

YM2413

FM OPERATOR TYPE-LL(OPLL).

アプリケーション・マニュアル

APPLICATION MANUAL

日山楽器製造株式会社

目 次

I. OPLLとは

I - 1 概 要.....	1
I - 2 特 徵.....	1
I - 3 FM方式の概略.....	1

II. 機能概要

II - 1 主要機能.....	3
II - 2 ピンレイアウト.....	4
II - 3 端子機能説明.....	4
II - 4 バスコントロール.....	5
II - 5 チャンネルとスロット.....	6
II - 6 ブロック図.....	6
II - 7 レジスタマップ	7

III. 動作説明

III - 1 レジスタ.....	9
III - 2 フェイズ ジェネレータ (P G).....	19
III - 3 エンベロープ ジェネレータ (E G).....	19
III - 4 オペレータ(O P)と D A C.....	20

IV. インターフェースの方法

IV - 1 クロックの発生.....	21
IV - 2 オーディオ出力インターフェイス.....	21
IV - 3 マイクロプロセッサ／マイクロコンピュータとのインターフェイス	22

V. 楽音の作り方	
V-1 音作りの考え方	23
V-2 音作りの基本	23
V-3 音作りの例	23
V-4 リズム音について	25
VI. 電気的特性	26
VII. タイミング図	27
VIII. 外形寸法図	27

I. OPLLとは

(I-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ともなうデータ変更を一度の音色選択操作で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。

(I-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
- * ピブラー発振器／振幅変調発振器 内蔵
- * 入力 TTLコンパチブル
- * Si-gate NMOS LSI
- * 5V単一電源

(I-3)FM方式の概略

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音まで、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(1)式のごとく、4つのパラメータで表現されます。

$$F = A \sin(\omega_c t + I \sin \omega_m t)$$

(1)

ここでAは出力振幅、Iは変調指数、また ω_c 、 ω_m はそれぞれキャリア、モジュレータの角周波数である。この(1)式は次のように表現することもできます。

$$F = A \left(J_0(I) \sin \omega c t + J_1(I) \left[\sin(\omega c + \omega_m)t - \sin(\omega c - \omega_m)t \right] + J_2(I) \left[\sin(\omega c + 2\omega_m)t + \sin(\omega c - 2\omega_m)t + \dots \right] \right) \quad (2)$$

ここで、 $J_n(I)$ は n 次の第1種 Bessel 関数です。(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、(1)式による 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になります。そこで、考え出されたのが(3)式で表わされる feedback FM という方式です。

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

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。

- a. ωt を発生させる phase generator (PG)
- b. 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)
- c. sin テーブル (sin)

以上の 3 つの構成要素を組み合せて 1 つのユニットとして考えると、先の FM 方式は図 I - 1 のように表すことができる。従って、このユニット（オペレータセル：OP）の考え方を用いれば、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せのデータを作ればよいことになります。

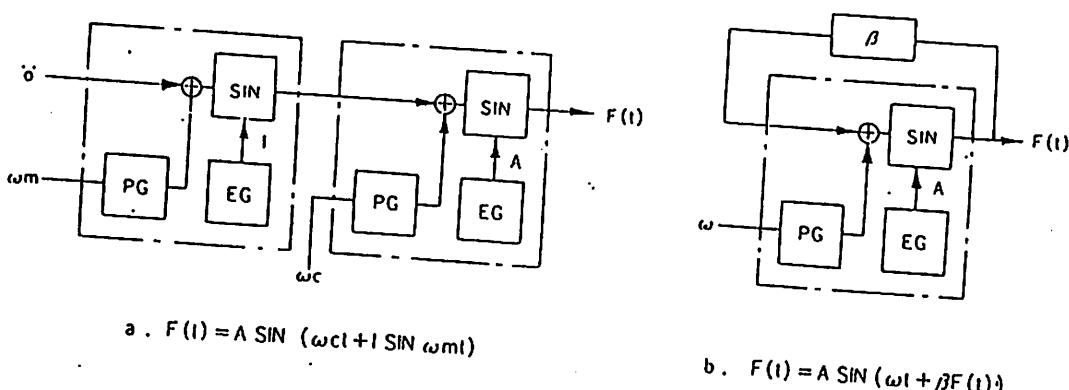


図 I - 1 ユニットセルによる FM 方式の表現

II. 機能概要

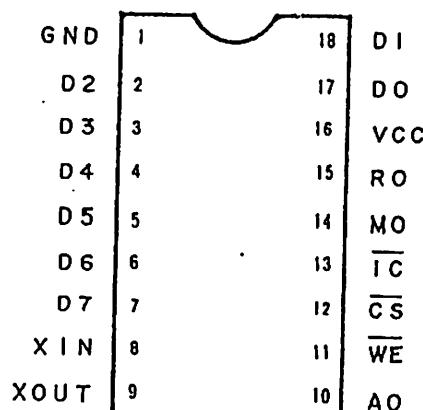
(II-1) 主要機能

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、メロディ音を9音あるいはメロディ音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, ω_1 , I, ω_2 をコントロールすることにより、基本波 ω_1 に対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音源と異って、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。まず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インレジスタ、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7ch, 8ch, 9ch (アドレス \$16, \$17, \$18, \$26, \$27, \$28) は所定のデータを入力しておかねばなりません。

(II-2) ピンレイアウト



(II-3) 端子機能説明

ピン名称	I/O	機能																								
XIN XOUT	I O	水晶発振子(3.579545MHz)を両端子間に接続します。																								
D ₀ D ₁ D ₂	I/O	8ビットのデータバスで、この情報により OPLL のすべての制御をします。																								
D ₃ D ₄ D ₅ D ₆ D ₇		D ₀ ～D ₇ のデータバスをコントロールします。																								
A ₀ CS WE	I	<table border="1"> <tr> <td>CS</td> <td>WE</td> <td>A₀</td> <td></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>OPLLにレジスタのアドレスを書き込みます。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>OPLLにレジスタの内容を書き込みます。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> <td>OPLLのテストデータを D₀, D₁ 端子に出力します。通常使用しません。</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> <td>OPLLのデータバスは高インピーダンスになります。</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>x</td> <td>x</td> <td></td> </tr> </table>	CS	WE	A ₀		0	0	0	OPLLにレジスタのアドレスを書き込みます。	0	0	1	OPLLにレジスタの内容を書き込みます。	0	1	0	OPLLのテストデータを D ₀ , D ₁ 端子に出力します。通常使用しません。	0	1	1	OPLLのデータバスは高インピーダンスになります。	1	x	x	
CS	WE	A ₀																								
0	0	0	OPLLにレジスタのアドレスを書き込みます。																							
0	0	1	OPLLにレジスタの内容を書き込みます。																							
0	1	0	OPLLのテストデータを D ₀ , D ₁ 端子に出力します。通常使用しません。																							
0	1	1	OPLLのデータバスは高インピーダンスになります。																							
1	x	x																								
IC	I	低レベル時にシステムリセットになります。OPLLのレジスタの内容はすべて '0' になります。																								
MO RO	O	MOはノロディー出力、ROはリズム出力です。ともにソースフォロワーで出力されます。後段に積分回路およびアンプが必要です。																								
Vcc	I	+5V電源端子																								
GND	--	接地端子。																								

