

1. スケルチの役割

スケルチ (squelch) とは、無視するという意味です。無線通信では、所定の通信相手からの通信がない時にはスピーカなどの出力を切ることを言います。

無線機のスケルチにはイズスケルチとトーンスケルチの2種類があり、ノイズスケルチは単に耳障りな雑音を遮断するだけですが、トーンスケルチでは音声のみを出力しかつ同一無線周波数を使っている第三者の不要通信を消音するという効果があります。

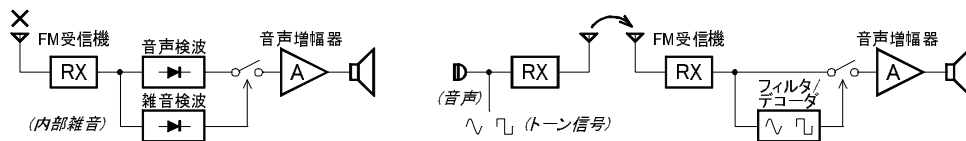
種類	雑音遮断	相手選択
ノイズスケルチ (SQL)		×
トーンスケルチ (CTCSS DCS)		

(セレコールや ATIS もトーン信号を使用しますが、これらは特定のグループを一括に呼び出したリ送信機の識別を行う機能ですので、ここでは触れません。)

2. ノイズスケルチで消える雑音

FM 受信機は電波の周波数偏移に対して感度がありますので、入力信号がない場合には内部雑音を検波し (“シャー” というように聞こえる) 広い周波数帯の雑音を発します。目的周波数の電波が入感すればこの雑音は自動的に消えますが、電波を断続するプレストーク (PTT) 式通信では非常に耳障りです。

そこで、広い周波数にまたがる雑音を検出し、音声出力を全て停止する次図のスイッチ回路を挿入することが考えられました。PTT 式通信の FM 受信機には、ノイズスケルチは必要不可欠です。



(a) ノイズスケルチの動作原理 (b) トーンスケルチの構成

ただし、ノイズスケルチは FM 電波特有の無信号時に出る雑音に有効な機能であって、エンジン等から発する雑音や電波が弱いときに混入する雑音を軽減する機能ではありません。

上図の動作から分かるとおり、発生した雑音を検波しその電圧でスイッチを切って音声回路を殺すので、相手局が PTT スイッチを離す時に (“ガシャツ” というように聞こえる) 雑音を伴います。この雑音をスケルチテールと呼び、これを防ぐには後述のトーンスケルチが有効です。

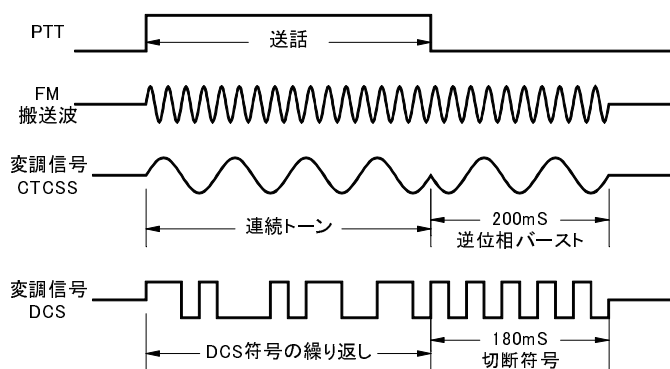
スケルチが完全に開放される入力電波の強度を、スケルチ感度と呼びます。スケルチ感度を無線機の SQL つまみで変えることができる機種とオートスケルチとなっている機種があります。また無線機に BUSY スイッチが付いていて、手でスケルチを開放できる機種があります。この機能を使用すると、弱い電波からの雑音に混じった音声を聞き取ることができるとも場合があります。

AM 受信機では、音声でスケルチを開閉する形で用いられる場合もあります。

3. トーンスケルチの働き

トーンスケルチは、雑音をカットする点ではノイズスケルチと同じ機能です。相違点は、ノイズスケルチでは相手局の PTT 操作に伴ってスケルチテールが入りますが、トーンスケルチではその雑音もなく静かに音声だけが聞こえることです。

ノイズスケルチでは送信側には特殊な装置を付けていませんが、トーンスケルチでは次図に示すように送信側で PTT オンの場合に特定のトーン信号を連続送信し、受信側では所定のトーン信号を検出した時だけ音声を出力するようにしています。さらに PTT をオフにしても約 0.2 秒間は電波を出し続け、その間に受信機側で音声を停止します。この動作によって、入力信号のないときの FM 特有の雑音の遮断・目的通信グループのみの音声出力・スケルチテールの消音を同時に実現しています。



トーンスケルチにおける PTT とスケルチテールの関係

トーンスケルチには、変調信号がアナログである CTCSS(Continuous Tone Coded Squelch) とデジタル符号である DCS(Digitally Coded Squelch) の 2 種類があります。

