音を発音したい時には、リズムコントロールレジスタの希望音源のビットをON/OFFすることにより、リズム音を付加することができます。この場合、Key-On、F-Numberレジスタの8ch、9ch（アドレス\$17、\$18）は所定のデータを入力しておかねばなりません。

2-2 端子配置図

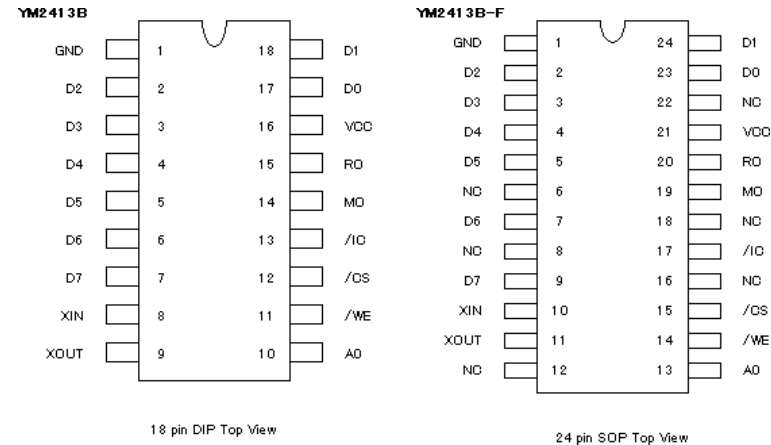


表2-2 ウェイト時間

モード	ウェイト数
アドレスライト	12クロック
データライト	84クロック

2-5 チャンネルとスロット

・チャンネルとスロット OPLLはFM音を9音（9チャンネル）発音することが可能で、1音あたり2オペレータセル持っています。ただし、オペレータセルはシステムで1つ持っているだけなので、FM9音の計算は、このオペレータセルをシリアルに18回通することによってなされます。このオペレータセルを通す順番（スロット番号）は、レジスタ番号と対応しており、各音の発音コントロールはスロットと対応したレジスタを制御することになります。

また、F - Numberのようなチャンネルごとのデータは2つのスロットを制御します。この2つのスロット（第1、第2スロット）の関係は、FM変調モードにした場合は、第1スロットが必ず変調波に、そして第2スロットが搬送波になります。また、第1スロットはFeedbackFMのモードにも設定できます。このモード設定については「KSL / TOTAL LEVEL / DISTORTION / FEEDBACK LEVEL」の項を参照して下さい。

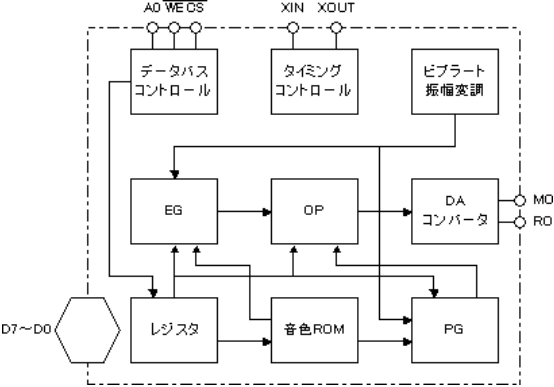
表2-3はチャンネルとスロットの関係を示します。

表2-3 チャンネルとスロット

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	スロット番号
1	2	3	1	2	3	4	5	6	4	5	6	7	8	9	7	8	9	チャンネル番号
1			2			1			2			1			2			チャンネル毎に見たときのスロット番号
20	21	22	20	21	22	23	24	25	23	24	25	26	27	28	26	27	28	チャンネル毎のデータとレジスタの関係(例:\$20～\$28)

※1スロットは4クロック

2-6 ブロック図



2-7 レジスタマップ

アドレス	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0		
00	A M	V I B	E G T Y P	K S R	MULTI				(M)	オリジナル音色レジスタ
01									(C)	
02	KSL	(M)	TL(M)							
03		(C)	-	DC	DM	FB				
04	AR				DR				(M)	
05									(C)	
06	SR				RR				(M)	
07									(C)	
0E	-		R	BD	SD	TOM	TCY	HH	リズム コントロール	
0F	TEST								OPLLテストデータ(常時0)	
10	F-Num. 0～7								F-Number 下位 8bit	
18										
20			S U S	K E Y	BLOCK			F- N u m 8	E-Number MMSB、オクターブ指定 Key-On/Offレジスタ サスティンOn/Offレジスタ	
28			On/ Off	On/ Off						
30	INST				VOL					音色セレクトレジスタ ボリュームレジスタ
38										
リズムモード時のレジスタマップ(Addr=\$0E,D5=「1」のとき)										
36					BD-VOL					リズム音ボリュームレジスタ
37	HH-VOL				DS-VOL					
38	TOM-VOL				T-CY-VOL					

OPLLレジスタの内容

	Address	Bit	
1	00:(M) 01:(C)	7	振幅変調のOn/Off
		6	ビブラートのOn/Off
		5	持続音(=1)と減衰音(=0)の切り替え
		4	RATEのキースケール
		3-0	搬送波と変調波の周波数の制御
2	02:(M) 03:(C)	7,6	LEVELのキースケール
3	02	5-0	変調波のトータルレベル。変調指数の制御。
4	03	4:(C) 3:(M)	搬送波、変調波の歪波形（半波整流）のOn/Off
		2-0	Feed back FMの帰還係数
5	04:(M) 05:(C)	7-4	アタック時のエンベロープ変化割合制御
		3-0	ディケイ時のエンベロープ変化割合制御
6	06:(M) 07:(C)	7-4	ディケイからサスティンへ移るレベルの指示
		3-0	リリース時のエンベロープの変化割合制御
7	0E	5	リズム音モードの選択(0=メロディーモード)
		4-0	各リズム楽器のOn/Off
8	10-18	7-0	F-Numberの下位8ビット
9	20-28	5	サスティンのOn/Off
		4	KeyのOn/Off
		3-1	オクターブ指定
		0	F-Number ビット8(MSB)
10	30-38	7-4	音色ナンバー(INST.)
		3-0	ボリュームデータ

