東京大学アマチュア無線クラブ 部誌 リトル・ピストルズ ~Little Pistols~ vol.62 JA1ZLO JA1YWX

目次

はじめての MATRAB/Simulink 無線通信 ライブラリ		
	by B3 鈴木	p.2
自作キーボードのすゝめ		
	by しがない Vimmer	p.13
陸海空の従事者免許を取った話		
	by JJ1IBY	p.20
音系の電子工作をおすすめしたい		
	by JP'/WRY	p. 23
実験用 0-24V 可変安定化電源の製作		
	by JJ1MDY	p.28

はじめての MATRAB/Simulink 無線通信 ライブラリ

B3 鈴木

1 はじめに

MATLAB とは、Mathworks 社製の数値解析ソフトウェアで、Simulink は MATLAB と組み合わせてモデリング やシミュレーションを行えるソフトウェアです。特徴としては、ライブラリが豊富で色々な分野の計算を行う ことができます。後、公式サポートページが分かりやすいです。授業で少し触れる機会があり、今回は無線通 信のライブラリ(RF Toolbox・RF Blockset etc...)を使ってみようと思い記事にしました。自分が初心なの で、タイトル通り入門程度の記事内容ですが、ご容赦ください。

2 使用するライブラリ

- RF Toolbox
- RF Blockset
- Communications Toolbox
- DSP System Toolbox

MATLAB 画面のホーム>アドオン>アドオンの入手からインストールする

3 スミスチャート

まず、MATLAB 上でインピーダンスのデータは次のように表せます。

関数 z2gamma を用いれば、2 つのインピーダンスから反射係数を求めることができます。

Z = 0.5*50 + 1j*(0:2:50)

 $Z = 1 \times 26$ complex

```
25.0000 + 0.0000i 25.0000 + 2.0000i 25.0000 + 4.0000i 25.0000 + 6.0000i ···
```

gamma1 = z2gamma(Z, 50)

gamma1 = 1×26 complex
 -0.3333 + 0.0000i -0.3324 + 0.0355i -0.3296 + 0.0709i -0.3249 + 0.1060i · · ·

また、sパラメータは[ポート数・周波数ごとのデータ・インピーダンス]で表されます。

ここでは、すでに用意されているデータファイルを用いました。

関数 rfplot で各 s パラメータの周波数特性を表示できます。

```
S = sparameters('passive.s2p');
```

display(S)

```
S =
sparameters: S-parameters object
NumPorts: 2
Frequencies: [202×1 double]
Parameters: [2×2×202 double]
Impedance: 50
```

rfparam(obj,i,j) returns S-parameter Sij

rfplot(S)



さらに、これらの反射係数・s パラメータは関数 smithplot を用いてスミスチャート上にプロットできます。 下図の青線が最初に求めた反射係数で、オレンジ線は上のグラフの s パラメータ S11 です。

```
smithplot(gamma1,"LegendLabels",'gamma1')
hold on;
smithplot(S,1,1)
hold off;
```



4 Simulink モデル

4-1 ローパスフィルタ

次に、simulink 上でブロック線図を用いて、フィルタのシミュレーションを行ってみます。

まず、下図のようにブロック線図を構成します。ここでは、「Filter(RF Blockset)に、[遮断周波数 1GHz:Butterworth:LPF]と設定しました。

RF 信号を使用するときは、必ず Configuration(RF Blockset)でステップサイズや信号の周波数を設定 し、RF 信号と Simulink 信号に変換するときは、Inport ないし Outport(RF Blockset)を使用します。 Outport では、後のグラフ描写のために Magnitude and Angle Baseband に設定し、Mag の方を2 乗し て dB に変換し、 To Workspace で Matlab で読み込めるようにします。

```
1
```

また、Inport・Outport の Carrier frequencies に下記の変数 freq を入力し、 用いて、電圧値(全ての周波数で 1)を設定します。



```
ブロック線図
```

```
%MATLAB 画面上で入力
%各パラメータ
amp = ones(1,201);
freq = logspace(8,10,201);
stepsize = 1 / 500e6;
```

```
%Simulink 上の出力を MATLAB に読み込む
lpf = sim('lowpass_filter.slx');
```

```
%グラフ出力
```

```
figure();
semilogx(freq, lpf.out)
xlabel('Frequency[Hz]')
ylabel('Amplitude[dB]')
title('Lowpass Filter Frequency Response')
```

Constant には変数 amp を



4-2 AM 受信機

最後に、スーパーヘテロダイン方式の受信機をシミュレーションをしてみます。



全体図







%各種パラメータ
%モデル設定>モデルプロパティ>コールバック> Init Fcn に書いておいて、各種ブロックの設定に使う。
sim_factor = 0.1; %シミュレーションを軽くするために
rf_freq = 7e6 * sim_factor;%無線周波数
if_freq = 455e3 * sim_factor;%中間周波数
af_freq = 1e3;%可聴周波数
stepsize = 1/carrier_freq/10;%ステップサイズ

左側

左側

検証用信号生成

→ sin wave(simulink 標準) で生成した信号を、

Passband(Communications Toolbox)で2段階(455*0.1kHz→7*0.1MHz)に変調しました。

SSB AM Modulator

生成した信号(時間領域・両側スペクトル)



アンテナ・フィルタ・RF 増幅・混合器

Antenna(RF Blockset)に入力した信号を	」 Filter(RF Blockset)で無線波周波数近傍を取り出して
In Out	
LAmplifier(RF Blockset)で増幅し、	SSB AM Demodulator Passband(Communications
Toolbox)で中間周波数に変換しました(RF Blockset	でいい感じに周波数変換する方法が分からなかった)。

Amplifier では、適宜 IP3(増幅器の非線形性を決めるもの)やホワイトノイズを設定します。



右側

IF 増幅・検波段・AF 増幅

中間周波数に変換した後の信号を増幅した後、Simulink 信号に直して包絡線検波します(これも RF Blockset でいい感じに検波する方法が分からなかった)。検波方法は2乗検波です。Simulink 標準の math function で square (2乗)を選択し、 gain で 2 倍した後、 Lowpass Filter(DSP System Toolbox) で 2乗したときに生じる高周波を取り除きます。最後に sqrt で符号付きの平方根を取って信号強度のス ケールを戻します。包絡線検波については、下の参考 Web ページに詳細があります。こうして得られた信号を 再び RF Blockset で増幅して、最終的に次の信号が得られました。

最終的に得られた信号(時間領域・両側スペクトル)



その他備忘録



5まとめ

シミュレーションで色々つまずいて深いことはできませんでしたが、SSB 受信機の流れを追えれたのは良かったです。アマチュア無線技士の試験で見るようなブロック線図でシミュレーションできるのは、やはり分かりやすいですね。Matlab/Simulink にあまり触ったことがない人もぜひ試してみて下さい。今後は、今回使用したライブラリをもう少しちゃんと使ってみたいです。

6 参考文献 · Web ページ

関根慶太郎, 無線通信の基礎知識: 電波と無線通信に憧憬とロマンとを感じるあなたへ, CQ 出版, 2012

「Model RF Filter Using Circuit Envelop」 https://jp.mathworks.com/help/simrf/gs/model-lc-bandpass-filterusing-circuit-envelope.html

「包絡線検波」https://jp.mathworks.com/help/dsp/ug/envelope-detection.html#d123e9796

各種設定(ローパスフィルタ)