(II-4) バスコントロール

OPLL内のレジスタのアドレスやデータのリード・ライトなどのデータバスコントロールは、 \overline{CS} ・ \overline{WE} ・ $A0$ の各信号で行なわれます。この3種の信号により、4つのモードが設定されます。

表II-1 モード選択

	CS	WE	A0	
1	1	X	X	インアクティブ モード
2	0	0	0	アドレス ライト モード
3	0	0	1	データ ライト モード
4	0	1	0	インヒビット

(a) インアクティブ モード

\overline{CS} が"1"レベルでいる場合、データバス D_0 ～ D_7 は高インヒーダンスになります。

(b) アドレス ライト モード

アドレスを書き込む場合は、コントロール信号をアドレスライトモードにセットし、データバスにアドレスデータをセットすることにより、指定された内部レジスタのアドレスがセット状態になりデータの書き込みが可能になります。ただし、ここで注意しなければいけないことは、アドレスデータ書き込み後、楽音データを書き込むまでマスタークロック(ϕM)で12サイクル待たなければいけません。

(c) データ ライト モード

コントロール信号をデータライトモードにすると D_0 ～ D_7 のデータを指定されたアドレスのレジスタ内に書き込みます。データライト時にもアドレスライト時と同様、待ち時間が必要で、次のデータあるいはアドレスを書き込むまでには84サイクル(ϕM)待たなくてはなりません。

(d) インヒビット

コントロール信号がこの状態になると、データバスには無意味なデータがになります。このデータはコントロールできません。

アドレスおよびデータライトモード時には次のことに注意して下さい。
OPLLでは、内部レジスタにアドレスあるいはデータを書き込むと次の動作に移るまでにはウェイット時間が必要です。このウェイット時間は、アドレスライトモードとデータライトモードで異なり、表II-2で示される時間、プロセッサはOPLLに対する次の動作を待つことになります。もし、このウェイット時間を無視した場合は、その時のデータは保証されません。

表II-2 ウェイット時間

モード	ウェイット時間
アドレス ライト モード	12 サイクル
データ ライト モード	84 サイクル

(注) ウェイット時間のサイクル数は、マスタークロックのサイクル数である。

(II-5) 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オペレータセルもっています。ただしオペレータセルは、システムで1つもっているだけなのでFM 9音の計算は、このオペレータセルをシリアルに18回通す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(1、2)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、Feedback FMのモードにも設定できます。このモード設定については(III-1-3)を参照して下さい。

表II-3は、チャンネルとスロットの関係を示します。

表II-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
1	2	3	1	2	3	4	5	6	4	5	6	7	8	9	7	8	9
1			2						1		2			1			2
20	21	22	20	21	22	23	24	25	23	24	25	26	27	28	26	27	28

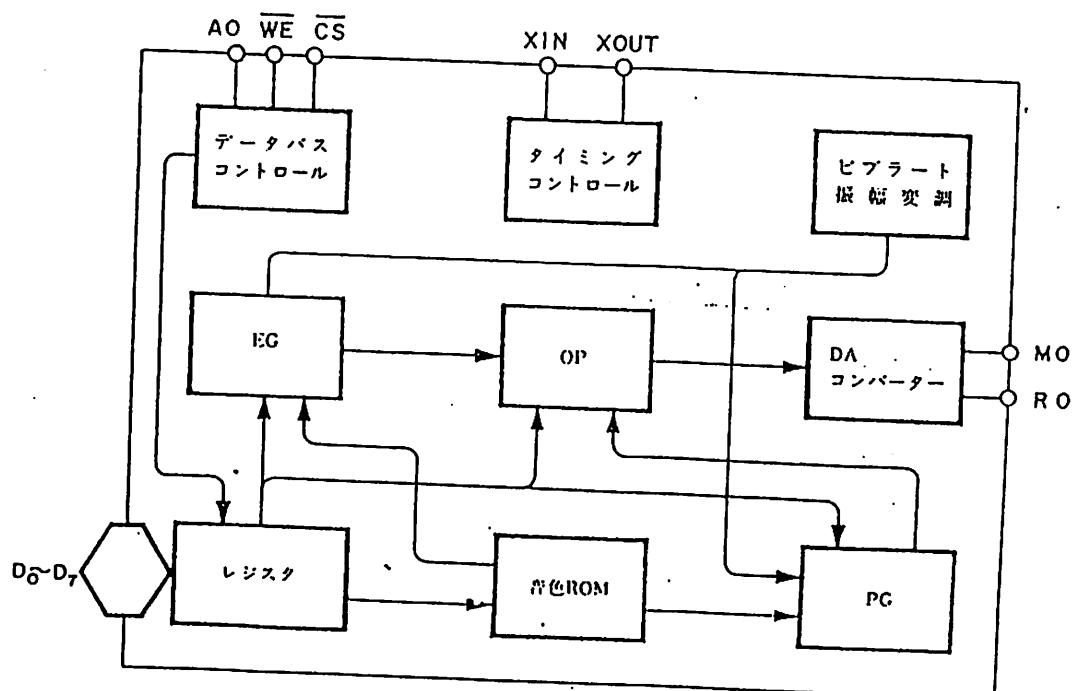
スロット番号

チャンネル番号

チャンネルごとに見た時のスロット番号

チャンネルごとのデータとレジスタの関係(例 \$20-\$28)