音色データ

INST	音色	INST	音色
0	オリジナル音色	8	オルガン
1	バイオリン	9	ホルン
2	ギター	A	シンセ
3	ピアノ	B	ハーブシコード
4	フルート	C	ビブラフォン
5	クラリネット	D	シンセベース
6	オーボエ	E	ウッドベース
7	トランペット	F	エレキギター

	音色
BD	バスドラム
SD	スネアドラム
TOM	タムタム
TCY	トップシンバル
HH	ハイハット

3.動作説明

OPLLの全機能は、プロセッサからレジスタアレーへのデータの書き込みによって制御されます。この書き込まれたデータによって、楽音のエンベロープ形状や変調度、周波数および発音モードなどが決定されます。そして、このデータの組み合わせが、ピアノやバイオリンなどの音を発生させることになります。しかし、その組み合わせは非常に多く、複雑であるため、OPLLでは音色レジスタに音色ナンバー(INST)をセットすることで音を発生することが出来ます。

3-1 レジスタ

レジスタは2-7のアドレスマップで与えられる計271ビットのエリアを持っています。ここでいうアドレスとはOPLL内で各レジスタに割り当てられたサブアドレスであり、楽音データはこのサブアドレスを通してレジスタ内に書き込まれることになります。
したがって、あるデータをOPLLに格納したい場合は、まず、そのデータをしもうサブアドレスデータを送り、次に楽音データを送ります。ただし、同一サブアドレスを何度もアクセスする場合は、最初にサブアドレスデータを送るだけで、以後はアドレスデータを送ることなしに、楽音データを送って、データを更新することができます。
なお、全レジスタとも初期設定のときには「0」にセットされます。

3-1-1 \$00/\$01 AM/VIB/FG-TYP/KSR/MULTIPLE

このレジスタでは、エンベロープの形状やF-Numberで与えられる周波数データを楽音の周波数成分に見合った搬送波(\$01)、変調波(\$00)の周波数に変換するための倍率を制御します。

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
AM	VIB	EG-TYP	KSR	MUL			
				2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

D3~D0 (MULTIPLE)

表3-1で与えられる倍率によって搬送波、変調波の周波数を制御します。

例：
 $F(t)=E\sin(\omega ft+I\sin(7\omega ft))$
F-Numberによる周波数= ωft
搬送波のMULTIPLE=1
変調波のMULTIPLE=7

表3-1 搬送波、変調波の周波数を求めるための倍率

MUL	倍率	MUL	倍率	MUL	倍率	MUL	倍率
0	1/2	4	4	8	8	C	12
1	1	5	5	9	9	D	12
2	2	6	6	A	10	E	15
3	3	7	7	B	10	F	15

D4(KSR)

RATEのキースケールを与えます。自然楽器では、おおむね音程が高くなるにしたがって、音の立ち上がり、立ち下がりは速くなります。この現象をシミュレートするのがRATEのキースケールであり、表3-2の値が各々の音程に対してスピードのオフセットとして加えられます。したがって、実際のRATEはADSRに対して設定したRATEにこのオフセットを加えたものになります。

RはADSRでの設定値
 $RATE=4\times R+Rks$ Rksはキースケールオフセット値
ただし、R=0のときはRATE=0

表3-2 キースケールオフセット

0	1	2	3	4	5	6	7	オクターブ	
0	1	2	3	4	5	6	7	BLOCK	
0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
0	0	0	0	1	1	1	1	2	2
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

D5(EG-TYP)

持続音が減衰音かの切り換えをします。
D5=「0」のとき、減衰音
D5=「1」のとき、持続音
この発音モードの違いは、RELEASE RATEの使用法が異なっているためで、その様子を図3-1に示します。

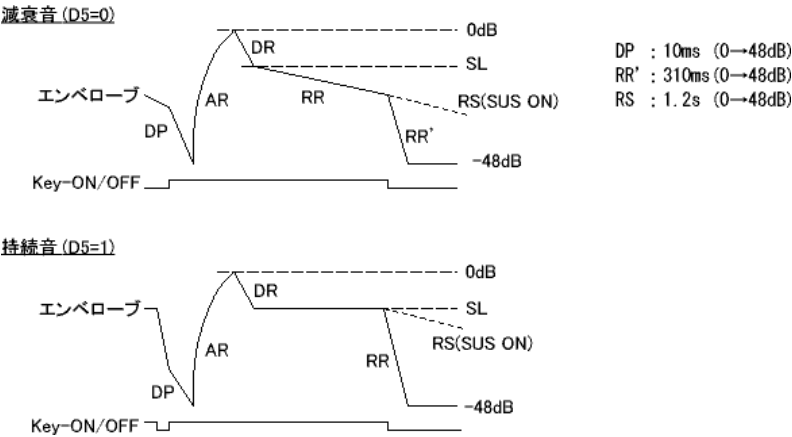


図3-1 OPLLの減衰音、持続音のエンベロープ

D6(VIB)

ビブラートのON/OFFスイッチです。このビットを「1」にすると、そのスロットにはビブラートがかかります。このときの周波数は6.4Hz(@ΦM=3.6MHz)です。

D7(AM)

撮幅変調のON/OFFスイッチです。このビットが「1」にセットされたときには、そのスロットには振幅変調がかかります。振幅変調の周波数は3.7Hz(@ΦM=3.6MHz)です。

トータルレベルは、エンベロープジェネレーターの出力に対して減衰量を加算し、変調度(音色)の制御のために用いられます。また、レベルキースケール(KSL)はRATEのキースケール同様、自然楽器では音程が上がるにつれて、出力レベルは低下する傾向にあることをシミュレートするものです。

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
KSL	Total Level(M)						
	-	DC	DM	FB			

- \$02 D5 ~ D0(Total Level)