Top /15-5-canade Comparing to respect to the field of the sector of th			N プロック パラメーター Configuration ×
Constant Const			Configuration
Image: state in the			Define RF Blockset Circuit Envelope system simulation settings.
Intermediate induces			
Import Import </td <td></td> <td></td> <td>Main Advanced</td>			Main Advanced
Individual Constant Constant <tr< td=""><td></td><td></td><td>Automatically select fundamental tones and barmonic order</td></tr<>			Automatically select fundamental tones and barmonic order
Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constant Image: District Constent Image: District Constant<	Town Mark & Constant		Fundamental topes: 9 33254 9 54993 9 77237 101
Canada Canada	Constant A		Harmonic order 111111111111111111111111111
10/3 - 0 ≤ 1 3/2.1/2.Winl / str2ues. 2/3/2.1/2.Winl / str2ues. 3/3/2.1/2.5/3/2.5/3/2.1/2.5/3/2.1/2.5/3/2.5/3/2.1/2.5/3/2.5/3/2.5/3/2.1/2.5/3/2	(定数値) パラメーターで指定した定数を出力します。(定数値) がベクトルで (ベクトル	┣┓ プロック パラメーター: Inport ×	Tetal deviation for more days 2.00421 - 05
J. 42 (# d # d # d # d # d # d # d # d # d #	パラメーターを1次元として解釈]がオンの場合、定数値を1次元配列として扱いま	Inport	View
k/2 genetic	す。そうでない場合、定数値と同じ次元で行列を出力します。	Convert Simulink signal to RF Blockset Circuit Envelope voltage or	Step size: s *
####################################	メイン 信号属性	current.	Envelope bandwidth: 500 MHz
Implementation: Intermentation: Implementation: Implementation: <td>定数值:</td> <td>Parameters</td> <td>Noise</td>	定数值:	Parameters	Noise
CM //b // f/3x-9-± 1 % Th2L/C #R by //b //b //b //b //b //b //b //b //b /	amp	Source type: Power •	Simulate noise
#27/JAMR: inf Carrier frequencies: freq Input/Output Signals Samples per frame: 1 Input/Output Signals OK(0) ###2/EMC AMJ/H) BERIAL OK(0) ##2/EMC AMJ/H) BERIAL OK(0) ##2/EMC AMJ/H) BERIAL OK(0) ##2/EMC AMJ/H) BERIAL Input/Output Signals OK(0) ##2/EMC AMJ/H) BERIAL OK(0) ##2/EMC AMJ/H) BERIA	☑ ベクトル パラメーターを 1 次元として解釈	Source impedance (Ohm): 50	Temperature: 290.0
Implementation: Bitter type: Cover the Bitokset Circuit Envelope voltage or current to Simulink Filter order: 2 Basband itemusion(B) Cource implement using filter order: Cource implement using filter order: Basband itemusion(B) Cource implement using filter order: Basband attemusion(B) Cource implement using filter order: Cource implement us	サンプル時間:	Carrier frequencies: freq i Hz •	Input/Output Signals
Implementation: Implementation: Implementation: Implementation: Filter type: Implementation: Implementation: Implementation: Source implementation: Implementation: Implementation: Implementation: Convert RF Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Parameters: Sensor type: Source implementation: Implementers: Sensor type: Implementers: Source implementation: Implementers: Implementers: Implementers: Source implementers: Implementers: Implementers: Implementers: Convert RF Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Implementers: Implementers: Convert RF Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink si	inf	Ground and hide negative terminal	Samples per frame: 1
OKO) ++>2UL/C A/b/T(H) Implementation Iter Main Valuatization OK(O) ++>2UL/C A/b/T(H) Implementation Design method: Buteworth Implementation: C fee Outport Outport Implementation: C fee Implementation Coveration Outport Coveration Sensor type: Parameters Sensor type: Implementation Implementers Sensor type: Power Implementation Correr frequencies: fre			Normaliza carriar nowar
Image: Top 20 / C5x-5-: Filter Filter Model an RF filter Main Main Visualization Design method: Butterworth Filter type: Implementation: C Tee Outpott Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Passband attenuation (dB): Possband frequency: 1 2 Passband attenuation (dB): Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Parameters: Source impedance (Ohm): 50 1 Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Parameters: Source impedance (Ohm): 50 Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Parameters: Source impedance (Ohm): 50 Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert RF Blackset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal.	OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)	OK(O) キャンセル(O ヘルプ(H) 適用(A)	
Implementation: Design method: Implementation: Cree Implementation: Implementation: <tr< td=""><td></td><td></td><td></td></tr<>			
Filter Model and R filter Main Visualization Design method: Butterworth Filter type: Lowpass Implement taing filter order: 2 Gimplement using filter order: 2 Filter order: 2 Passband frequency: 1 Bill for 00(02) 1 Conver RF Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Parameters Source impedance (Ohm): 50 Ground and hide negative terminals Export Conver Affer Equencies: Freq Hz Quotput: Magnitude and Angle Baseband Carrier frequencies: freq Ground and hide negative terminal Ground and hide negative terminal	November 10 August Street Str	×	
Model an RF filter Main Vsualization Design method: Buteworth Implementation: Cre Implement using filter order: 2 Passband frequency: 1 Biter order: 2 Source impedance (Ohm): 50 Ground and hide negative terminals Epport Export Frequencies: frequency: 1 Ground and hide negative terminals Epport Convert Are Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert Are Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Convert Are Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Visual Convert Are Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Outpott Convert Are Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Visual Convert Are Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Outpott Convert Are Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Outpott Magnitude and Angle Baseband • Carrier frequencies: freq Ground and hide negative terminal Ground and hide negative terminal	Filter		
Main Visualization Design method: Butterworth Filter type: Lowpass Implementation: C Tee Implementation: C Tee Implementation: C Tee Implementation: C Tee Passband attenuation (dB): [0/0g-10/2) Source impedance (Ohm): 50 Load impedance (Ohm): 50 Ground and hide negative terminals Export Export Ground and hide negative terminal	Model an RF filter		
Design method: Butterworth Filter type: Lowpass Implementation: Cree Outport X Outport X Filter order: 2 Passband attemuation (db): 10*02 0/22 Source impedance (Ohm): 50 Output: Magnitude and Angle Baseband Carrier frequencies: req Ground and hide negative terminal Carrier frequencies: Export Ground and hide negative terminal	Main Visualization		
Filter type: Lowpass Implementation: LC Tee Implement using filter order Outport Stasband fequency: 1 Braband requency: 1 Braband requency: 1 Source impedance (Ohm): 50 Load impedance (Ohm): 50 Ground and hide negative terminals Export Function Export Okt(D) #Vz/tL/(C) VK(D) #Vz/tL/(C) VK(D) #Vz/tL/(C)	Design method: Butterworth	•	
Implementation: LC Tee Implement using filter order Convert RF Blockset Circuit Envelope voltage or current to Simulink signal. Passband afteruitori (dB): 10*0910(2) Passband afteruitori (dB): 10*0910(2) Source impedance (Ohm): 50 Cad impedance (Ohm): 50 Ground and hide negative terminals Export Carrier frequencies: freq Export Ground and hide negative terminal	Filter type: Lowpass	· I bell through at Each and a second	×
Implement using filter order Cutport Filter order: 2 1 Passband atternution (dB): 10/09/10/2) 1 Source impedance (Ohm): 50 1 Load impedance (Ohm): 50 1 Ground and hide negative terminals Currier frequencies: freq Export Ground and hide negative terminal Currier frequencies: OK(O) ±+y/t2/k(O) A/k/(th) Zm(A)	Implementation: LC Tee	Call 90 N X-9-: Outport	~
Filter order: 2 I Passband frequency: I I Passband attenuation (dB) 10 ¹⁰ 0g10(2) I Source impedance (Ohm): 50 I Output: Magnitude and Angle Baseband I Carrier frequencies: freq I Export I Ground and hide negative terminal	Implement using filter order	Outport	- No. 1
Passband frequency: 1 I I I Parameters Passband attenuation (dB): 10 ¹ 0g10(2) I Sensor type: Power • Source impedance (Ohm): 50 I Load impedance (Ohm): 50 I Output: Magnitude and Angle Baseband • Carlier frequencies: Freq I I • • • • Victor frequencies: freq I I •	Filter order: 2	: signal.	UIIIK
Passband atteruation (dB): 10*log10(2): I Sensor type: Power - Source impedance (Ohm): 50 I Load impedance (Ohm): 50 I I Ground and hide negative terminals Carrier frequencies: freq I Hz - OK(O) #+2/t1/k(O) A/k7(H) Zm(A) OK(O) #+2/t1/k(C) A/k7(H) Zm(A)	Passband frequency:	Hz Parameters	
Source impedance (Ohm): 50 I Load impedance (Ohm): 50 I I Output: Magnitude and Angle Baseband • C Ground and hide negative terminals Carrier frequencies: freq I Hz • C Ground and hide negative terminal G G G Output: G G G Output: Magnitude and Angle Baseband • C Ground and hide negative terminal G G G Output: G G G G G G G G G G G G G G G G G G G	Passband attenuation (dB): 10*log10(2)	Sensor type: Power	•
Joanse mycunik (vinii) J Output: Magnitude and Angle Baseband Ø Ground and hide negative terminals Carrier frequencies: freq I Export Ø Ground and hide negative terminals Carrier frequencies: freq I Ø KIOD # #://tt/kiO A/k/(H) @FIAA) Ø KIOD # #:/tt/kiO	Source impedance (Ohm): 50	Load impedance (Obm): 50	
Corpustion (Control) D Corpustion Imagination (Control) Imagination (Contro) Imagination (Control) Imagination	Load impedance (Ohm): 50	Output: Magnitude and Angle Baseband	
Control incidences i	Ground and hide negative terminals	Carrier frequencies: freq	•
OK(O) キャンセル(G) ヘルプ(H) 週用(A) OK(O) キャンセル(G) ヘルプ(H) 週用(A)	- Ground and nide negative terminals	Conner inequencies. Ineq	
OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A) OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)	Ex	DORT BIOGRADIA AND AND AND AND AND AND AND AND AND AN	
OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A) OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)			
	OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 送	用(A) OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適	用(A)