(II-6) ブロック図



(II-7) レジスタマップ

アドレス	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	
00	A	V	E	K					
01	M	I	T	S		MULTI			
02	B	P	R						
03	Ⓜ		T	L	M				
04	Ⓜ		DC	DM	F	B			
05		A	R		D	R			
06									
07		S	L		R	R			
0E		R	BD	SD	TOM	T-CY	HH		リズム コントロール
0F		T	E	S	T				OPLL テスト データ (當時'0')
10									
18									F-Number 下位 8 ビット
20		S	K			F			F-Number MSB、オクターブ指定
28		S	E			N			Key-On/Off レジスタ
		ON	ON	BLOCK	0 ~ 2	u			サステイン On/Off レジスタ
		OFF	OFF			m			
						9			
30									
38		INST.		VOL					音色セレクト & ボリューム レジスタ

リズム・モード時のレジスタマップ ($\text{Addr} = \$0E$ $D_5 = 'H'$)

36		BD-VOL		
37	HH-VOL	SD-VOL		
38	TOM-VOL	T-CY-VOL		リズム音ボリューム・レジスタ

レジスタの内容

アドレス	ビット	内容
1 00, 01	D ₇	振幅変調のON/OFF
	D ₆	ピアノレートのON/OFF
	D ₅	持続音・減衰音の切り替え 0 = 減衰音 1 = 持続音
	D ₄	RATE のキースケール
	D ₀ ~D ₃	MULTI(1) 基本波と倍音の関係を制御する
2 02, 03	D ₆ D ₇	LEVEL のキースケール
3 02	D ₀ ~D ₃	変調波のトータルレベル。変調指数の制御
4 03	D ₃ D ₄	搬送波・変調波の並波形(半波整流)のON/OFF
	D ₀ ~D ₂	Feed back FM の帰還係数
5 04, 05	D ₄ ~D ₇	アタック時のエンベロープの変化割合制御
	D ₀ ~D ₃	ディケイ時のエンベロープの変化割合制御
6 06, 07	D ₄ ~D ₇	ディケイからサスティンへ移るレベルを指示
	D ₀ ~D ₃	リリース時のエンベロープの変化割合制御
7 0E	D ₅	リズム音のモード選択 1 = リズム音モード 0 = メロディーモード
	D ₀ ~D ₄	各リズム楽器のON/OFF
8 10~18	D ₀ ~D ₇	F-Number 下位 8 ビット
9 20~28	D ₅	サスティンのON/OFF
	D ₄	Key ON/OFF
	D ₁ ~D ₃	オクターブ指定
	D ₀	F-Number MSB
10 30~38	D ₄ ~D ₇	音色ナンバー(INST.)
	D ₀ ~D ₃	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	8	オルガン
1	バイオリン	9	ホルン
2	ギター	10	シンセ
3	ピアノ	11	ハーフシコード
4	フルート	12	ピアノフォン
5	クラリネット	13	シンセベース
6	オーボエ	14	ウッドベース
7	トランペット	15	エレキベース

	音 色
BD	バスドラム
SD	スネアドラム
TOM	タム
T-CY	トップ・シンバル
HH	ハイハット

III. 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の形状や変調度、周波数および発音モード等々が決定されます。そしてこのデータの組み合せが、ピアノやバイオリン等々の音を発生することになりますが、その組み合せは非常に多く、かつ複雑であるため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得られます。

(III-1) レジスタ

レジスタは、II-7のアドレスマップで与えられる計271bitsのエリアをもっています。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。従って、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まうサブ・アドレステータを送り、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に限り、最初にサブ・アドレステータを送るだけで以後はアドレステータを送ることなしに、楽音データを送りデータの更新することができます。

尚、全レジスタとも初期設定(イニシャルクリア:IC端子="0")の時には"0"にセットされます。

(III-1-1) TEST:ADDRESS (\$0F)

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

(III-1-2) AM/VIB/EG-TYP/KSR/MULTIPLE:ADDRESS (\$00, \$01)

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。

\$00, \$01	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
	AM	VIB	EG-TYP	KSR	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

D₀~D₄(MULTIPLE):表III-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する。

例: $F(t) = E \sin(\omega_0 t + I \sin(7\omega_0 t))$

F-Numberによる周波数	ω_0
搬送波のMultiple	1
変調波のMultiple	7

表III-1 倍率

MUL	倍率	MUL	倍率	MUL	倍率	MUL	倍率
0	½	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) : このビットは RATE のキー・スケールを引く。

自然楽器では、おおむね音程が高くなるにしたがって、音の立ち上り、立ち下りは速くなります。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III-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。