最小分解能は0.75dBで、最大47.25dBまで変調度を絞り込むことができます。

表3-3 トータルレベル

	D5	D4	D3	D2	D1	D0
減衰量	24	12	6	3	1.5	0.75

(単位:db)

- \$02 D6 ~ D7(KSL)

キースケールを制御するビットです。キースケールのモードは、音程が上がるほどレベルは減衰し、その減衰量は、1.5dB/OCT、3dB/OCT、6dB/OCTおよび減衰無しの4種類です。

表3-4 減衰量

D7	D6	減衰量
0	0	0
1	0	1.5dB/OCT
0	1	3dB/OCT
1	1	6dB/OCT

表3-5 3db/OCTの場合の各F-Numberでの減衰量

F-Number OCT	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.075	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.125	1.875	2.625	3.000	3.750	4.125	4.500	4.875	5.250	5.625	6.000
3	0.000	0.000	0.000	1.875	3.000	4.125	4.875	5.625	6.000	6.750	7.125	7.500	7.875	8.250	8.625	9.000
4	0.000	0.000	3.000	4.875	6.000	7.125	7.875	8.625	9.000	9.750	10.125	10.500	10.875	11.250	11.625	12.000
5	0.000	3.000	6.000	7.875	9.000	10.125	10.875	11.625	12.000	12.750	13.125	13.500	13.875	14.250	14.625	15.000
6	0.000	6.000	9.000	10.875	12.000	13.125	13.875	14.625	15.000	15.750	16.125	16.500	16.875	17.250	17.625	18.000
7	0.000	9.000	12.000	13.875	15.000	16.125	16.875	17.625	18.000	18.750	19.125	19.500	19.875	20.250	20.625	21.000

F-Numberは上位4ビットの値

1.5dB/OCTは上記の1/2倍

6dB/OCTは上記の2倍

- \$03 D3(DM)

変調波を半波整流する。

- \$03 D3(DC)

搬送波を半波整流する。

- \$03 D2-D0(FEEDBACK)

第1スロットのフィードバックFM変調の変調度を与えます。

表3-6 変調度一覧

	0	1	2	3	4	5	6	7
変調度	0	$\pi/16$	$\pi/8$	$\pi/4$	$\pi/2$	π	2π	4π

3-1-3 \$04/\$05 ATTACK/DECAY RATE

アタックレイトは音の立ち上がり時間の設定をします。また、ディケイレイトは、アタック後の減衰時間を決めます。各RATEの時間設定は表3-7のとおりです。

\$04:変調波

\$05:搬送波

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0

AR				DR			
2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

3-1-4 \$06/\$07 SUSTAIN LEVEL/RELEASE RATE

サスティンレベルは、持続音の場合は、ディケイモードでの減衰がこのレベルに到達するとその後はそのレベルを保持するという変化点を指し、減衰音の場合は、ディケイモードからリリースモードへの変化点を与えます。
リリースレベルは、持続音の場合はKeyをOFFしたときに、音が消えてゆく様子を定義するレートであり、減衰音のときはサスティンレベルの前の減衰をディケイレートで表し、サスティンレベル後の減衰をこのリリースレートで表します。

\$06:変調波

\$07:搬送波

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
SL				RR			
-24dB	-12dB	-6dB	-3dB	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

※リリースレートの減衰時間は、ディケイレートの表と同じ。

表3-7のレートは、キースケール後のレートです。また、レートの値を上位4ビット(RM)と下位2ビット(RL)に分割してRM-RLと表しています。

RATE=RMx4+RL

表3-7 各レートでの立ち上がり、立ち下がり時間

RATE		EG decay time[ms]		EG attack time[ms]	
RM	RL	0dB - 40dB	10% - 90%	0dB - 40dB	10% - 90%
15	3	1.27	0.52	0.00	0.00
15	2	1.27	0.52	0.00	0.00
15	1	1.27	0.52	0.00	0.00
15	0	1.27	0.52	0.00	0.00
14	3	1.47	0.60	0.14	0.10
14	2	1.71	0.68	0.18	0.12
14	1	2.05	0.82	0.22	0.14
14	0	2.55	1.03	0.28	0.18
13	3	2.94	1.21	0.30	0.22
13	2	3.42	1.37	0.34	0.22
13	1	4.10	1.65	0.42	0.26
13	0	5.11	2.05	0.50	0.32
12	3	5.87	2.41	0.54	0.36
12	2	6.84	2.74	0.60	0.38
12	1	8.21	3.30	0.70	0.44
12	0	10.22	4.10	0.84	0.54
11	3	11.75	4.83	0.97	0.64
11	2	13.68	5.47	1.13	0.72
11	1	16.41	6.60	1.37	0.84
11	0	20.44	8.21	1.69	1.09
10	3	23.49	9.65	1.93	1.29
10	2	27.36	10.94	2.25	1.45
10	1	32.83	13.19	2.74	1.69
10	0	40.87	16.41	3.38	2.17
9	3	46.99	19.31	3.86	2.57
9	2	54.71	21.88	4.51	2.90
9	1	65.65	26.39	5.47	3.38
9	0	81.74	32.83	6.76	4.34
8	3	93.97	38.62	7.72	5.15
8	2	109.42	43.77	9.01	5.79
8	1	131.31	52.78	10.94	6.76
8	0	163.49	65.65	13.52	8.96
7	3	187.95	77.24	15.45	10.30
7	2	218.84	87.54	18.02	11.59
7	1	262.61	105.56	21.88	13.52
7	0	326.98	131.31	27.03	17.38
6	3	375.90	154.48	30.90	20.60
6	2	437.69	175.07	36.04	23.17
6	1	525.22	211.12	43.77	27.03
6	0	653.95	262.61	54.07	34.76
5	3	751.79	308.96	61.79	41.19
5	2	875.37	350.15	72.09	46.34