各種設定(SSB 受信機)

プロックパラメーター: Sine Wave 長時間の実行のために数値的な問題(絶対時)	× *間でオーバーフローするなど) が発生 _^							
した場合、サンプルベースの正弦波タイプを使用	してください。							
パラメーター		🏂 ブロック パラメーター・SSR AM N	Andulator Passhand1 X	2	ブロック パラメーター・SSR AM	Modulator Passhand	×	
正弦波タイプ:時間ベース	•	SSB AM Modulator Passband	d (mask) (link)	SSE	AM Modulator Passbar	nd (mask) (link)		
時間(t): シミュレーション時間を使用	•	Modulate the input signal us	ing the single-sideband amplitude modulation	Мо	dulate the input signal u	using the single-sideband amplitude modu	latior	
振幅:		method with Hilbert transfor	m filter.	me	thod with Hilbert transfo	orm filter.		
1	÷	The input signal must be a so	talar.	The	input signal must be a	scalar.		
N1PA:		パラメーター		185	メーター			
		Carrier frequency (Hz):		Car	rier frequency (Hz):			
m) 20.90 (rad/sec):		if_freq	1	ca	rier_freq			
位相 (rad):		Initial phase (rad):		Init	ial phase (rad):			
0		0		0				
サンプル時間:		Sideband to modulate: Upp	er ·	Sid	eband to modulate: Lo	wer		
stepsize*2		Hilbert transform filter order	(must be even):	Hill	pert transform filter orde	er (must be even):		
☑ ベクトル パラメーターを 1 次元として解釈		100		10	5			
	~	·						
 OK(O) キャン 	セル(C) ヘルプ(H) 適用(A)	ОК	.(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)	0	0	OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 道	用(A)	
		Nラメーター: Configuration		×	National States of the			
		Configuration		^	™ プロック パラメーター	-: Filter2	×	
Tロック パラメーター: Antenna	×	Define RF Blockset Circuit Envelope	system simulation settings.	_	Filter Model an RE filter			
Antenna (mask) (link)		Main Advanced			induct differ inter			
Model antenna accounting for incident p	ower wave (RX) and radiated	Spectrum		_	Main Visualiza	Buttenworth		
power wave (TX).		Automatically select fundament	al tones and harmonic order		Sesign metriou.	Bandnass		
パラメーター		Fundamental tones: [50	50.455]	IZ ×	mplementation:	LC Tee	•	
Main	inter y	Harmonic order: [5 5	1	1	✓ Implement usin	ng filter order		
Source of antenna model. Isotropic radi	ator	Total simulation frequencies: Comp	outed at simulation time	View	Filter order:	3		
Antenna gain: 2.14	: dBi •	Step size: step	size i s		² assband frequence	cies: [carrier_freq*0.9 carrier_freq*1.1	i Hz 🔹	
Impedance (Ohm): 50	<u>.</u>	Envelope bandwidth: 500 M	ИН2	_	Passband attenuat	tion (dB): 10*log10(2)		
✓ Input incident wave	Output radiated wave	Noise			Source impedance	(Ohm): 50	1	
Incident wave		Use default random number de	inerator		_oad impedance (0	Ohm): 50	:	
incident carrier frequencies. carrier_free	4 · H2	Temperature: 290.0	I K		Ground and hid	de negative terminals		
Simulate noise		Input/Output Signals					Export	
Ground and hide negative terminal		Samples per frame: 1						
	and the second	<		>		OK(O) キャンセル(C)	ヘルプ(H) 適用(A)	
OK(O) キャンセル((C) ヘルプ(H) 適用(A)		OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H)	適用(A)				
		10ック パラメーター: SSB AM Democ	Julator Passband X					
		SSB AM Demodulator Passband (mask) (link)					
		Demodulate a single-sideband an	nplitude modulated signal.					
		The input signal must be a scalar.						
		パラメーター						
▶ ブロック パラメーター: Outport10	×	Carrier frequency (Hz):						
Outport		carrier_freq	:		A 10-1 A 1		3 70v9 K5X-9-: 0	Dutport X
Convert RF Blockset Circuit Envelope volt	age or current to Simulink	Initial phase (rad):		leport	V // JX-9-: Inport I	^	Convert RF Blockset	Circuit Envelope voltage or current to Simulink
signal.		0	i	Conver	t Simulink signal to RF B	Blockset Circuit Envelope voltage or	signal.	encar enrelepe rotage of carton to ontainin
Parameters		Lowpass filter design method: Bu	utterworth *	current		······································	Parameters	
Sensor type: Ideal voltage	•	Filter order:		Param	eters		Sensor type:	Ideal voltage *
Output: In-phase and Quadr	ature Baseband *	4	1	Source	type: Ideal volta	age -	Output:	In-phase and Quadrature Baseband
Carrier frequencies: carrier_freq	i Hz •	Cutoff frequency (Hz):		Carrier	frequencies: if_freq	i Hz •	Carrier frequencies:	if_freq i Hz •
Ground and hide negative terminal		carrier_freq	:	Gro Gro	und and hide negative t	erminal	Ground and hide	e negative terminal
OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)	() OK(O)	キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)		OK(O)	キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)	c	OK(O) キャンセル(C) ヘルプ(H) 適用(A)
™ ブロック パラメーター: Lowpass Filter		×						
Lowpass Filter		A						
Design a FIR or IIR lowpass filter								
<u> </u>								
メイン データ型								
Parameters								
Filter type:	FIR	•						
Design minimum order filter			And the state of the state			□ 70ック パラメーター: Outport1		×
Passband edge frequency (Hz):	af_freq*10	1	□ フロック パラメーター: Inport		×	Convert RE Blockent Circuit Emul	altage or current to C	link
Stopband edge frequency (Hz):	af_freq*20	1	Inport	inquit Served	no voltago ca	signal.	onage or current to Simul	iiik
Maximum passband ripple (dB):	0.1	:	convert Simulink signal to RF Blockset Ci current.	ircuit Envelo	ope voltage or	Parameters		
Minimum stopband attenuation (dB):	80	:	Parameters			Sensor type: Ideal voltage		•
Inherit sample rate from input			Source type: Ideal voltage		-	Output: Complex Baseban	d	•
		View Filter Response	Carrier frequencies: af_freq	E	Hz -	Carrier frequencies: af_freq	: Hz	•
シミュレーション実行方法:	インタープリター型実行	•	Ground and hide negative terminal			Ground and hide negative terminal		
0	OK(O) +++>	/セル(C) ヘルプ(H) 適用(A)	OK(O) +++>/7 .(((A) (第日(A)	OK(O) キャンセル	(C) ヘルプ(H) 適用	(A)

