

スペクトラム拡散通信方式による電燈線データ伝送に関する研究

その他（別言語等）のタイトル	Application of Spread Spectrum Communication to Data Transmission over Electric Power Distribution Line
著者	一柳 和弘, 黒島 利一, 杉岡 一郎, 秋山 稔
雑誌名	室蘭工業大学研究報告. 理工編
巻	38
ページ	85-95
発行年	1988-11-10
URL	http://hdl.handle.net/10258/757

スペクトラム拡散通信方式による電燈線データ伝送に関する研究

一 柳 和 弘・黒 島 利 一・杉 岡 一 郎・秋 山 稔

Application of Spread Spectrum Communication to Data Transmission over Electric Power Distribution Line

Kazuhiro ICHIYANAGI, Toshikazu KUROSHIMA, Ichiro SUGIOKA and Shigeshi AKIYAMA

Abstract

In the construction of a home information system, a electric power distribution line is attracted special interest for the data transmission line. Advantages of the power distribution line are reasonably universal coverage and easy access via a standard wall plug. But, as the data transmission line, its disadvantages are 1) limited communication bandwidth and signal voltage level, 2) relatively high levels of electric noise and impedance fluctuations, and so on.

On the other hand, the spread spectrum communication has some remarkable features against the electric noise and the interference. Therefore, the spread spectrum communication is expected to apply the data transmission technique for the home information system passing through the power distributed line.

This paper describes on a experimental system for analog signals transmission which is applied some ideas of the spread spectrum communication via the power distribution line. In conclusion, from results of the transmission test using its system, we found that the suppressed clock pulse duration modulation technique is useful for the primary modulation in the case of analog signal transmission over the power distribution line applying the spread spectrum communication technique.

1. はじめに

情報化社会の到来により、家庭内においても、照明あるいはエアコン等の遠隔制御や、火災、ガス漏れ、防犯等のモニターなどを行なう HA (ホームオートメーション) に対する要求が高まってきた。このような HA においては通信伝送路の設置が容易で安価な方式が要求される。そこで、近年、電燈線を伝送路とした通信が注目され始めている。

電燈線は100V 商用電源配電用として既に家屋内に敷設されており、コンセントにプラグを差し込むだけで通信システムを構築できる可能性がある。しかしながら、電燈線は信号の伝送用に敷設されていないため、電気機器からの雑音が大きく、インピーダンスの変動が大きい等の理由によって、伝送路としての特性には問題がある。したがって、電燈線を伝送路として用いるためには、伝送方法から検討する必要がある。

一方、スペクトラム拡散 (Spread Spectrum : 以下 SS と記す) 通信方式¹⁾⁻⁷⁾ は、通信路における雑音や狭帯域の干渉に対して強く、電力スペクトラム密度が低いので他の通信装置に妨害を与えにくいという特徴を持っており、電燈線伝送への応用が期待できる通信方式である。

本研究は、HA の基礎的なアプローチとして、SS 通信方式による電燈線伝送装置の設計、製作及び電燈線伝送の実験を行ない、その可能性と問題点などの検討に関するものである。

2. 電燈線伝送^{8),9)}

2.1 使用する周波数と送信器の出力

電燈線伝送は電燈線に高周波電流を流すものであるから、その電界は電燈線の周辺に広く分布していることが予想され、もし使う周波数や送信機の出力に制限がなければ、電燈線の近くの通信機器に著しい妨害を与えるだけでなく、近くに存在する公共の通信施設にも障害を与える可能性がある。そのため使用周波数および送信設備出力はそれぞれ、10K~450KHz および10dbm 以下と電波法規で定められている。なお、周波数10K~450KHz の帯域を、放送周波数帯域535K~1605KHz に対応して電燈線搬送周波数帯域といい、またその中の特定の波を電燈線搬送波という。

2.2 電燈線の伝送特性

電燈線を通信伝送路に用いた場合に、以下のような問題点が考えられる。

第一に、電燈線は多くの分岐を持ち、負荷となる電気、電子機器が接続されている。この分岐は平行二線のインダクタンスと負荷の有するキャパシタンスによって共振回路を形成するため、電燈線は特定の周波数において損失が起こる。

第二に、接続された電気、電子機器はその電力ラインから不要な雑音を流出するため、コンセントより電気電子機器の雑音が電燈線へ流出している。

2.3 電燈線伝送における雑音

- (1) 継続性雑音 : 誘導雑音, 低周波雑音, コロナ雑音
- (2) 瞬時性雑音 : 故障時雑音, 機器の操作による雑音
- (3) 不規則性雑音 : 特殊機器からの雑音, 回路の異常による雑音