5	1	1050.45	422.24	87.54	54.07
5	0	1307.91	525.22	108.13	69.51
4	3	1503.58	617.91	123.58	82.39
4	2	1750.75	700.30	144.18	92.69
4	1	2100.89	844.48	175.07	108.13
4	0	2615.82	1050.45	216.27	139.03
3	3	3007.16	1235.82	247.16	164.78
3	2	3501.49	1400.60	288.36	185.37
3	1	4201.79	1688.95	350.15	216.27
3	0	5231.64	2100.89	432.54	278.06
2	3	6014.32	2471.64	494.33	329.55
2	2	7002.98	2801.19	576.72	370.75
2	1	8403.58	3377.91	700.30	432.54
2	0	10463.30	4201.79	865.08	556.12
1	3	12028.66	4943.28	988.66	659.11
1	2	14006.80	5602.39	1153.43	741.49
1	1	16807.20	6755.82	1400.60	865.08
1	0	20926.60	8403.58	1730.15	1112.24

備考：レイトが「0」の場合は、エンベロープは変化しません。

3-1-5 \$0E RHYTHM

リズムのモード選択と各リズム楽器のON/OFFをコントロールします。

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
-	-	RHYTHM	BD	SD	TOM	TOP-CY	HH

- D5～D0 (RHYTHM)

D5=「1」のとき、OPLLはリズム音モードになり、7～9チャンネル([「2-5 チャンネルとスロット」](#)参照)はリズム音のチャンネルとなります。したがって、楽音(メロディー部)は6音に制限されます。
D4～D1は各リズム楽器のON/OFFを制御します。このため\$26、\$27、\$28のKEY ONビットは常に「0」にしておく必要があります。また、13～18の各スロットはリズム音と表7.38のような対応をしており、F-Numberのデータは各リズム音にマッチした値を入力しなければなりません。

表3-8リズムスロットと周波数データ

楽器	スロット	アドレス	データ
DB	13、16	\$16	\$20
SD	17	\$17	\$50
TOM	15	\$18	\$C0
TOP-CY	18	\$26	\$05
HH	14	\$27	\$05
		\$28	\$01

3-1-6 \$0F TEST

このアドレスはLSIの内部動作をテストするときに使用しており、「0」以外では正常動作しません。

3-1-7 \$10～\$28 BLOCK/F-Number/SUS/KEY

音階、音程を決めるデータです。F-Numberは\$10～\$18のレジスタと\$20～\$28のレジスタにまたがっています。

\$10～\$18

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
F-Number							
2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

\$20～\$28

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
-	-	SUS ON / OFF	KEY ON / OFF	BLOCK			F- N U M B E R
				2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁸

- D7～D0[\$1x]、D0[\$2x] (F-Number)

\$10~\$18の8ビットと、\$20~\$28の下位1ビットの計9ビットでF-Numberを表します。このF-Numberは音階を与えるデータで、後術する方法でその値を求めます。

• D3~D1 (BLOCK)

オクターブ情報を与えます。
MSX-MUSICでは、MMLで指定したオクターブ-1の値が書き込まれます。したがって、MULTIPLE=1の時、実際に発音される周波数はMMLで指定したオクターブより一つ下のオクターブとなります(O5A=440Hz)

• D4 (KEY ON/OFF)

鍵盤のON/OFFに相当するビットです。このビットを「1」にすると、そのチャンネルがONとなり、発音します。「0」でKEY OFFです。

• D5 (SUS ON/OFF)

このビットを「1」にすると、KEY OFF時のRRが5になります。

■F-Number/Block

OPLLでは、必要な周波数はその周波数に応じた位相の増分を与えることにより、得ることができます。そして、この増分は、F-NumberとBLOCKおよびMULTIPLE情報によって決められます。
そこで、まず希望周波数の増分(ΔP)を求めます。これは次式で求められます。

$$\Delta P = f_{mus} \times 2^{19} \div f_{sam} \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

f_{mus} 希望周波数
f_{sam} サンプル周波数(f_M ÷ 72 = 50KHz)
f_M 入力クロック周波数(3.6MHz)

データシートでは2¹⁸となっていますが、2¹⁹の誤記と思われます。
また、F-Number一覧などは入力クロック周波数3.6MHzで計算されていますが、MSXでは3.579545MHzのため、誤差が発生します

これで位相の増分は求められますが、この値を管理するのはビット数が多く大変なため、増分は1オクターブ分のデータのみとし、各オクターブに対してはその増分をシフト(2倍、4倍...)することによって求められます。これにより増分は次式のように表現できます。

$$\Delta P = 2^B \times F' \times MUL \dots\dots\dots \textcircled{2}$$

B オクターブ情報(F'に対するシフト値)
F' 1オクターブ内に制限した増分(オクターブ0の周波数で計算したΔP)
MUL MULTIPLEデータ

①式、②式と増分(F')を9ビットで表すということから、F-NumberとBLOCKは次式のように表現されます。

式7.7 F-NumberとBLOCK
$$F = (f_{mus} \times 2^{19} \div f_{sam}) \div 2^b$$

F F-Numberデータ
b BLOCKデータ

表3-9-1 F-Number(その1) C~Bに制限した値

音階	周波数 (4oct)	F-Number	\$20~28 \$10~\$18								
			D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
C	262.7	172	0	1	0	1	0	1	1	0	0
C#	277.2	181	0	1	0	1	1	0	1	0	1
D	293.7	192	0	1	1	0	0	0	0	0	0
D#	311.1	204	0	1	1	0	0	1	1	0	0
E	329.6	216	0	1	1	0	1	1	0	0	0
F	349.2	229	0	1	1	1	0	0	1	0	1
F#	370.0	242	0	1	1	1	1	0	0	1	0
G	392.0	257	1	0	0	0	0	0	0	0	1
G#	415.3	272	1	0	0	0	1	0	0	0	0
A	440.0	288	1	0	0	1	0	0	0	0	0
A#	466.2	305	1	0	0	1	1	0	0	0	1
B	493.9	323	1	0	1	0	0	0	0	1	1
C(O5)	523.3	343	1	0	1	0	1	0	1	1	1