自作キーボードのすゝめ

しがない Vimmer

1 はじめに

皆さんこんにちは。昨今コロナ禍の影響で自粛生活が続く中、自宅で PC と向き合う時間が増 えたという方も多いのではないでしょうか。そこで、近頃活発化している自作キーボードの話を ご紹介したいと思います。

「えっ、キーボードって自分で作れるの!?」と驚くかもしれませんが、実はそこそこ簡単に作れます。秋葉原で部品を揃えれば、一日くらいで配線から組み立てまでできます(できました)。 必要な知識も、簡単な回路の構造とプログラミングをちょっと齧ったことがあれば理解に問題は ないかと思います。筆者もできるだけ分かりやすく説明するように努めますので、この記事を参 考に、是非世界で一つだけの自作キーボードを作ってみてください!

2 基礎知識

2.1 キーボードの動作原理

普段何気なく使っているキーボードですが、その入力インターフェースは一体どのようになっ ているのでしょうか?実際にキーボードを分解してみると、基板には沢山のスイッチと1つ(場合 によっては2つ)のマイコンが実装されているのが確認できます。スイッチは対応するキーの信 号を通すか通さないかを制御するもので、その信号がマイコンに伝わり、入ってきた信号を文字 データに変換し、接続されているコンピュータに伝送しています。このようにして、人間が押し たキーに対応する文字がコンピュータに入力されるのです。

2.2 ハードウェア: 配線と回路

ではまず回路の概観を示します。一般的なキーボードはキー の数がピンの数よりも圧倒的に多いので、少ないピン数でも多 数のスイッチの情報を管理できるように、図1のように縦線と 横線を用いて2次元的にピンとスイッチを配線します。こうす ることで、マイコン側で縦線のピンに信号を入力した時、スイッ チを通って横線のピンに信号が帰還してくるので、(縦番号,横番 号)の組み合わせでどのスイッチが押されたかが検出できるとい う仕組みです。この「キーマトリックス」という方式を導入する ことで、たった20本のピンでも100キー以上のキーボードを作 ることができます。ちなみに、より高度な方法として、縦線から 横線、横線から縦線の2方向の配線を用意すれば、更に倍の数の



図1 キーボード配線例

キーを管理することができるので、可能性が広がりますね。これ考えた人頭いい...

また、スイッチの側にダイオードが繋がれていますが、これは複数のキーを同時押しした時に 信号が変な経路を辿ってしまうことを防ぐため配置されています。この理由についての詳しい説 明は、ゆかりメモさんの記事 [7] を参照してください。

2.3 ソフトウェア:マイコンとファームウェア

さて、配線が大体決まったところで、次は信号を文字に変換するためのプログラムについて考え ていきましょう。汎用的なマイコンとして有名な Arduino でも勿論作れますが、一からプログラ ムを書くのでは少々骨が折れるというものです。なので自作キーボード界隈でよく使われている QMK Firmware を利用することをオススメします。前述のように二次元的に配線したキーボード の回路であれば、縦線と横線の数と接続されたピン番号を書き換えるだけで、簡単にプログラム (ファームウェア)を作れるのが、QMK Firmware の便利なところです。本記事では、もっぱらこ れを使います。

コンピュータに詳しくない人は、「ファームウェア?なにそれ美味しいの?」ってなると思いま すが、簡単に言うとマイコンの内蔵プログラムです。コンピュータのように強力な CPU を持たな いマイコンでも実行できる基本ソフトウェアのことです。

ー昔前ではマイコンを PC に繋げて、黒い画面に謎のコードを沢山打ち込んで書き込んでいたわ けですが、先人たちの知恵と努力によって現在では素敵な GUI ウェブサービスが提供され、マウ スでポチポチするだけで QMK Firmware が自動生成されるようになりました。良い時代になっ たものです。しかし残念なことに、GUI が使えるのは登録された既成品の自作キーボードキット のマイコンのみで、自分で配列を作ったキーボードには対応してないです orz。よって今回は黒い 画面でがんばります。やり方は後述。

最後は使用するマイコンについて。QMK Firmware に対応している ATmega32U4 チップが搭載された、キーボードで最もよく使われている Pro Micro を使います。最近ではとても安価になっており、一個 600 円程度で入手できるので、自キ活^{*1}が捗る捗る~

3 部品&工具

基本的な知識の理解が済んだところで、いよいよ制作に入っていきます。今回作るキーボードはフルキーボードによくあるテンキーのサイズを考えているので、5行4列の計20キーのキーボードにしたいと思います。基板加工機でプリント基板を作った方が絶対にかっこいいですが、生憎と筆者は使ったことがないので、今回は手配線にします。またケース(外装)に関しても、筆者の技術では3Dプリンタとかいう洒落たものは使えないので、これも手作りです。 こ、この方がCAD使わないし分かりやすいから…(震え声)

以上を考慮して、部品は以下のリストになります。

- Pro Micro (ATmega32U4) 及びコンスルー (付属品)
- ダイオード ×20
- より線 (黒&赤)
- ユニバーサル基板
- micro USB コネクタ (USB A-MicroB)
- タクトスイッチ (2 ピン)
- キースイッチ ×20
- キーキャップ ×20



図 2 メカニカルキースイッチ (写真は Cherry MX Red)

筆者は日頃メカニカルキーボードを愛用しており、自前でキースイッチ (図2のようなもの)を

^{*1} 自キ活: 「自作キーボード活動」の略。

持っているのでそれを使います。その他の部品は、自作キーボードのお店遊舎工房さんや、電子 工作で度々お世話になっている千石電商さんにて購入しました。遊舎工房は自作キーボードを始 めると足繁く立ち寄るお店ですので、これを機に場所を覚えておきましょう。

また、必要な道具類は以下のリストになります。

- 必須
 - はんだ線&はんだごて —— 部品、配線のはんだ付け用
 - 精密のこぎり —— 基板カット用
- あったら便利
 - はんだごて台 ―― 便利というか必須?
 - ワイヤーストリッパー —— 銅線の被覆剥がし用*2
 - セロハンテープ —— はんだ付けの際の部品固定、絶縁用
 - ペンチ —— スイッチのピンや部品の足を曲げる用
 - ニッパー ―― 部品の余った足の切り取り、整形用
 - 先曲ピンセット —— 細かい部品の保持用
 - カッター、カッティングマット —— セロハンのカット、プラスチックピンの切り取り など

4 制作

4.1 ユニバーサル基板に手配線

それではキーボードを作っていきます。まずは基板実装から。図3が示しているように、メカ ニカルキースイッチをユニバーサル基板上に嵌めていきます。しかし、そのままではピンが入ら ないので、左の2枚の写真のように中央のプラスチックピンをカットし、金属ピンをユニバーサ ル基板に嵌まるように曲げます。これを20個のスイッチ全てに行って基板上に整列すると、右の 2枚の写真のようになります。