$$RATE = 4 \times R + R_{ks}$$

○ R は ADSR での設定値

○ R_{ks} はキー・スケール オフセット値

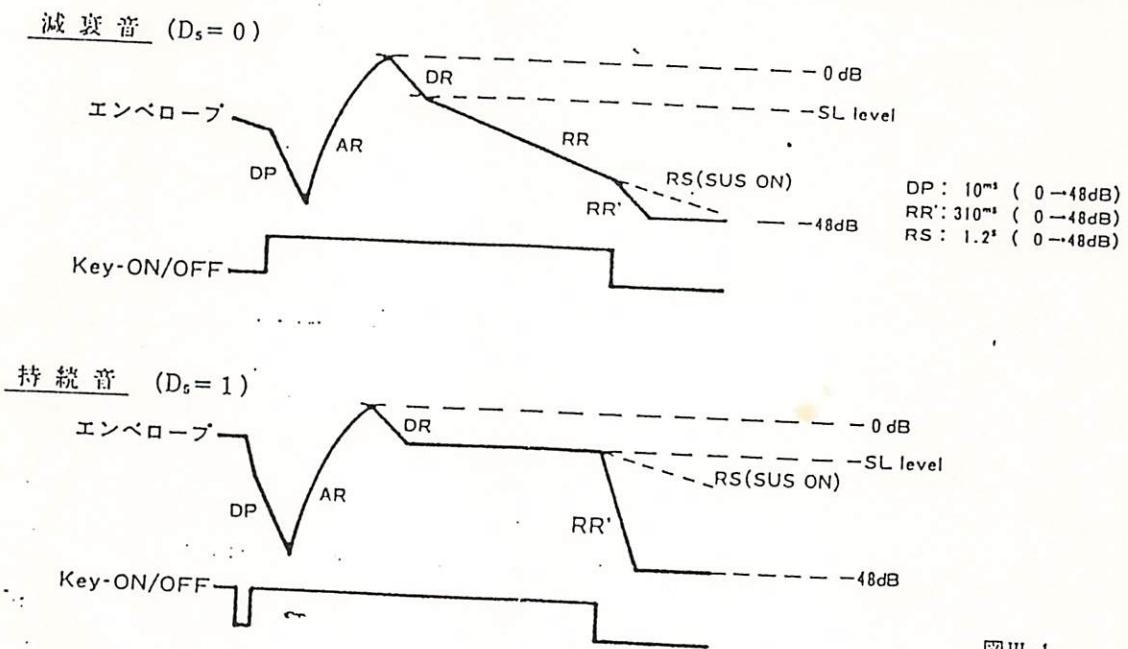
○ 但し、R = 0 の時は RATE = 0

表III-2

0	1	2	3	4	5	6	7	オクターブ
0	1	2	3	4	5	6	7	BLOCK データ
0	1	0	1	0	1	0	1	F-Num · MSB
0	0	0	0	1	1	1	1	D ₄ = 0 キースケール
0	1	2	3	4	5	6	7	D ₄ = 1 オフセット (R _{ks})

D₅ (EG-TYP) : 持続音か減衰音かの切り換えをします。

D₅ = "0" の時、減衰音、D₅ = "1" の時持続音である。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III-1 に示します。



図III-1

D_4 (VIB) : ビブラートの ON/OFF のスイッチです。このビットを "1" にセットすると、そのスロットにはビブラートがかかります。この時の周波数は 6.4Hz ($\phi M = 3.6\text{MHz}$) です。

D_5 (AM) : 振幅変調の ON/OFF のスイッチ。このビットが "1" にセットされた時には、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 ($\phi M = 3.6\text{MHz}$) です。

(III-1-3) KSL/TOTAL LEVEL/DISTORTION/FEED BACK LEVEL: ADDRESS [\$ 02, \$ 03]

トータルレベルとは、エンベロープ・シェネレータの出力に対して、減衰量を加算し変調度（音色）の制御をする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ある。

	D_1	D_6	D_5	D_4	D_3	D_2	D_1	D_0
\$ 02								Total Level μ
\$ 03	KSL			DC	DM		FB	

\$ 02

$D_5 \sim D_0$ (Total Level) : 減衰量の最小分解能は 0.75dB で、最大 47.25dB まで変調度を絞り込むことができる。

表III-3. トータル レベル

	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
減衰量	24	21	9	3	1.5	0.75dB

D₅・D₄(KSL)：レベルのキー・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III-4

D ₅	D ₄	減衰量
0	0	0
1	0	1.5dB/OCT
0	1	3dB/OCT
1	1	6dB/OCT

表III-5. 3dB/OCTの場合の各F-Numberでの減衰量

	0	1	2	3	4	5	6	7
0C1	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
1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.750	1.125	1.500	1.875	2.250	2.625	3.000

単位：dB

(注) F-Numberは上位4 bits の値

・1.5dB OCTは上記の½倍

・6dB OCTは上記の2倍

\$ 03

D₃ DM : 变调波を半波整流します。

D₄ DC : 搬送波を半波整流します。

\$ 03

D₀~D₂ (FEEDBACK) : 第1スロットのフィードバック FM变调の变调度をりえます。

表III-6 变调度

变调度	0	1	2	3	4	5	6	7
	0	$\pi/16$	$\pi/8$	$\pi/4$	$\pi/2$	π	2π	4π

(III-1-4) ATTACK/DECAY-RATE: ADDRESS [\$ 04~\$ 05]

アタック・レイトは音の立ち上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III-7のとおりです。

	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄		D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	
	AR					DR				
\$ 04	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰		2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	
\$ 05	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰		2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	

変調波
搬送波

(III-1-5) SUSTAIN LEVEL/RELEASE RATE: ADDRESS [\$ 06~\$ 07]

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りえる。

リリース・レイトは、持続音の場合はKeyをOFFした時に音が消えていく様子を定義するレイトであり、減衰音の時は、サスティン・レベルの前の減衰をディケイ・レイトで表し、サスティン・レベル後の減衰をこのリリース・レイトで表す。

	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄		D ₃	D ₂	D ₁	D ₀	
	SL					RR				
\$ 06	24dB	12dB	6dB	3dB		2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	
\$ 07	24dB	12dB	6dB	3dB		2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	

変調波
搬送波

* リリース・レイトの減衰時間は、ディケイ・レイトの表と同じ。

表III-7 各レイトでの立ち上り、立ち下り時間

(下記レイトは、キー・スケール後のレイトである。また、レイトの値を上位4ビット(RM)と下位2ビット(RL)
に分割して RM - RL と表わしている。RATE = RM × 4 + RL)

RATE RM - RL	EG DECAY TIME [nS]	RATE RM - RL	EG ATTACK TIME [nS]
	0dB - 4dB 1.27 - 0.52	0dB - 4dB 1.27 - 0.52	0dB - 4dB 0.00 - 0.00
15 3	1.27	0.52	0.00
15 2	1.27	0.52	0.00
15 1	1.27	0.52	0.00
15 0	1.27	0.52	0.00
14 3	1.47	0.60	0.00
14 2	1.71	0.60	0.00
14 1	2.05	0.82	0.00
14 0	2.55	1.03	0.00
13 3	2.94	1.21	0.00
13 2	3.42	1.37	0.00
13 1	4.18	1.65	0.00
13 0	5.11	2.05	0.00
12 3	5.87	2.41	0.00
12 2	6.84	2.74	0.00
12 1	8.21	3.30	0.00
12 0	10.22	4.10	0.00
11 3	11.75	4.83	0.00
11 2	13.68	5.47	0.00
11 1	16.41	6.60	0.00
11 0	20.44	8.21	0.00
10 3	23.49	9.65	0.00
10 2	27.36	10.94	0.00
10 1	32.83	13.19	0.00
10 0	40.87	16.41	0.00
9 3	46.99	19.31	0.00
9 2	54.71	21.98	0.00
9 1	65.65	26.39	0.00
9 0	81.74	32.83	0.00
8 3	93.97	38.62	0.00
8 2	109.42	43.77	0.00
8 1	131.31	52.78	0.00
8 0	163.49	65.65	0.00
7 3	187.95	77.24	0.00
7 2	218.84	87.54	0.00
7 1	262.61	105.56	0.00
7 0	326.98	131.31	0.00
6 3	375.98	154.48	0.00
6 2	437.69	175.07	0.00
6 1	525.22	211.12	0.00
6 0	653.95	262.61	0.00
5 3	751.79	308.96	0.00
5 2	875.37	350.15	0.00
5 1	1050.45	422.24	0.00
5 0	1307.91	525.22	0.00
4 3	1503.58	617.91	0.00
4 2	1750.75	700.30	0.00
4 1	2100.39	844.48	0.00
4 0	2615.82	1050.45	0.00
3 3	3007.16	1235.82	0.00
3 2	3501.49	1400.60	0.00
3 1	4201.79	1688.95	0.00
3 0	5231.64	2100.89	0.00
2 3	6014.32	2471.64	0.00
2 2	7002.98	2801.19	0.00
2 1	8403.58	3377.91	0.00
2 0	10463.30	4201.79	0.00
1 3	12628.66	4943.28	0.00
1 2	14006.00	5602.39	0.00
1 1	16687.20	6755.82	0.00
1 0	20926.60	8403.58	0.00