表3-9-2 F-Number(その2) 設定出来る最大値を利用した値

音階	周波数 (4oct)	F-Number	\$20~28 \$10~\$18								
			D0	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
G	392.0	257	1	0	0	0	0	0	0	0	1

G#	415.3	272	1	0	0	0	1	0	0	0	0
A	440.0	288	1	0	0	1	0	0	0	0	0
A#	466.2	305	1	0	0	1	1	0	0	0	1
B	493.9	323	1	0	1	0	0	0	0	1	1
C(O5)	523.3	343	1	0	1	0	1	0	1	1	1
C#(O5)	554.4	363	1	0	1	1	0	1	0	1	1
D(O5)	587.3	385	1	1	0	0	0	0	0	0	1
D#(O5)	622.2	408	1	1	0	0	1	1	0	0	0
E(O5)	659.3	432	1	1	0	1	1	0	0	0	0
F(O5)	698.5	458	1	1	1	0	0	1	0	1	0
F#(O5)	740.0	485	1	1	1	1	0	0	1	0	1

3-1-8 \$30~\$38 INSTRUMENT/VOLUME

音色(ROM15音色、オリジナル音色)、音量を決めるデータを設定します。

D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
INST				VOL			

- D7～D4 (INST)
この4ビットで以下の音色が決定されます。

INST	音色	INST	音色
0	オリジナル音色	8	オルガン
1	バイオリン	9	ホルン
2	ギター	A	シンセ
3	ピアノ	B	ハーブシコード
4	フルート	C	ビブラフォン
5	クラリネット	D	シンセベース
6	オーボエ	E	ウッドベース
7	トランペット	F	エレキギター

- D3-D0 (VOL)
各音色の音量を決めます。最小分解能は3dBで、最大45dBまで音量を絞り込めます。

D3	D2	D1	D0
-24dB	-12dB	-6dB	-3dB

リズムモード(Addr=\$0E、D5=「1」)時は、\$36～\$38は次のように各リズムのボリュームを設定できます。

	D7	D6	D5	D4	D3	D2	D1	D0
\$36	-				BD			
\$36	HH				SD			
\$36	TOM				TCY			

3-2 フェイズジェネレーター(PG)

フェイズジェネレーターは必要な周波数に応じた増分を単位時間ごとにアキュムレートして位相値を得る回路です。この増分はレジスタから送られてくる周波数情報 (F-Number、BLOCK、MULTIPLE)から作成されます。さらに、ビブラート発振器を内蔵しているため、この発振器の出力と周波数情報とを組み合わせることにより、ビブラート効果を作り出します。

3-3 エンベロープジェネレーター(EG)

エンベロープジェネレーター(以下、EG)は、ATTACK、DECAY、RELEASEの各RATE、Sustain Level、Total Levelなどでコントロールされ、音色、音量の経時変化を与えます。そして、そのダイナミックレンジは48dB(分解能0.375dB)あります。EGは対数表示であり、また、減衰量で表されます。その一般的な波形は図3-2のとおりです。この波形で特徴的なのは、アタック時は指数関数的に変化し、それ以外では直線的に変化する点です。また、アタックからディケイへの切り替えは、0dBに達したときに起こり、ディケイからサスティンへは、サスティンレベルに到達したときに起こります。そして、リリースへの移行はKeyがOFFされたときに起こります。トータルレベル、レベルキースケール、振幅変調などの効果は、その設定値をEGに加えることによりエンベロープの波形を変化させます。

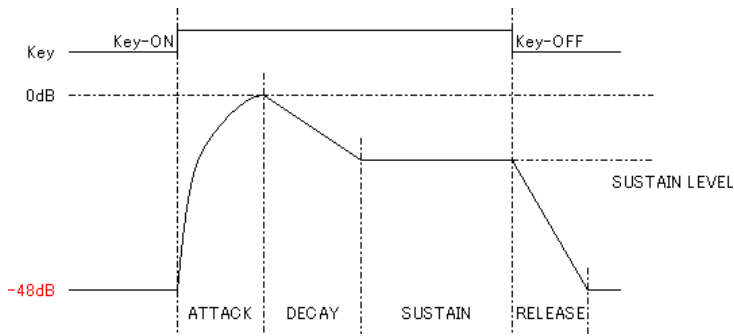


図3-2 OPLLのエンベロ - ブ波形

3-4 オペレータ(OP)とDAコンバーター(DAC)

オペレータはFM計算を行います。オペレータは、フェイズジェネレーターからの出力を使用してSINの値を計算し、それにエンベロープジェネレーターの出力を掛け算します。その後、フィードバック変調される場合、それらはオペレータの入力に戻ります。また、全ての出力はDACにも送られます。これはフィードバック・データによってコントロールされます。

DACは、すべての音を図3-3(a)の中で示されるようにDA変換を行います。そのため、音を合計するために、積分回路を M_O 、 R_O へ付加する必要があります[図3-3(b)]。また、 R_O の出力レベルは、 M_O と比較すると低いいため、同じ音が2度出力されます[図3-3(c)]。