図3 ユニバーサル基板にスイッチを搭載する

これでスイッチのピンの位置が決まったので、次にダイオードを配置していきます。できるだ けピンの近くに位置を定めて、ダイオードが取れないように足を八の字に曲げて固定します(図4 左2枚の写真)。この時、ダイオードの向きを全て揃えるように注意しましょう。

それからはんだ付けを行います。図1のような回路を作成するので、スイッチの片方のピンを ダイオードに接続し、もう片方のピンは縦に繋げます。(筆者は材料節約のため、ダイオードの 余った足を切り取って銅線代わりにしました、セコい) そうすると図4の左から3枚目の写真の ようになります。次にダイオードの余った足を横に繋げて、Pro Micro とリセット用のタクトス

^{*2} 筆者はワイヤーストリッパーを持っていないので、ハサミで代用しました。

イッチを基板上に配置します。最後に横線 (黒) と縦線 (赤) をそれぞれ Pro Micro の好きなピン に接続し、RST(リセット) ピンと GND ピンをタクトスイッチに繋げれば、配線は完了です。



図4 ダイオードを配置し、はんだ付けと配線

ちなみに、Pro Micro の各ピンの仕様は図 5 に記載してあります。製造元のページからも閲覧 できます。



図 5 Pro Micro のデータシート

4.2 Pro Micro へのファームウェアの書き込み

これまでの制作工程をかなりダイジェストでお送りしましたが、実際はかれこれ6時間掛かっています。筆者は電子工作に不慣れなので、何度も部品配置や配線を直したせいで余計に時間が掛かってしまった印象です。配線が完了した基板は図6のようになりました。これでハードウェアは完成です。

次にソフトウェアの方を作っていきましょう。QMK Firmware の ツール類は GitHub から clone します。尚、筆者の環境は Ubuntu 20.04 LTS です。Windows や macOS での動作確認は行っていませ ん。参考した記事はこちら [10] です。

ただし、このやり方は結構古いらしく、現在はどうやら Python が 動いている qmk というパッケージが推奨されているようです。気に なる方は、QMK Firmware のドキュメントを参照してください。



図6 基板の配線完了

4.2.1 qmk_firmware $\mathcal{O}(\mathcal{A})$

\$ git clone --recurse-submodules https://github.com/qmk/qmk_firmware.git

\$ cd qmk_firmware

\$./util/qmk_install.sh

を実行すれば、必要なものは全てインストールされるはずです。必要な容量は約1.5GB と少々大 きいですが、そこはご愛嬌。

4.2.2 qmk_firmwareの使い方

\$./util/new_keyboard.sh ジェクトを新たに作成することができます。いくつか聞かれますが、大体下図7の左の写真のように書いておけば大丈夫です。



図 7 qmk_firmware でプロジェクトを作成する

Keyboard Name には新しいプロジェクトの名前、Keyboard Type はデフォルト (何も入力し ない) で大丈夫です。Your Name は適当に自分の名前を入れておきましょう。スクリプトが一通 り終われば、qmk_firmware/keyboards/my_new_keyboard ディレクトリが作成され、必要なファ イルが自動で生成されます。ファイル構成は図 7 の右のようになります。

4.2.3 ファイルの編集

それでは、いよいよプログラミング的なことをしていきます。編集が必要なファイルは、 config.h、my_new_keyboard.h、keymaps/default/keymap.cの3つです。

• config.h

今回は 5 行 4 列のキーボードなので、MATRIX_ROWS と MATRIX_COLS を書き換えま す。また、横線 (ROW) と縦線 (COL) に接続されたピンを、左から右、上から下の順に記 述していきます。ピンの名前は図 5 の例として、PE6 E6 のように指定します。

```
#define MATRIX_ROWS 5
#define MATRIX_COLS 4
...
#define MATRIX_ROW_PINS { B5, B4, E6, D7, C6 }
#define MATRIX_COL_PINS { B6, B2, B3, F6 }
...
```

• my_new_keyboard.h

ここでは keymap.c 編集の下準備としてキーボードのレイアウトを決めるための関数 (?) を定義します。これも左から右、上から下の順で適当にキーの変数名 (?) を振っていきま しょう。

•••				
#define LAYOUT(\setminus				
k00, k01, k02, k03, \backslash				
k10, k11, k12, k13, \setminus				
k20, k21, k22, k23, \				
k30, k31, k32, k33, \				
k40, k41, k42, k43 \				
) { \				
$\{ k00, k01, k02, k03 \}, \setminus$				
$\{ k10, k11, k12, k13 \}, \setminus$				
$\{ k20, k21, k22, k23 \}, \setminus$				
$\{ k30, k31, k32, k33 \}, \setminus$				
$\{ k40, k41, k42, k43 \}, \setminus$				
}				

• keymaps/default/keymap.c

ここでは実際にキーに割り当てられるキーコード (=押した時に入力される文字)を指定します。BASE というのは基本レイヤーのことです。自作キーボードは自分で複数のレイヤーを定義できますが、ここではシンプルに押した時の文字が指定される基本レイヤーのみを書いていきます。それぞれのキーコードの名前や意味は、Keycodes - QMK Firmware を参考に。この例ではオーソドックスなテンキーの配列にしました。

```
...

const uint16_t PROGMEM keymaps[][MATRIX_ROWS][MATRIX_COLS] = {

[_BASE] = LAYOUT(

KC_NUMLOCK, KC_KP_SLASH, KC_KP_ASTERISK, KC_KP_MINUS, \

KC_KP_7, KC_KP_8, KC_KP_9, KC_KP_PLUS, \

KC_KP_4, KC_KP_5, KC_KP_6, KC_KP_PLUS, \

KC_KP_1, KC_KP_2, KC_KP_3, KC_KP_ENTER, \

KC_KP_0, KC_KP_0, KC_KP_DOT, KC_KP_ENTER \

),

};
```

4.2.4 ファームウェアの書き込み

以上で書き込みの準備が整いました。 \$ make my_new_keyboard:default を実行してファー ムウェアをコンパイルします。(ここで [OK] と表示されずバグが発覚する場合が多々あります が、エラーとにらめっこしながら直していきましょう) そして、Pro Micro と PC を USB で繋ぎ、 \$ make my_new_keyboard:default:avrdude を実行します。色々メッセージが流れますが、途 中で待機するフェーズに入るので、その際に Pro Micro 側のリセットボタン (配線したタクトス イッチ)を押すと自動で書き込みが始まります。最後に Thank You と出力されれば書き込みは終 了です。これでキーボードの基板が完成しました!

5 完成

基板が完成したので、最後に外装を作って、キーキャップを嵌 めて、一丁前のキーボードに仕上げます。筆者は工作に関しては 疎いので、ここの作業は割愛します。最終的には右の図8のよう なキーボードになりました。自作にしてはよくできた方ではな いでしょうか。基板が少し見えてますが…



図8 完成したキーボード

6 おわりに

ここまでお付き合い頂き、ありがとうございました。自分で書いといてなんですが、結構な分 量だったと思います。その分できるだけ詳しく説明したつもりなので、皆さんも是非これを参考 に、自作キーボードに挑戦してくだされば幸いです。

手配線が大変だと思う方は、遊舎工房さんで販売されている初心者用キット meishi2 がオスス メです。こちらは基板に Pro Micro、ダイオードとスイッチをはんだ付けするだけの作業量なの で、とてもお手軽に作れます。ビルドガイドもネット上にあります。(この記事よりも詳しいです) それでは、良いキーボードライフを。