(注) レイトが "0" の場合は、エンベロープは変化しません。

(III-1-6) BLOCK/F-NUMBER/SUS/KEY: ADDRESS (\$10～\$28)

音程・音階を決めるデータ。F-Numberは\$1*のレジスタと\$2*のレジスタにまたがっています。

\$10～\$18

D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
F-Number							
2 ⁷	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰

\$20～\$28

D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
	S S ON OFF	K E Y ON OFF		BLOCK		F N U M 2 ⁰	

D₀～D₇(\$1*); D₀(\$2*)(F-Number): \$1*のレジスタの8ビットと\$2*の下位1ビットの計9ビットでF-Numberを表わす。このF-Numberは音階を与えるデータで、後述する方法でその値を決めます。

D₁～D₃(BLOCK): オクターブ情報を与えます。

D₄ (Key-ON): 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りえることにより得ることが出来ます。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を求めます。これは次式で求められます。

$$\Delta P = f_{mus} \times 2^{18} / f_{sam} \quad \text{---(1)}$$

$$f_{sam} = f_M / 72$$

f_{mus}: 希望周波数

f_{sam}: サンプリング周波数 (50kHz)

f_M: 入力クロック周波数 (3.6MHz)

これで位相の増分は求まりますが、この値を管理するのはビット数が多くて大変なため、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ます。これより増分は次のように表現できます。

$$\Delta P = 2^b \times F' \times MUL \quad -②$$

B : オクターブ情報

F' : 1オクターブ内に制限した増分

MUL : Multipleデータ

①、②式と増分(F')を9ビットで表わすということからF-NumberとBlockは次のように表現される。

$$F = (f_{mus} \times 2^{18} / f_{sam}) / 2^{b-1} \quad (@MUL=1)$$

F : F-Number データ

b : Block データ

表III-8-1 F-Number (その1)

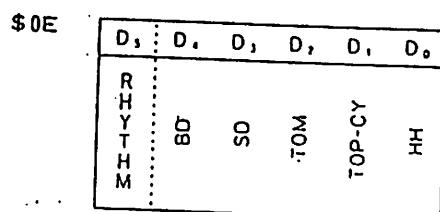
音階	周波数 (Oct)	F-Number	\$2*		\$1*						
			D ₀	D ₇	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	
C#	277.2	181	0	1	0	1	1	0	1	0	1
D	293.7	192	0	1	1	0	0	0	0	0	0
D#	311.1	204	0	1	1	0	0	1	1	0	0
E	329.6	216	0	1	1	0	1	1	0	0	0
F	349.2	229	0	1	1	1	0	0	1	0	1
F#	370.0	242	0	1	1	1	1	0	0	1	0
G	392.0	257	1	0	0	0	0	0	0	0	1
G#	415.3	272	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	523.3	343	1	0	1	0	1	0	1	1	1

表III-8-2 F-Number (その2)

音階	周波数 (4~5oct)	F-Number	\$2*		\$1*					
			D ₆	D ₇	D ₈	D ₉	D ₁₀	D ₁₁	D ₁₂	D ₁₃
G	392.2	257	1	0	0	0	0	0	0	1
G#	415.3	272	1	0	0	0	1	0	0	0
A	440.0	288	1	0	0	1	0	0	0	0
A#	466.2	305	1	0	0	1	1	0	0	0
B	493.9	323	1	0	1	0	1	0	0	1
C	523.3	343	1	0	1	0	0	0	1	1
C#	554.4	363	1	0	1	0	1	0	1	1
D	587.3	385	1	1	0	1	0	1	0	1
D#	622.2	408	1	1	0	0	0	0	0	1
E	659.3	432	1	1	0	1	1	0	0	0
F	698.5	458	1	1	1	0	0	1	0	0
F#	740.0	485	1	1	1	1	0	0	1	0

(III-1-7) RHYTHM: ADDRESS (\$0E)

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。



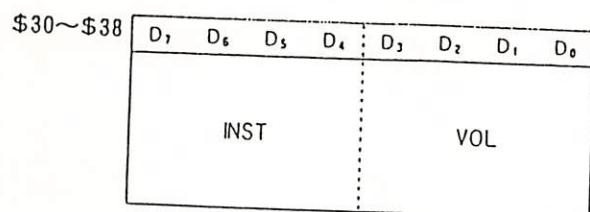
D₆～D₁₃ (RHYTHM) : D₅ = "1" のとき OPLL はリズム音モードになり、7～9 チャンネル (6 ページ参照) はリズム音のチャンネルとなります。したがって楽音 (メロディー部) は 6 音に制限されます。D₆～D₁₃ は各リズム楽器の ON/OFF を制御します。このため \$26, \$27, \$28 の Key-ON ビットは常に "0" にしておく必要があります。また 13～18 の各スロットはリズム音と表III-9 のような対応をしており、FNum のデータは各リズム音にマッチした値を入力しなければなりません。

表III-9 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
BD	13.16	\$16	\$20
SD	17	\$17	\$50
TOM	15	\$18	\$C0
TOP-CYM	18	\$26	\$05
HH	14	\$27	\$05
		\$28	\$01