翻訳違うかも。

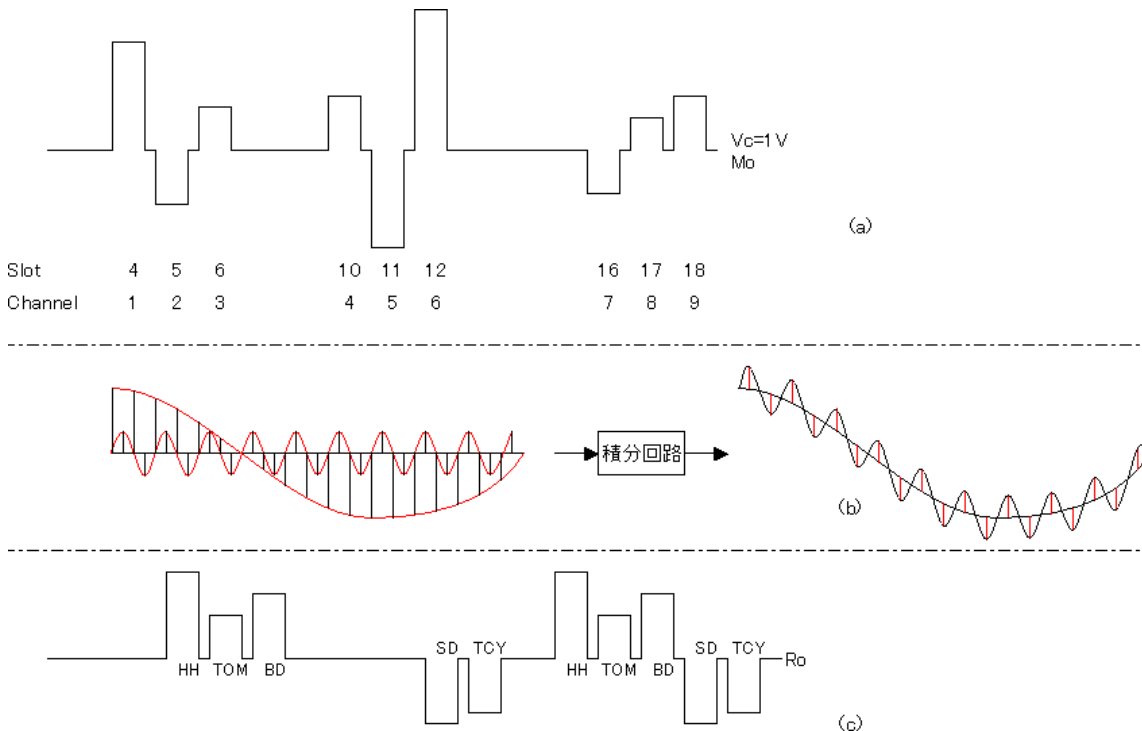


図3-3

4. インターフェース

OPLLは外部のCPU等によって制御され、D/Aコンバータで変換したアナログ音声信号を出力します。OPLLから音を得るためには、他の装置と接続する必要があります。本章ではそのインターフェースについて記述します。

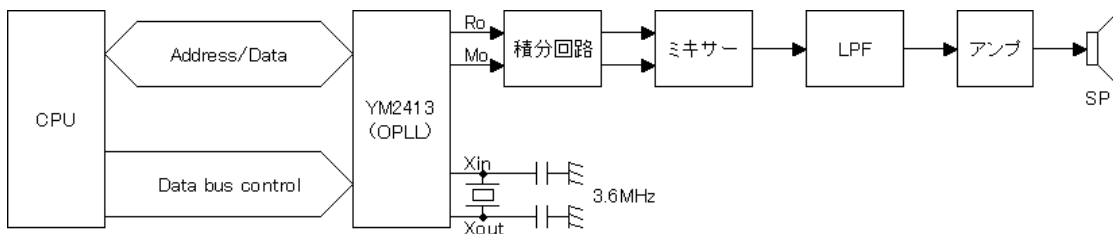


図4-1 システムブロックダイアグラム

4-1. クロック生成

OPLLのクロック周波数は2~4MHzで動作します。振幅変調、ビブラート周期、アタック・ディケイの速度は、3.6MHz(3.579545MHz)を標準としています。したがって、このLSIを使用する時は、(カラーバースト信号用の)水晶発振器を X_{in}/X_{out} に使用することで低コスト化が可能です。

4-2. オーディオ出力

OPLLの音声出力は、以前に記述されるようなパルス信号のため、外付けの積分回路が必要です。この積分回路の出力(またバッファ)は、オーディオ・アンプに直接接続されるでしょう。また、積分回路とアンプの間に低域フィルタ(遮断周波数: 20kHz程度)を挿入することにより、ステップノイズを削除することができ、高音質化が計れます。電源ON/OFF時にノイズが発生するため、オーディオ機器(アンプやスピーカー)を保護する回路が必要です。

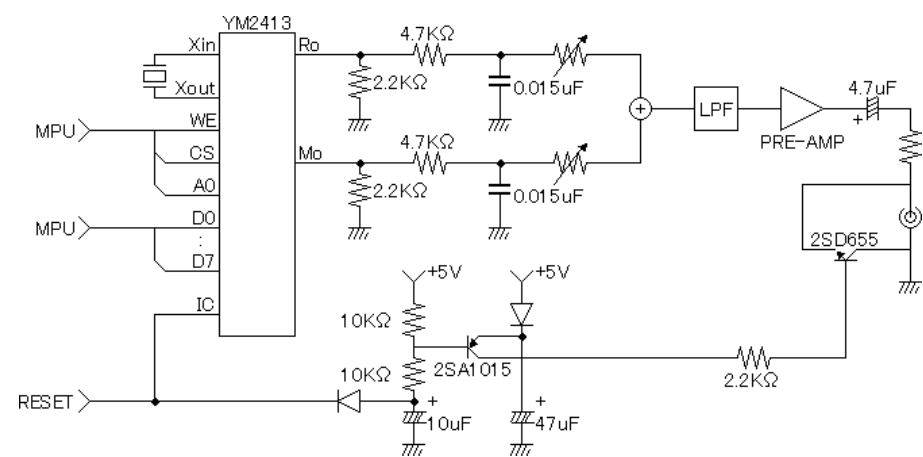


図4-2 オーディーインターフェース

4-3. プロセッサ接続

OPLLのD0～D7は、プロセッサに接続する双方向バスです。OPLLはプロセッサからアドレスを受け、データ受け渡します。バス制御信号の \overline{CS} 、WEおよびA₀は、データの転送をコントロールします。OPLL、メモリおよびプロセッサだけの最小構成でFM音源システムを構築することができます。