7 関連リンク

- [1] 遊舎工房, https://yushakobo.jp/
- [2] 千石電商, https://www.sengoku.co.jp/
- [3] Pro Micro データシート、https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Dev/Arduino/ Boards/ProMicro16MHzv1.pdf
- [4] QMK Firmware, https://docs.qmk.fm/#/
- [5] meishi2 キット 遊舎工房, https://shop.yushakobo.jp/products/meishi2
- [6] meishi2 keyboard ビルドガイド, https://biacco42.hatenablog.com/entry/2019/08/ 10/185624
- [7] ゆかりメモ、「オリジナルキーボードを作ってみる」、https://eucalyn.hatenadiary.jp/ entry/original-keyboard-07
- [8] おかゆ ++,「手配線で自作キーボードを作る講座」, https://okayu-moka.hatenablog.
 com/entry/2019/08/18/203923
- [9] ikejiのblog,「キーボードの手配線手順」, https://blog.ikejima.org/make/keyboard/ 2020/08/21/handwire.html
- [10] @mizuhof,「QMK Firmware でオリジナルキーボードのファームウェアを作成する」, https: //qiita.com/mizuhof/items/0c34308c2d57c9345f3a

陸海空の従事者免許を取った話

JJ1IBY

1. はじめに

こんにちは. JJ1IBY です. 昨年 11 月から 今年の3月にかけて「一陸技」「一海通」「航 空通」の3種類の無線従事者免許を取得し ました. これらの資格はアマチュア無線に 関して何か特別なことができるようになる ものではありませんが,同じ無線従事者免 許の一種ということで,興味のあるかたの 参考になれば幸いです.

2. 各資格の詳細

今回私が取得した資格は以下の3つです:

● 第一級陸上無線技術士(一陸技)

言わずと知れた?一総通と並ぶ最高 峰の資格です.取得することで「無線設 備の技術操作」,つまりは世の中のあら ゆる無線設備の点検ができるようにな ります.そういった業種で就活を行う 際,資格欄に書けば一目置かれること でしょう(経験談).

● 第一級海上無線通信士(一海通)

こちらは通信操作ができるようにな る資格です.主に船舶における通信士 として船の大きさに関係なく通信操作 ができるようになります.ただ,実際に は海技士資格が必要なことが多く,こ れだけで水兵さんになれるというわけ ではなさそうですが.

航空無線通信士(航空通)

同じく,航空機における管制塔や機体同士での通信操作ができるようになります.旅客機で通信を行う場合は当然操縦士の資格が必要となりますが, グライダーといった小規模な機体では この資格があれば地上との通信を行う ことができます.

3. 取得までの道のり

まずは申請しよう

無線従事者免許を取ろうと思い立ったらまず申請を行いましょう.これらの無線従事者免許の試験は日本無線協会

(https://www.nichimu.or.jp/)という団体 が管理しています.ウェブサイトに試験日 程が書かれているので,基本的にはその試 験がある月の2か月前から申請が開始され ます.これらの無線従事者の試験は年に2 回と逃したら半年待つ必要があるので, 切を逃さないようこまめにウェブサイトを チェックしてください.詳しい申請方法は ウェブサイトをご覧ください.

科目免除を活用しよう

試験によっては,既に持っている資格を 使って一部科目を免除することができます. 例えば,一陸技を持っている場合は航空通 の申し込みの際に「無線工学」を免除するこ とができます.資格と免除対象科目につい て は <u>https://www.nichimu.or.jp/vc-</u> <u>files/denpa/pdf/h07.pdf</u>を参照ください. 科目免除の要求は申請の際に行うことがで きます.

一海通の申し込みについて

科目免除を活用すると本来よりも費用を 抑えて資格を取得することができます. 一 海通では試験科目に「工学基礎」「無線工学 AB」「電気通信術」「法規」「英語」がありま すが,前の2つは一陸技で,後の3つは三 海通で免除を受けることができます. 一陸 技を持っている場合,三海通を受験する費 用で一海通を取ることができるということ です.一海通の受験料が1万7千円するの に対して三海通は1万円なので,かなり費 用を抑えることができます.

勉強しよう

申請が終わり,料金を払ったら試験日ま で勉強しましょう.各資格の試験科目は以 下の通りです:

- 一陸技:工学基礎, 無線工学 A, 無線工
 学 B, 法規
- 一海通:工学基礎, 無線工学 A, 無線工
 学 B, 法規, 英語, 電気通信術
- 航空通:無線工学,法規,英語,電気通 信術

私は時系列順では 一陸技→航空通→一 海通 と受験したため, 工学は一陸技を使っ て全て免除を受けました.

参考書+過去問で筆記の対策はできるで しょう. 私の場合の勉強法は 4. をご覧くだ さい.

当日の流れ

東京で受験する場合,試験は勝どきの日 本無線協会本部か国際展示場駅近くのビル

(名前忘れた)で受けることになると思い ます.申請後送られてくる受験票に試験会 場が書かれているので,事前に移動時間を 確かめておきましょう.

筆記はマークシートで行われます. 一段 ズラすというあれをしないように気を付け ましょう. また, 英語を受ける場合はリスニ ングがあるため, スピーカーの近くなど聞 き取りやすそうな座席に座りましょう.

試験によっては午前と午後に分かれるも のがあります.午後も試験がある場合昼食 をあらかじめ買っておくと安心です.私は 試験を受ける時の昼食は軽いものと決めて いるのでサンドイッチを食べています.

筆記試験終了後,電気通信術の試験が行われます.仰々しい名前ですが,やることは「フォネティックコードの聞き取り・発音」 +「タイピング(海通のみ)」です.

4. 勉強法(自己流)

以下の内容は電気電子系学科に所属する 筆者の場合の勉強法です.参考程度にして ください.

無線工学の基礎 (一陸技)

電気電子工学科の2・3年で学ぶ内容が 主でした.範囲はデジタル回路から電磁気 学まで多岐に渡ります.インターネットに 過去問があったのでそれだけ使っていまし た.

無線工学A(一陸技)

変調方式や送受信機回路がメインです. 『やさしく学ぶ 無線工学A』(吉川忠久 著) を使って知識をつけ,過去問を5回分ほど 解きました.最近は新傾向が増えていると 聞くので,過去問丸暗記はやめたほうがい いかもしれません.

無線工学 B (一陸技)

電波伝搬やアンテナ工学がメインです. アマチュア無線やっている人からするとこ ちらの方が馴染みがあるかもしれません. 『無線工学 B (1・2 陸技受験教室)』(吉川忠

法規(全資格)

久 著)を使いました.

一陸技では『電波法規(1・2陸技受験教室)』(吉川忠久著),航空通では『やさしく学ぶ 航空無線通信士試験(改訂2版)』(吉村和昭著)を使いました.海通専用の参考書は無かったため、これら2冊でカバーできる範囲はこちらを使い、あとは『電波法大

綱』(情報通信振興会 編)を使いました.

海通の法規は試験範囲に「海上における 人命の安全のための国際条約」というもの があります. インターネットに条約の原文 (http://library.arcticportal.org/1696/1/S OLAS_consolidated_edition2004.pdf)があ るので,該当部分を印刷して参照していま した.(全部英語ですが)

英語(海通・航空通)

英語はリーディングとリスニングがあり ます. 普段から英文を読んでいるためリー ディングはほとんど対策していませんが, 英語に馴染みがない場合は積極的に英文を 読んで慣れておく必要があるでしょう. ま た, 航空機や船舶の専門用語が出てくるこ とがあるので適宜調べていました.

リスニングは管制塔・港湾局との会話と いった専門的な内容が含まれているため, CD を買って対策を進めました.

電気通信術(海通・航空通)

フォネティックコードは普段からコンテ ストに参加している人なら大丈夫だと思い ます. が, 試験場での緊張で普段より速く感 じることもあると思います.本番より速度 を速めた音声が YouTube にあるので, 慣れ ておくといいでしょう.発音は5文字ずつ 言っていくとリズミカルにできて焦りませ ん.

