UDC 621.376.33.:621.316.726/.727
621.391.883.2

PLL FM復調器に対する エンファシス効果の一検討

岩波　保則　　根元　義章　　佐藤利三郎

岩波保則，根元義章，佐藤利三郎：正員　東北大学工学部情報工学教室

A Consideration of Emphasis Effect for PLL FM Demodulator. By Yasunori IWANAMI, Yoshiaki NEMOTO and Risaburo SATO, Regular Members (Faculty of Engineering, Tohoku University, Sendai-shi, 980 Japan).

論文番号：昭 54-544[B-180]

あらまし　PLL FM復調器のエンファシス効果を含む出力SN比曲線を近似的に求め，エンファシス効果に対する検討を行った．

1. まえがき

PLL (Phase-Locked Loop) FM復調器[(1),(2)]は，そのスレッショルド拡張機能のために高感度FM復調器として現在まで広く用いられてきている．

従来の研究により，低スレッショルド特性を持つ様々なPLL復調器が提案されてきたが[(1)]，通常のFM系で用いられるエンファシス効果との関連はあまり検討がなされていない．そこで本論文では，PLL復調器に対するエンファシス効果を検討するため，エンファシスした場合のPLL復調器の出力SN比曲線を近似的に求め，それからエンファシスによる出力SN比改善度の評価式を導出し，その評価を行った．

この結果，スレッショルド以上の高い入力SN比に対しては従来のエンファシス関数で良いが，スレッショルド近傍およびそれ以下の領域ではエンファシス関数の選択に十分な注意を要することが判明した．

2. 本　論

解析に当っては，図1に示すようなPLL復調器を含む通常のFM受信機モデルを考えることにする．

又，PLL復調器としては，正弦波位相比較器特性，ラグ，リード形ループフィルタを持つ通常の2次形PLLを考える．更に，変調信号としては電力スペクトル密度$S(f)$を持つランダム信号を考え，雑音としては白色ガウス雑音を考える．

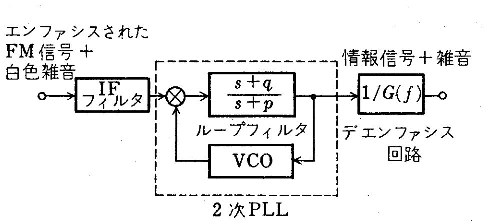

図1　解析に当っての受信機モデル
Fig.1 − Reciever model for analysis.

さて，PLL復調器のスレッショルドは，同期はずれインパルスにより起されることは周知であるが[(1)]，通常用いられるPLL FM復調器の設計法に，雑音帯域最小化・全位相誤差(信号位相誤差－雑音位相誤差)分散最小化の方法[(1)]がある．この設計法によれば，$2f_2$帯域幅当りのスレッショルド時の入力SN比ρ_{th}は次式で与えられる．

$$\rho_{th}=\frac{5}{4}\frac{1}{f_2}\left(20\int_{f_1}^{f_2}\omega^2 S(f)G(f)\,df\right)^{1/4} \tag{1}$$

但し，f_1, f_2はそれぞれベースバンドの最低周波数と最高周波数，$S(f)G(f)$はエンファシスされた変調信号の電力スペクトル密度である．式(1)より，変調信号電力が同じ場合でも，ρ_{th}はスペクトル密度関数$S(f)G(f)$の形によって変化するが，これは情報信号帯域で信号位相誤差伝達関数が高域通過特性(式(1)のω^2に相当)になるためである．

次に，出力SN比の計算式であるが，ここで対象とした変調信号を含む2次形PLLに対しては，正確な同期はずれインパルスの発生ひん度は得られていなく，従って，出力SN比を簡単に求めることはできない．

一方，無変調時の1次PLL及び2次PLLに対しては，このインパルス発生数は，解析的あるいは実験的に次式の形をとることが分かっている[(1)]．

$$C\omega_n\exp(-D\alpha) \tag{2}$$

但し，式(2)でω_nは閉ループ伝達関数の固有角周波数，αは雑音帯域幅当りの入力SN比，C及びDは定数であり，ブレーキ領域における出力SN比減少の割合を決めるDの値は，1.6～2.0程度の値をとる[(1)]．ここでは，次の二つの仮定を行うことにより，ブレーキ領域をも含めた出力SN比計算式を導出する．

(i)　スレッショルドは式(1)で決定される．

(ii)　変調時の2次PLLに対しても出力インパルス数は式(2)の形をとり，定数Dは2程度の値をとる．

つまり，インパルス発生数として式(2)を用い，これから復調インパルス雑音電力を求め，又，式(1)で決定されるスレッショルドで出力SN比が1dB減少するように式(2)のCの値を決めることにする．

このような方法では，ブレーキ領域における出力SN比は厳密には求まらない．しかし，スレッショルドが式(1)で与えられるとした場合，問題なのはブレーキ領域でどのくらいの割合で出力SN比が減少するかであり，この方法で変調信号のスペクトル密度関数の変化による出力SN比曲線の相対的な変化は十分示され得ると思われる．又，計算機シミュレーションによるSN比曲線[(2)]との比較からも，この方法でブレーキ領域の出力SN比減少の傾向は十分表せる．

この方法によると，エンファシス効果を含めた出力SN比の計算式は次式のように導出される(導出略)．

$$\left(\frac{S_0}{N_0}\right)_{\mathrm{emph}}=\frac{\sigma^2}{\frac{1}{2f_2^3}\frac{1}{\rho}\int_{f_1}^{f_2}f^2/G(f)\,df\int_{f_1}^{f_2}S(f)G(f)\,df}※$$