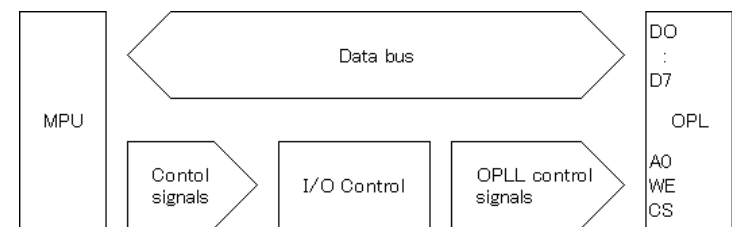


図4-3 プロセッサインターフェース

5.OPLLでの楽音の作り方

この章では、OPLLのオリジナル音色レジスタに、どのような値を入力すると、ピアノやブラスなどの楽音を作ることができるかを説明します。

5-1. 音作りの考え方

FM方式での音作りの基本は、まず作りたい楽器の特徴をよく理解することです。例えば、ピアノであれば、鍵盤を押したときに、鋭い音の立ち上がりがあり、その後、押鍵を続けていれば、徐々に音が消えて行くエンベロープを持っています。また、倍音の構成も立ち上がり時に多く、時間が経つに連れて倍音の数は少なくなり、一定の倍音構成に近づいて行きます。以上のような特徴をつかんだ後、FMの式でいかにして実現するかを考えます。エンベロープの特徴から出力振幅を、そして倍音構成から変調指数を決めることができます。また、倍音の構成はオペレータの周波数も関与していますから、周波数比もある程度決めることができます。このように、各楽音の特徴からFMの各パラメータをおおまかに決め、その次に音を聞きながら細部をつめてゆくようにすれば、望みどおりの音色を得ることができます。

5-2. 音作りの基本

FM音源とは、モジュレータによってキャリアを変調することから生じる効果を利用したものです。したがって、FMの基本式パラメータ(キャリアの出力レベル、モジュレータの出力レベル、モジュレータのフィードバックレベル、キャリアの周波数、モジュレータの周波数)を上手に扱うことにより、各楽音のピッチ、音色、音量のすべてを決めることができます。このFMの各パラメータとOPLLのパラメータとの関係は、表5-1のとおりです。

表5-1 OPLLの音作りの基本

項目	関与するパラメータ	MIN←(音の変化)→MAX
キャリアの出力レベル	TOTAL LEVEL	音量小←→音量大
モジュレータの出力レベル	(A/D/S/Rの各データ、KeyScaleデータ)	丸い音色←→明るい音色
モジュレータのフィードバックレベル	FB	普通の音色←→鋭い音色(Noise)
キャリアの周波数	MULTIPLE	ピッチ低←→ピッチ高
モジュレータの周波数	(BLOCK/F-Number)	近い倍音←→離れた倍音

5-3. 音作りの例

(A).エレクトリックピアノ

(i).オペレータの周波数の決定

整数倍の高調波をすべて出すために、2つのオペレータともにMULTIPLEは「1」を使います。
(増加は整数倍数によります。)

(ii).オペレータの出力レベル

今度はモジュレータの出力を変更して音色を調整します。このとき、オペレータ1のレベルを決めるときには、低音部がまずピアノらしいリッチな高調波を得られるように設定し、それから高音にかけての変化はオペレータ1のレベルスケーリングで調整します。高音部ではほとんど正弦波になる位までレベルスケーリングをする必要があります。

(iii).EGの設定
ここでは音量と音色のエンベロープを決めます。まず、オペレータ2はアタックを鋭く、しかもある程度長く伸びるエンベロープにします(これは程度を変えさせることができます)。モジュレータになるオペレータ1では立ち上がりだけ倍音が多く、あとは一定にして音色変化はさせません。音量調整としてオペレータ2についてもキースケーリングをかけます。また、高音部にかけて音のシャープさを出すためには、RATEのスケーリングを行うとよいでしょう。

(iv).データの再調整
以上で音作りはほぼ終了ですが、EGなどのセッティングにより音色が幾分違ったものになってきます。この場合、オペレータの出力レベルやフィードバックレベルを再調整して、最終的な音に仕立てます。例えば、金属的な響きが強すぎると思われる場合には、オペレータ1のレベルを下げます。

(v).エフェクト付け
最後にエレクトリックピアノの音をより生かすために、トレモロ効果をLFOによって付加します。これは内蔵の振層変調の機能を利用してもよいですし、ソフトウェアでTOTAL LEVELの値を2～6Hzの周期で更新(三角波で可)することも可能です。

(B).トランペット
(i).オペレータ出力
モジュレータであるオペレータ1のトータルレベルは\$10～\$28程度の控えめな値にし、フィードバックレベルはブライتنا響きを出すために最大の「7」にします。

(ii).オペレータの周波数
基本的には、両方のオペレータ共に1倍にセットすればよいでしょう。

(iii).EG
2つのオペレータとも、ゆっくりとしたアタック音にします。そしてブラスのサウンドではモジュレータのアタックはすべてキャリアよりも遅くします。「ブアン」というブラス特有のアタックを表現するのに必要なことです。

(iv).キースケーリング
ゆっくりとした立ち上がりにエンベロープをセットしたため、高音部でハギレが悪くなります。このため、速いパッセージを弾いたときに不自然にならないように、レイトスケーリングを少しかけます。