海通の場合はこれに加えてタイピングの 試験があります(直接印刷電信というこれ また仰々しい名前です).とはいえ,タイプ ミスをしても制限時間内に入力できれば減 点にはならないし,普段からパソコンを使 っているという程度のタイピング力で十分 に時間が余ることでしょう.ブラインドタ ッチできるとなろう系の如く無双できます.

5. さいごに

一陸技・一海通・航空通という専門の無線 従事者免許取得の経験談をご紹介しました. これを取得したらアマチュア無線において 何かできるようになるということはありま せんが,試験勉強を通じて無線設備の点検 やアンテナ設計・通信時の注意事項などア マチュア無線にも応用できる多くの知識を 身に付けることができました.一アマを取 った後は,こういったプロのための無線従 事者免許取得を目標とするのも悪くないか もしれませんよ!?



頑張れ受験生!

音系の電子工作をおすすめしたい

JP7WRY

はじめに

はじめまして JP7WRY と申します。所属学科は工学部機械工学科です。学部の3年になって こうして初めて LP を書いております。どうぞお手柔らかにお願いします。私の趣味は電子 工作でして、最近ではエレキギターを買ってエフェクターを作ったりしています。今回はエ レキギターとかアナログシンセサイザー関係の電子工作はおもしろいなー!という話をし ます。

音系の電子工作はここがいい!!

エフェクターやアナログシンセサイザー関係の電子工作は以下のような点がいいと考えて います。

1. <u>音が鳴って楽しい!!</u>

そもそも楽器を触って音を出すのがとても楽しいわけなんですが、エレキギターやアナロ グシンセサイザーといった電子楽器の特有の楽しいところは広い範囲で音色を作りこむこ とができるという点です。ピアノやリコーダー、アコースティックギターなどの電気を使わ ない楽器もさまざまな演奏方法を駆使して音色を変えることはできるのですが、それらと は比べ物にならないほどの幅のある音作りができるわけです。エレキギターだとエフェク ターを音声信号の経路に差し込むことで、アナログシンセサイザーだといい感じにつまみ の位置を調整したり、ジャック間をケーブルでつないだりすることで、激しい感じの音から 落ち着いた感じの音、明るい音から暗い感じの音、気持ちいい感じの音から気持ち悪い感じ の音までいろいろ作ることができます。この音色を作ったりする過程も楽しいんですよね。 ついでにここで書いておくと音が電気信号となっているので、増幅させて広いところでス ピーカーから音を流したり、逆に減衰させてヘッドホンから音を流して周りに聞こえない ようにできるというのもいい点です。この辺の話は音系の電子工作のいいところの話では なくて電子楽器のいいところの話ですね。

2. <u>買うより安い!!</u>

楽器関係のものというのはたいてい高いものなんですが、自分で部品の組み立てなどを行 うことでそれらをお安く手に入れることができる<u>可能性</u>があります。例えば買うと 1 万円 ぐらいするエフェクターが自作本を読んで秋葉原に向かい部品を買って組み立てたらだい たい同じ機能のものが 2000-3000 円ぐらいで作れる場合もあります。ですが工具代が電子 工作のやり始めの時に割とかかるとか、制作時間を時給換算したら浮いたお金以上かかる とか、制作してからもうまく動かずさらに時間やお金をかけて試行錯誤して修正するとか、 作ったものから出ている音が正しいのかわからなくなって実物を買っちゃうとかはあると 思います。そこは物を安く作るというより作る過程を楽しむということでひとつよろしく お願いします…。

3. 信号処理の勉強になる!!

エレキギターのエフェクターやアナログシンセサイザーには オペアンプやダイオード、トランジスタなどが多用されてお り、回路図を読み解いていくことでアナログ回路について詳し くなることができるかもしれません。電子工作にもいろいろジ ャンルがあるわけですが(無線系とかマイコン系とかオーディ オ系とか)それらにある程度慣れている方にとっても興味深い と思える回路というのは結構あるんじゃないでしょうか(アナ

ログシンセサイザーだと VCF (電圧制御フィルター)の回路が 図 1 VCF で使用されるダ 読み解くのが難しい場合が結構あります)。また音声信号をデ イオードラダー回路の一部 ジタル信号として処理するエフェクターやシンセサイザーもあって、それらからはデジタ ル信号処理について学ぶことができるんじゃないでしょうか。(よく知らない)

エレキギターについて

エフェクターとかアンプについて

音の流れる仕組み

みなさんご存じエレクトリックギターです。仕組みと してはギターの金属弦をはじくとエレキギターに組 付けられているピックアップという部品でその振動 を拾って電子信号として出力し、その信号をアンプ (大体スピーカーもついてる)につないで増幅させる ことで音を出すという感じです。このギターからアン プにかけての電気信号の経路の間に音を変える「エフ ェクター」というものを差していくわけです。



図 2 エレキギターの一例

エレキギターの音についてはよく「歪み」という点から語られることが よくあり、音をわざと歪ませるエフェクターがあったり(ディストーシ ョン[distortion],ファズ[fuzz],etc.)、アンプも線形性や低いひずみ 率よりむしろ「いい感じに歪むぜ」ということを性能として語られるこ とが多く、増幅素子に真空管をあえて使ったりするものもあるようで す。音を歪ませるエフェクター以外にも、音量を上下させて音をグワン

グワンさせるトレモロ[tremolo]やホールなどでギター を鳴らしたような広がりのある残響を作り出すリバーブ [reverb]、ほわーんとした感じにできるコーラス



図 3 オーバードライブとい うエフェクターの1つ。これも 信号を歪ませる役割を持つ。 [chorus]やフェイザー[phaser]などいろいろな音響効果を持つエフェクターがあります。 これらを差していくことでいろいろな音作りが可能になるわけです。

電子工作についていろいろ

- ◆ エフェクターに使われる電圧はだいたい 9V なので 006P 電池とかを使用すれば(次に書くア) ナログシンセと比べて)(もちろん短絡などには十分気を付けなければいけないが)個人的 に割と安全なイメージ。
- ◆ 難易度的にも部品がアナログシンセよりも少ない傾向があるので簡単。
- ▶ かかるお金の話をすると、ビンテージの部品とかを使うともちろん高くなるが、お安い汎用 部品などを使った場合でも割とお金がかかるのがアルミダイキャストケースと 3PDT スイッ チ。これらについてはプラスチックケースで代用したり、海外通販(aliexpress とか)で買 ったりすると安くなると思う。(出音の質がどうなるかはわかりませんが…)
- ◆ そのほかにもいろいろノウハウがある。(次の機会があれば…)

おすすめ本(読んだ本)

ROLLY と作るギターエフェクター: ギターサウンドを変化させるオリジナル機器 10 種の製 作(誠文堂新光社 2014/4/10 ISBN4416114400)→歪み系以外にもいろいろ制作例があるので 回路図を見てるだけでも楽しい。

アナログシンセサイザーについて

そもそもアナログシンセサイザーとは?