(III-1-8) INSTRUMENT/VOLUME: ADDRESS (\$30～\$38)

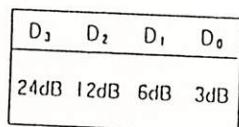
音色(ROM 15音色、オリジナル音色)・音量を決めるデータ。



D₄～D₇(INST.)：この4 bit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	ハープシコード
4	フルート	C	ピブラフォン
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	エレキベース

D₀～D₃(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。



リズムモード(addr = \$OE, D₅ = "H")時は、\$36～\$38は、次の様に、各リズムのボリュームを設定できます。

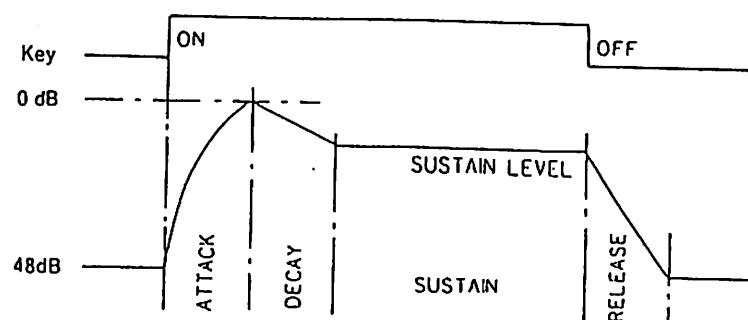
addr	D ₁	D ₆	D ₅	D ₄	D ₃	D ₂	D ₁	D ₀
\$36								BD
\$37								SD
\$38								T-CYM

(III-2) フェイズ・ジェネレータ (PG)

フェイズジェネレータは、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) から作られます。さらにピ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を組み合せることにより、ピブラート効果を作り出します。

(III-3) エンベロープ・ジェネレータ (EG)

エンベロープ・ジェネレータ (以下EG) は、ATTACK・DECAY・RELEASEの各RATE, Sustain Level, Total Level 等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0.325dB) あります。EGは対数表示であり、また減衰量で表わされます。その一般的な波形は図III-2のとおりです。この波形で特徴的なのは、アタック時は指數関数的に変化し、それ以外では直線的に変化します。またアタックからディケイへの切り替えは、0dBに達した時に起こり、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時に起こります。そしてリリースへの移行はKeyがOFFされた時に起こります。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。

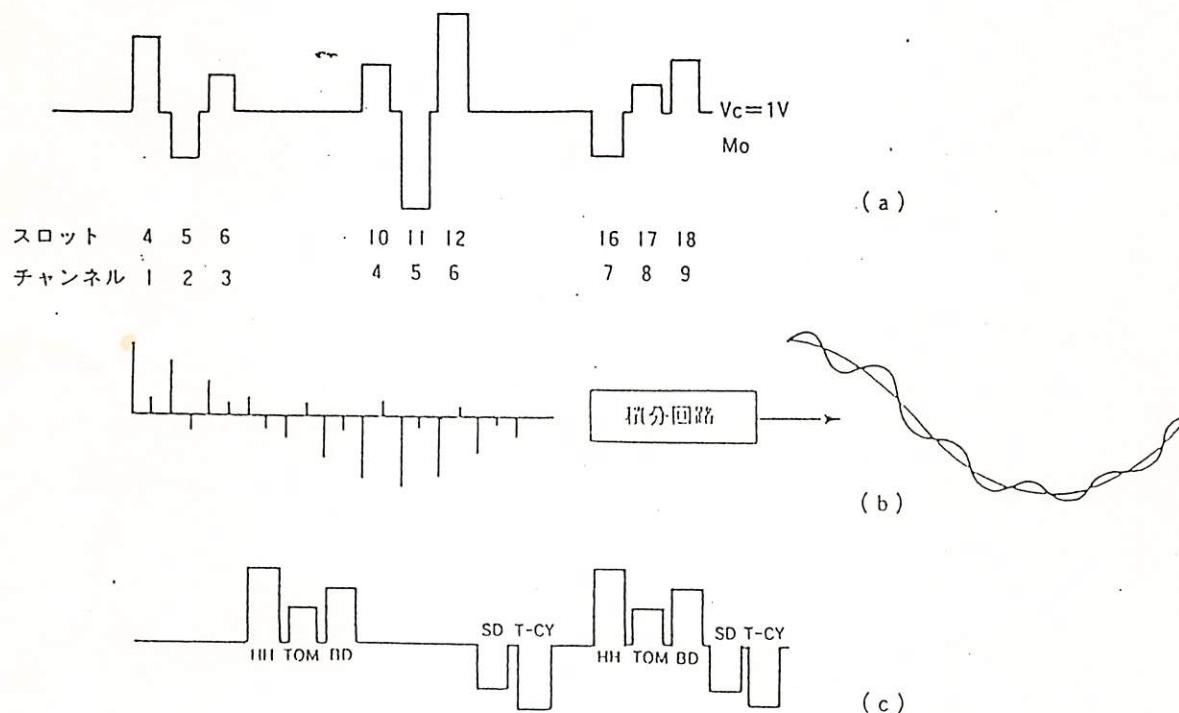


図III-2 エンベロープ波形

(III-4) オペレータ(OP)と、DAC

オペレータは、FM演算を行なう回路です。オペレータではフェイズ・シェネレータからの位相出力をもとに、SINの値を計算し、これにエンベロープ・シェネレータ出力を掛け合せます。この結果を、変調波であればオペレータの入力へ返し、楽音であればDACへ送ります。