(v).LFO
ブラスはどんな上手なプレーヤーが吹いても、ロングトーンの場合にはピッチがほんの少し揺れてきます。これを表現するためにビブラート効果を加えます。

5-4.リズム音について
リズム音は7、8、9のチャンネルを使って作られます。この3チャンネル6スロットで計5音のリズム音を作るわけですが、バスドラム(BD)のみは2スロットでFM音を作ります。ここでは、残りの4音(ハイハット、トップシンバル、タム、スネアドラム)について説明します。
OPLLには、リズム楽器のためにホワイトノイズジェネレータと数種の周波数を合成して得られるノイズ発振器があります。このノイズ発振器は8チャンネルと9チャンネルの周波数情報(BLOCK、F-Number、MULTIPLE)より作られ、ホワイトノイズと合成することにより各リズム楽器に適した位相出力を発生して、オペレータに渡します。つまり、ここでは2つの周波数情報から4つの楽器の位相を作っていることになります。
なお、2つの設定周波数は経験的に3:1(F8CH=3×F9CH)が良いとされています。これで、各楽器の位相データが得られたことより、この出力にエンベロープの情報を掛け合わせます。エンベロープは1スロットに1リズム楽器と設定されているため、メロディー楽器同様各リズム楽器の特徴をつかんだ値が音色ROMにセットされています。

6.電気的特性

1.絶対最大定格

項目	定格値	単位
端子電圧	-0.3～7.0	V
動作周囲温度	0～70	℃
保存温度	-50～125	℃

2.推奨動作条件

項目	記号	最小	標準	最大	単位
電源電圧	V _{CC}	4.75	5	5.25	V
	GND	0	0	0	V

3.直流特性

項目		記号	条件	最小	標準	最大	単位
入力Hレベル電圧	全入力	V _{IH}		2.0		V _{CC}	V
入力Lレベル電圧	全入力	V _{IL}		-0.3		0.8	V
入力リーク電流	A ₀ , WE	I _{LI}	V _I =0～5V	-10		10	μA
出力リーク電流	D ₀ ～D ₇	I _{LO}	V _I =0～5V	-10		10	μA
アナログ出力電圧振幅	M _O	V _{MOA}	負荷抵抗=2.2K			1.6	V
	R _O	V _{ROA}	負荷抵抗=2.2K			1.6	V
ブルアップ抵抗	IC, CS	RU		100			kΩ
入力容量	全入力	C _I				10	pF
出力容量	全出力	C _O				10	pF

電源電流		I _{CC}		5	10	mA
------	--	-----------------	--	---	----	----

4.交流特性

項目		記号	条件	最小	標準	最大	単位
アドレスセットアップ時間	A ₀	tAS	図A-1	10			ns
アドレスホールド時間	A ₀	tAH	図A-1	10			ns
チップセレクトライト幅	CS	tCSW	図A-1	80			ns
ライトパルスライト幅	WE	tWW	図A-1	110			ns
ライトパルスセットアップ時間	WE	tWS	図A-1	30			ns
ライトデータセットアップ時間	D ₀ ~D ₇	tWDS	図A-1	10			ns
ライトデータホールド時間	D ₀ ~D ₇	tWDH	図A-1	25			ns
リセットパルス幅	IC	tICW	図A-2		80		clock

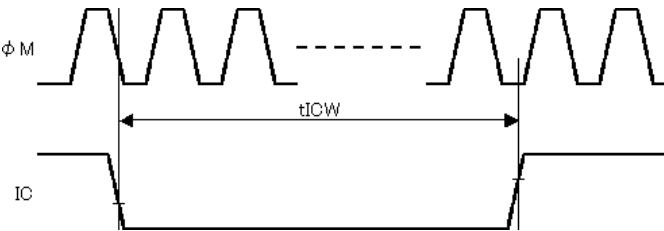
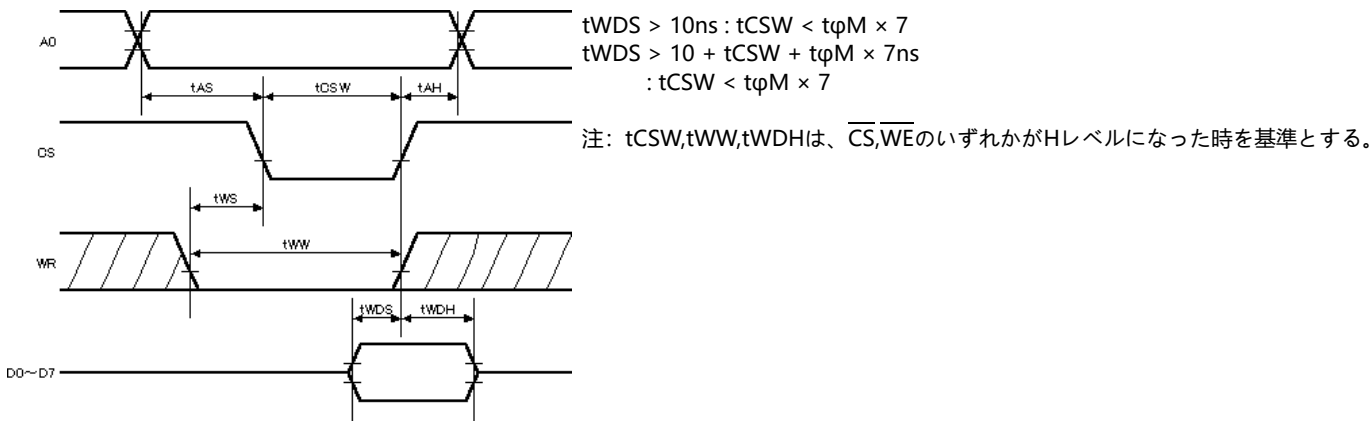
5.DAC特性

項目		記号	条件	最小	標準	最大	単位
最大出力振幅	R _O ,M _O	V _{out}	図4-2		2/5 V _{CC}		V
分解能	R _O ,M _O		図4-2		9		Bit
ノイズ	R _O ,M _O		図4-2		-65		dB

注：ノイズレベルは、ボリュームレベルに相当する

7.タイミング図

注：タイミングの設定はV_{IH}=2.0V,V_{IL}=0.8Vを基準とする。



8.パッケージ外形図

データシートP8参照

感想、要望、バグ報告、その他何かありましたら、メールもしくは掲示板にてご連絡ください。

裕之 hirohome@d2.dion.ne.jp

[ホームに戻る](#)