旧型の無線機ではアナログのトーンスケルチだけの実装でしたが、最近の機種はアナログとデジタルどちらでも選べるトーンスケルチが組込まれています。

一般名は CTCSS で、モトローラ社では PL(Private Line)、GE 社では CG(Channel Guard)、スタンダード社では TSQ と呼びますが、みな同じ意味です。DCS も、モトローラ社では DPL(Digital Private Line)、ケンウッド社では DQT と呼びますが、それらは同義です。

4. CTCSS の詳細

(a) トーン周波数による選択

トーンスケルチの仕組みから分かるとおり、通信相手の無線機から送信されるトーンが自己の無線機向けの有効な信号であると、確実に認識されなければなりません。

CTCSS では、この識別をアナログトーンの周波数に着目して行います。実際には、受信回路に極めて高選択度のフィルタを備え、所定の周波数のトーンを検出します。このフィルタは、初期にはリード共振子の機械振動を使っていましたが、現在では安定なデジタルフィルタが用いられます。数 Hz の違いを峻別できる高選択度であるので、次表のとおり 50 個のトーンが設定されています。通信相手によって特定の (通常は送信と受信で同一の) 周波数を使います。

CTCSS の周波数 (単位 : Hz)

67.0	69.3	71.9	74.4	77.0	79.7	82.5	85.4	88.5	91.5
94.8	97.4	100.0	103.5	107.2	110.9	114.8	118.8	123.0	127.3
131.8	136.5	141.3	146.2	151.4	156.7	159.8	162.2	165.5	167.9
171.3	173.8	177.3	179.9	183.5	186.2	189.9	192.8	196.6	199.5
203.5	206.5	210.7	218.1	225.7	229.1	233.6	241.8	250.3	254.1

これらの周波数は、相互変調などによってスケルチが誤動作しないように、選定されています。また、音声の明瞭度を害しないようにその帯域を避けて、300Hz 以下の周波数を選んでいきます。

CTCSS では、300Hz 以下の周波数のトーンを連続送出しますが、そのレベルは後述するように音声レベルより低く、また音声回路のフィルタで 300Hz 以下の周波数成分を除くので、目的音声の明瞭度には影響がありません。

この変調による実際の電波の型式は F2B ですが、電波法の免許の上では把握されません。

(b) 逆位相バーストによるスケルチテールの除去

前ページの図にあるように、PTT がオフとなるとそれまでと位相が反転したトーンが約 200 ミリ秒間送られます。この逆位相バーストを検出した受信機では、直ちに音声切断スイッチが動作しますが、この時点ではまだ搬送波は継続しており、スケルチテールは出ないこととなります。

5. DCS の詳細

(a) 符号の構成

DCS では、134.3kbps の速度で送られる NRZ(Non Return to Zero) デジタル信号で、搬送波を直接 FM 変調します。この信号による実際の電波の型式は F1B ですが、CTCSS の場合と同様に無線局免許では電波の型式とは見ません。

デジタル信号は、Golay(23,12) 符号を使います。23 は総ビット数、12 は有効ビット数を意味し、パリティビット数が 11 であることを表しています。具体的には次表の符号構成 (例) になっています。符号は下位ビット (C_1) から順次送られ、繰り返し連続して送信されます。

DCS 符号の構成とパリティ生成式

パリティビット	固定ビット	DCS コード		
$P_{10} P_9 P_8 P_7 P_6 P_5 P_4 P_3 P_2 P_1 P_0$	$C_{11} C_{10} C_9$	$C_8 C_7 C_6$	$C_5 C_4 C_3$	$C_2 C_1 C_0$
1 1 1 0 1 1 0 0 0 1 1	1 0 0	0 0 0	0 1 0	0 1 1
DCS コードの 8 進表示		"0"	"2"	"3"

$$P_0 = C_0 + C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_7 \pmod{2} \text{ 以下同じ}$$

$$P_1 = NOT(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_8) \quad P_6 = C_0 + C_2 + C_3 + C_5 + C_6 + C_7 + C_8$$

$$P_2 = C_0 + C_1 + C_5 + C_6 + C_7 \quad P_7 = C_1 + C_3 + C_4 + C_6 + C_7 + C_8$$

$$P_3 = NOT(C_1 + C_2 + C_6 + C_7 + C_8) \quad P_8 = C_2 + C_4 + C_5 + C_7 + C_8$$

$$P_4 = NOT(C_0 + C_1 + C_4 + C_8) \quad P_9 = NOT(C_3 + C_5 + C_6 + C_8)$$

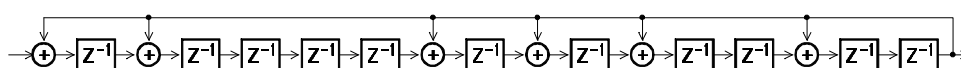
$$P_5 = NOT(C_0 + C_3 + C_4 + C_5 + C_7) \quad P_{10} = NOT(C_0 + C_1 + C_2 + C_3 + C_6)$$

DCS コードは9ビットを8進数3桁で表し、形の上では合計512個が作れます。固定識別コード“100”を含む12ビットが有効ビットです。11ビットのパリティを含むブロック符号を構成しています。