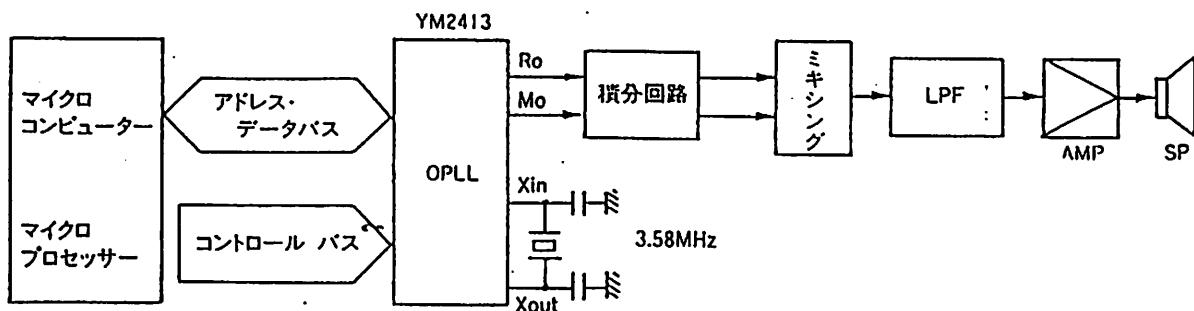
DACは、各楽音をそのままDA変換し出力しますので、図III-3 (a)のように出力されます。各楽音をたし合わせる為に、Mo, Roに積分回路を付加するわけです。[図III-3 (b)] 又、リズム音の場合は、楽音に比べて、レベルが低く感じられる為、同じリズム音を2度出力しています。[図III-3 (c)]



図III-3

IV. インターフェイスの方法

OPLLはマイクロプロセッサまたはマイクロコンピュータによりコントロールされ、オーディオ信号はD/Aコンバータを介してアナログ信号に変換され出力しています。従ってOPLを使って楽音を取り出すには、これらの機器とのインターフェイスが必要になってきます。以下、このインターフェイスについて説明します。



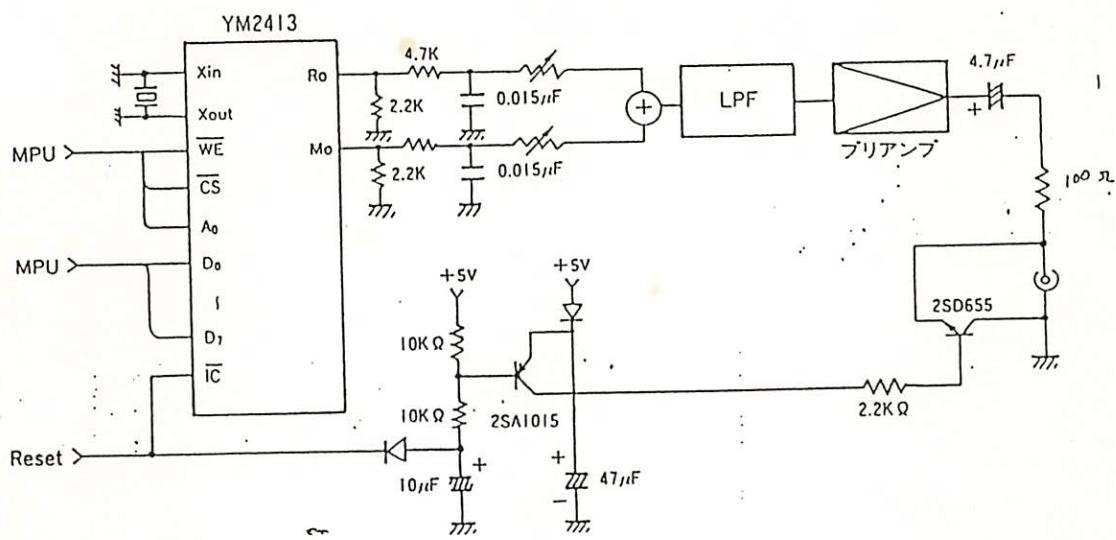
図IV-1 システムブロック図

(IV-1) クロックの発生

OPLLは2MHzから4MHzまでの範囲で動作しますが、振幅変調やビブラートの発振器の周波数やアタック・ディケイなどのスピードは3.6MHz(3.579545MHz)を基準にして設計されております。したがって本LSIを使う場合は、カラーバースト信号用の水晶振動子をXin Xoutに接続させるのが経済的でしょう。

(IV-2) オーディオ出力インターフェイス

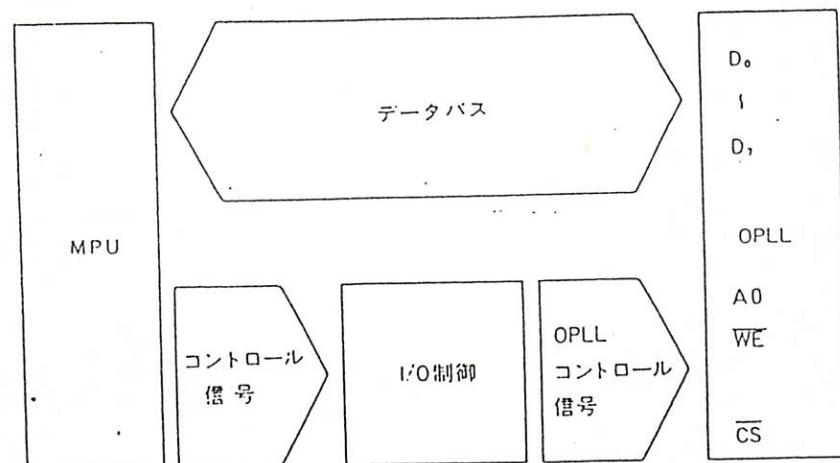
OPLLの楽音出力は、前章で説明したとおりパルス信号となっているため、外部に積分回路が必要になります。この積分回路の出力(バッファを含む)を直接オーディオアンプに接続しても結構ですが、音質向上のためには、アンプ・積分回路の間にステップノイズ除去のためのLow Pass フィルター(カットオフ周波数20KHz程度)を入れるとよいでしょう。また電源ON/OFF時に発生するクリック音は、オーディオ機器(アンプ・スピーカ)を保護するためにもクリック音除去回路を取りつけたほうがよいでしょう。



図IV-2 オーディオ インターフェイス

(IV-3) マイクロプロセッサ・マイクロコンピュータとのインターフェイス

OPLLのD₀～D₁はプロセッサとのインターフェイスを取るための双方向性バスです。これはOPLLとプロセッサ間でアドレス・データのやりとりをします。そして、これらデータ群の転送のコントロールをするのがCS・WE・A0(WEはLOWで可)のバスコントロール信号です。したがって、OPLL・メモリ・プロセッサという最小構成で、FM音源システムを組むことが可能です。