まずシンセサイザーというのは電気回路 を使用して音声信号を合成する楽器をい います。その中でも電子計算機的にプログ ラムから音声信号を合成するデジタルシ ンセサイザーに対して、トランジスタやオ ペアンプなどといったアナログ素子を使 用して音声信号を作り出す楽器をアナロ

ンセサイザーの外見的な特徴としてパラ シンセサイザー(参考文献 1)



グシンセサイザーといいます。アナログシ 図 4 Moog 社の Grandmather というアナログ

メータを調整するためのつまみや信号をほかのモジュールに渡すためのジャックが大量に ついていることがあげられます(かっこいい)。これらのつまみを回したり、ジャック間をつ ないだりすることで音高や音色を変えることができます。このような感じで音作りをして いくわけです。アナログシンセにもいろいろ種類があり各モジュールが一つにまとまって いるワンボックス型やモジュールがばらばらに分かれていて自分で組み合わせることがで きるモジュラー型があります。大きめの楽器屋に行くとおいてあるかもしれませんので試 してみるといいんじゃないでしょうか。

アナログシンセサイザーの仕組み

アナログシンセサイザーで使われるモジュールで代 表的なものとして、VCO(電圧制御発振器[voltage controlled oscillator])、VCF(~フィルタ [^filter])、VCA(~増幅器 [amplifier])、EG(エン ベロープジェネレータ[envelope generator])、 LFO(低周波発振器[low frequency oscillator])があ ります。VCO, VCF, VCA は EG や LFO、アナログシンセサ イザー用のキーボードから出てくる制御電圧([CV, control voltage])でそれぞれ、周波数や発振器から 出てくる波形の形(VCO),フィルタの特性(VCF),増幅



図 5 アナログシンセサイザーでの 音作りの例

器のゲイン(VCA)を操作することができ、それによって音作りを行っていきます。 電子工作についていろいろ

- ◆ 使う電源は±12Vか±15Vらへん。短絡が怖い。
- ◆ 1モジュールの回路がそこそこ大きいのでユニバーサル基板だときつい。基板作成の依頼も検討に入れたい。
- ◆ かかるお金の話をするとボリュームとジャック、パッチケーブル(ジャック間をつなぐ ケーブル)が大量にいるので海外通販とかの使用も検討に入れたい。
- ◆ 電源の取り回しとか分配は考えないといけない。考えないで作ってしまうと最悪詰む。
- ◆ 作ったモジュールをどうケースに固定するかということも考えないといけない。考えないでやると(略)

◆ パネルを自作するはボリュームやジャックとの間の距離について考える必要がある。 おすすめの本(読んだ本)

Make: Analog Synthesizers(Make:PROJECTS) (オライリージャパン 2017/3/18
 ISBN4873117518) →おすすめの本の中でも一番簡単。秋月電子通商で部品一式そろったキットが売ってるのでぜひぜひ。英語のサイトですが作者が解説しているサイトもあります。
 達人と作る アナログシンセサイザー自作入門 改訂版 2017 (ラトルズ 2017/9/25
 ISBN4899774699) →おすすめの本の中で次に簡単。Make のほうより作りが本格的になる。
 (VCF とか)これもスイッチサイエンスで基板が売ってるのでぜひぜひ。

伝説のハンドメイドアナログシンセサイザー: 1970 年代の自作機が蘇る(誠文堂新光社 2015/11/4 ISBN4416115431) →一番難しいが作り甲斐がある。あと主要なモジュールの定 数の決め方とかが書いてあるので勉強になる。 電源の電圧がモジュラーシンセの規格の± 12V ではなく±15V なので注意。

まとめ

エフェクターとかシンセ作るの楽しいよ!!(終わり)

実験用 0-24 / 可変安定化電源の製作

JJ1MDY

■ はじめに

アマチュア無線のトランシーバを作るにあたり、低ノイズなトランス式の可変電源があると便利だと 考え、たまたま部室でトランスを拾ったのもあって製作を行いました。以下は盛り込みたい機能です。

- * OV から 24V くらいまでをボリュームで可変して出力する
- * 最大出力電流は数 A 程度
- * アナログメータで電圧電流を表示する(かっこいいので)

本記事では簡単に設計のポイントを説明した後、製作の様子についてすこし紹介します。

■ 回路設計

回路図を図1に示します。設計にあたり電子うさぎ様のサイト[1]を参考にさせていただきました。



以下設計のポイントを抜粋します。

» トランス

部室の床に落ちていた電源装置?から取り出しました。二次電圧は 24V、二次定格電流は 1.8A と書かれていました。

» トランジスタ Q1

コレクタ電流とコレクタ損失、あとはオペアンプから十 分に駆動するための hFE が重要となります。今回は ダーリントントランジスタの 2SD2560 を選択しました。 0V1.5A 出力時にはコレクタ損失が 50W 程度となるた め、ヒートシンクと空冷ファンをつけました(図 2)。



図 2 2SD2560 + ヒートシンク

» トランジスタ Q2

トランスの定格電流を超えないよう、1.5A の電流制限

回路を追加しました。 過電流時には V_{BE} が閾値を超えてトランジスタが ON し、 定電流出力へと切り 替わります [2]。

» オペアンプ

単電源(+27V まで可)で 0V まで入力できるものということで、LT1006 を選択。負荷によっては発振してしまうので、LTspice で検証しながら位相補償コンデンサの値を決めました。

» 3 端子レギュレータ

オペアンプと基準電圧源のツェナーへの電源供給用に追加しました。本来は主回路の出力を使うと より低ノイズかもしれませんが、OV 付近を出力するときに回路が動作しなくなってしまいます。

» AC ラインフィルタ

なるべく低ノイズで作りたいということで、追加してみました。

■ 製作

» 基板加工

KiCAD を用いてボード図を作成(今回 EAGLE から 乗り換えました、ライブラリ周りが便利)。大学の基板加 工機(LPKF ProtoMat S62)でプリント基板を作成 しました。大学の基板加工機はいつでも使えるので大変 お世話になっています。



図3基板加工の様子

» ケース加工

ケースはラジオデパートのエスエス無線さんで購入。アナログメータやファン用の大穴はハンドニブ ラを使ってあけましたが、これが骨の折れる作業で手が真っ赤になりました。またケース上部には前 から気になっていたタカチの取っ手(TH-S1)を取り付けてみました。



図4正面から見た写真

図5中身の写真

Ⅰ 動作の検証

電子負荷を持っていないので大した測定はできませんが、手持ちの抵抗をいくつか使って簡単な検証を行いました。図6は抵抗を組み替えて出力電流を変化させたときの出力電圧特性です。出力 1.5A までの範囲では定電圧動作を、1.5A を超えると保護回路が働いて定電流動作をしていることが確認できました。



次に、オシロスコープ DS1202Z-E で出力端子を観察したときの波形(1.0A 出力時)を図7に 示します。平滑後のリプルはほとんど除去できているように見えます。ただしノイズが 50mV と比 較的大きい(?)値となりました。セメント抵抗の熱雑音の影響などを含んでいるのでしょうか、ノ イズの測定方法についてはもう少し勉強する必要がありそうです。

RICOL STOP H 5.00ms 125MSa/s	T J	1 250mV
Horizontal	le 動	
Period	設定	
Freq -		·vvv
🗐 Teally principles, estilister, stabilities, stabilities, addelines, s	PARTE:	
Fall Time		
		←
		キャンセル
1 /~ 50.0mv / 2 /= 50.0mv /	/	∜ ×

図7出力波形(1.0A出力時)

5 おわりに

今回はトランス式の可変安定化電源を製作し、0-24.8Vの定電圧出力と1.5Aの過電流保護機能 が動作していることを確認できました。余力があれば、ケースのレタリングや、ケース内温度に応じ てファンの出力を変化させる機能を追加する予定です。

実験用電源は1台あると非常に便利(早速CWトランシーバ製作で使っています)なので、皆さんもお手頃なトランスを見つけたら作ってみてはいかがでしょうか。

■ 参考文献

- [1] 安定化電源の自作と回路(低ノイズな電子工作用電源)-電子うさぎ, https://xn--p8jqu4215bemxd.com/archives/119
- [2] 帰還型定電圧回路 | パーツまめ知識 | マルツパーツ館 WebShop- 電子部品専門【通販・販売】, https://www.marutsu.co.jp/contents/shop/marutsu/mame/178.html
- [3] 鈴木雅臣 (1991), 定本トランジスタ回路の設計, CQ 出版社

東京大学アマチュア無線クラブ 部誌 Little Pistols vol.62 2021 年 10 月 web 版公開 編集 :JP7WRY e-mail: zlo.utokyo@gmail.com URL: http://ja1zlo.u-tokyo.org/