Golay 符号は、3ビット以下のあらゆるエラーの組み合わせパターンが規定されており、FEC(Forward Error Corection) が可能であるという優れた符号です。そして、固定識別コードを挿入しかつ特定の符号のみを使うことによって、連続するトーン信号のどこから受信し始めても復号できるという特徴があります。符号の生成式は次式のとおりです。

$$G(x) = X^{11} + X^9 + X^7 + X^6 + X^5 + X + 1 \pmod{2}$$

これを実現するハードウェアは、次図のように構成します。



Golay 符号生成器

(b) 使用できる符号の個数

DCS 符号は、次表の103個が用意されてます。CTCSS に比べると非常に多いので、細かく通信グループ分けすることができます。

DCS コード表

番号	番号	番号	番号	番号	番号
023 (047)	114 (712)	205 (263)	306 (071)	411 (226)	606 (631)
025 (244)	115 (152)	212 (356)	311 (664)	412 (143)	612 (346)
026 (464)	116 (754)	223 (134)	315 (423)	413 (054)	624 (632)
031 (627)	122 (225)	225 (122)	325 (526)	423 (315)	627 (031)
032 (051)	125 (365)	226 (411)	331 (465)	431 (723)	631 (606)
036 (172)	131 (364)	243 (351)	332 (455)	432 (516)	632 (624)
043 (445)	132 (546)	244 (025)	343 (532)	445 (043)	654 (743)
047 (023)	134 (223)	245 (072)	346 (612)	446 (255)	662 (466)
051 (032)	143 (412)	246 (523)	351 (243)	452 (053)	664 (311)
053 (452)	145 (274)	251 (165)	364 (131)	454 (266)	703 (565)
054 (413)	152 (115)	252 (462)	365 (125)	455 (332)	712 (114)
065 (271)	155 (731)	255 (446)	371 (734)	462 (252)	723 (431)
071 (306)	156 (265)	261 (732)		464 (026)	731 (155)
072 (245)	162 (503)	263 (205)		465 (331)	732 (261)
073 (506)	165 (251)	265 (156)		466 (662)	734 (371)
074 (174)	172 (036)	266 (454)		503 (162)	743 (654)
	174 (074)	271 (065)		506 (073)	754 (116)
		274 (145)		516 (432)	
				523 (246)	
				526 (325)	
				532 (343)	
				546 (132)	
				565 (703)	

番号は Normal 形式の DCS 符号を 8 進数表記
() 内は同一符号となる Inverted 形式

Golay 符号による符号の個数は、形式的には $C_8 \sim C_0$ の 9 ビットですから総数 512 個ありますが、符号誤りを起こしやすい組み合わせを除くと、上記の 103 個になるのです。除かれる符号構成には、7 個以上の“1” または“0” が連続するものや固定ビット (“100”) と同じパターンが現れるものなどがあります。

DCS 符号によるトーン信号の送り出しには、Normal と Inverted の 2 つの形式があります。Normal 形式では、FM 変調の際に DCS 符号の“1” を搬送波の周波数が高くなり“0” で低くするように設計しています。Inverted 形式はその逆に対応しています。その結果、Normal 形式と Inverted 形式では番号が同じでも全く異なる通信グループとなりますので、注意が必要です。通常は Normal 形式を使うことで統一することが推奨されています。

また、Normal 形式と Inverted 形式は、上表のとおり同一符号の関係になります。例えば、Normal 「023」のビットパターンは“11101100011100000010011” ですが、「047」のビットパターンを反転すると“1110000001001111011000” となり、両者はパターンが同じです。受信機のデコードでは、これを同一符号と認識します。そこで、Inverted 「047」の電波は Normal 「023」と同じ通信グループになってしまいます。

(c) 切断符号の構成

DCS でのスケルチテールの除去は、2 ページの図のとおり 7.46mS のオン・オフ信号を 180 ミリ秒間送出することによって行っています。受信側ではこの単純な信号を検知し、音声回路を遮断します。効果は CTCSS の場合と同じです。

6. トーンによる FM 変調度

トーン信号による搬送波の FM 変調度は、アナログの CTCSS に対しては旧無線設備規則では「音声信号より 20dB 低いレベル」と規定されていました。つまり、2.5kHz の最大周波数偏移の場合には、250Hz を標準とすることになっていました。現行の法令では特に規定がありませんが、一般的に音声レベルの 10%としています。

DCS については従来から法令の規定がなく、変調度も音声レベルに比して 10% ~ 20% の周波数偏移を与える値が使われます。

7. 逆トーンスケルチ

音声通信とデータ通信で周波数を共用している場合には、データ通信の GMSK 信号が音声周波数帯域に潜りこみ、非常に耳障りに聞こえます。

これを防ぐために、データ通信の時だけトーンを送出し、音声通信の場合にはトーン無しとする方法があります。そして通常とは反対に、該当トーンをデコードした時にはスケルチを閉じて不要な音を消す動作をします。これを“逆トーンスケルチ”と呼びます。

(2005.12.15 記)