図IV-3 プロセッサとのインターフェイス

V. 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DATAを入力すると、ピアノやプラスなどの楽音を作ることが出来るのかを説明します。

(V-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長を良く理解することです。例えば、ピアノであれば、鍵盤を押した時に、鋭い音の立ち上りがあり、その後押鍵を続けていれば、餘々に音が消えていくエンベロープをもっています。また倍音の構成も立ち上り時に多く、時が経つにつ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出来ます。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出来ます。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、その次に音を開きながら細部をつめていくようにすれば望み通りの音色を得ることが出来ます。

(V-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、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V-1のとおりです。

(V-3) 音作りの例

表V-1 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 (A·D·S·Rの各データ) Key Scaleデータ	音量小←→音量大
モジュレータの出力レベル		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←→丸い音色 (Noise)
キャリアの周波数	MULTI	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

(i)エレクトリックピアノ

①オペレータの周波数の決定

整数倍の高調波を全て出す為に、2つのオペレータ共にMULTIPLEは“1”を使います。

②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。この時オペレータ1のレベルを決める時には、低音部がまずピアノらしいリッチな高調波を得られる様に設定し、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SIN波になるくらいまでレベルスケーリングをする必要があります。

③EG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のびるエンベロープにします。モジュレータになるオペレータ1では立ち上りだけ倍音が多く、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のスケーリングをおこなうとよいでしょう。

④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ちがったものになります。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。

⑤エフェクトづけ

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によってつけ加えます。これは内蔵の振幅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。

(ii)トランペット

①オペレータ出力

モジュレータであるオペレータ1のトーカルレベルは\$10~\$28程度の控えめな値にし、フィードバックレベルはライトな響きを出すために最大の“7”にします。

②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。

③EG

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。そしてプラスのサウンドではミ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。「ファン」というプラス特有のアタックを表現するのに必要なことです。

④キースケーリング

ゆっくりとした立ち上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時に不自然にならないようにレイトスケーリングを少しあげます。

⑤LFO

プラスはどんな上手なプレイ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ます。これを表現するためにビブラート効果を加えます。

(V-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音で作ります。したがってバスドラムについては(a)～(c)で述べたことと基本的には同一手法で作ることが出来ます。そこで、ここでは残り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を有しています。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/Multi)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、オペレータにわたします。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。尚、2つの設定周波数は経験的に3:1($f_7CH = 3 \times f_8CH$)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、後りは、この出力にエンベロープの情報を掛け合せることになります。エンベロープは1スロット→1リズム楽器と設定されているため、メロディ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。(III-1-7 参照)

VII. 電気的特性

1. 絶対最大定格

	定 值	単 位
端子電圧	-0.3~7.0	V
動作周囲温度	0~70	°C
保存温度	-50~125	°C

2. 推奨動作条件

項 目	記 号	最 少	標 準	最 大	単 位
電源電圧	Vcc	4.75	5	5.25	V
	GND	0	0	0	V

3. 直流特性

項 目	記 号	条 件	最 少	標 準	最 大	単 位
入力高レベル電圧	全入力	V _H		2.0		V _{CC}
入力低レベル電圧	全入力	V _L	-0.3		0.8	V
入力リード電流	AO, WE	I _L	V _{in} = 0~5V	-10	10	μA
スリーステート(オフ状態)入力電流	D ₀ ~D ₇	I _{TSL}	V _{in} = 0~5V	-10	10	μA
アナログ出力電圧	M _o	V _{MOA}	負荷抵抗 = 2.2K		2	V _{PP}
	R _o	V _{ROA}	負荷抵抗 = 2.2K		2	V _{PP}
ブルアップ抵抗	IC, CS	R _{PC}				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}		40	80	mA

4. 交流特性

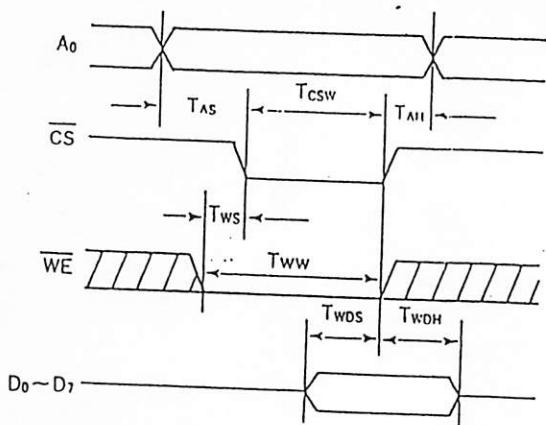
項 目	記 号	条 件	最 少	標 準	最 大	単 位
アドレスセットアップ時間	A ₀	T _{AS}	図A-1	10		ns
アドレッショールド時間	A ₀	T _{AH}	図A-1	10		ns
チップセレクトライト幅	CS	T _{CSW}	図A-1	80		ns
ライトバルスライト幅	WE	T _{WW}	図A-1	110		ns
ライトバルスセットアップ時間	WE	T _{WS}	図A-1	30		ns
ライトデータセットアップ時間	D ₀ ~D ₇	T _{DS}	図A-1	10		ns
ライトデータホールド時間	D ₀ ~D ₇	T _{DH}	図A-1	25		ns
リセットバルス幅	IC	N _{ICW}	図A-2		80	サイクル

5. DAC特性

最 大 出 力 振 幅	R _o , M _o	V _{out}	図IV-2		$\frac{1}{2} V_{CC}$		V _{PP}
分 解 能	R _o , M _o		図IV-2		9		Bit
ノ イ ズ	R _o , M _o		図IV-2		-65		dB

注) ノイズレベルは、ボリュームレベルに相当する。

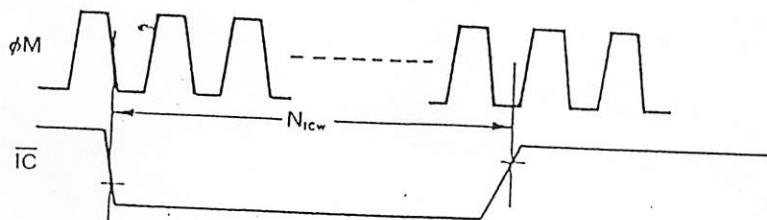
VII. タイミング図 (タイミングの設定は $V_{IH} = 2.0V$, $V_{IL} = 0.8V$ を基準とする。)



(注)

T_{CSW} , T_{ww} , T_{WDH} は \overline{CS} , \overline{WE} の
いずれかが High レベルになった時
を基準とする。

図A-1



図A-2 リセットパルス

VIII. 外形寸法図