これらの雑音のうち継続性雑音が最も重要であり、伝送システムは、この広帯域の雑音に耐え得る性質が必要とされる。

不規則性雑音は、発生原因となるものの状況により、継続的なもの、瞬時的かつ偶発的なもの、間欠的なものなど種々ある。また、その大きさも千差万別で、個々に対策を講じなければならぬ性質のものが多い。

3. システムの概要

3.1 システムの仕様

(1) 伝送信号

本研究では、アナログ情報信号（10kHz以下の音声）を電燈線を伝送路として通信を行なう。

(2) 拡散変調方式

本研究においては、次の2種類の拡散変調方式によって実験システムを製作した。

(a) 情報信号を比較的雑音に強いFMした後に、拡散符号を用いてPSK変調し、SS信号として送出する。このSS信号を受信側では、送信側で用いたのと同じ拡散符号で一次変調信号に復調し、これを情報信号に復調する。(以下FM+拡散型と記す)

(b) 情報信号をデジタル化し、これに拡散符号を加え合わせて新たな符号を得る。この符号で搬送波をPSK変調し、SS信号として送出する。受信側ではSS信号と搬送波を加え合わせて、デジタル信号で変調された拡散符号に復調する。(以下SCPDM+拡散型と記す)

デジタル化のためのA/D変換方法としては、符号クロック速度で量子化を行なうため、SS方式に適しているSCPDM(Suppressed-Clock Pulse Duration Modulation 抑圧クロックパルス幅変調)を用いた。

図-1に(a),(b)それぞれの実験システムのブロック図を示し、表-1にシステムの仕様を

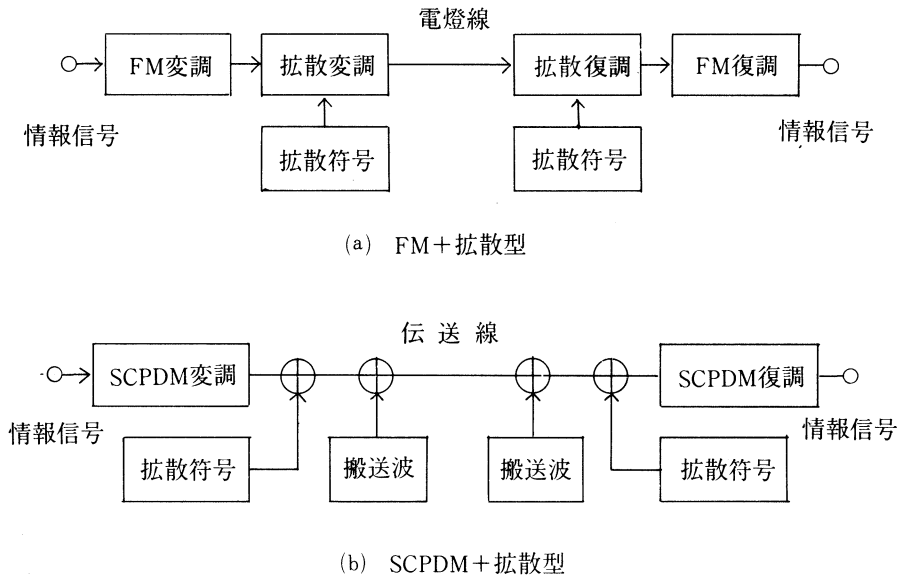


図-1 システムのブロック図

表-1 システムの仕様

スペクトラム 拡散変調方式	直接拡散 (DS)方式
拡散符号	M系列符号
クロック周波数	50 kHz
1次変調方式	FM/SCPDM
伝送信号	アナログ信号 (音声10kHz以下)
伝送路	電燈線

示す。

3.2 FM+拡散型

(1) 送信側

(a)のシステムでは、まず、搬送波を情報信号で一次変調を行なって、使用周波数帯域をRF帯域まで引き上げている。SS信号の周波数スペクトラムは、この搬送波周波数を中心として左右の広い帯域に拡散される。従って、(a)のシステムの一次変調方式として使用したFMの中心周波数と周波数遍移、及び拡散符号のクロック周波数でSS信号のスペクトラムを制御することができる。このFMにはVCO (Voltage Controlled Oscillator 電圧制御発振器)を使用している。中心周波数は200kHzで、周波数遍移は±30kHz程度になるように設計した。電燈線の場合、使用できる帯域は10kHz～450kHzに制限されているから、200kHzはほぼその中央の周波数である。また、周波数遍移は余り小さいと復調が困難になる。また、VCOの入力電圧と発振周波数は必ずしも比例関係にはないため、周波数遍移が大きすぎると線形性が失われる。

VCOから出力されたFM信号は、拡散符号を使って広帯域に拡散される。この拡散変調には、平衡変調器を使用している。また、このときの拡散符号として用いるM系列符号^{10),11)}は、シフトレジスタと排他的論理和素子を用いて発生させている。なお、本研究で製作した実験システムでは5次のM系列符号(周期31ビット)を使用した。

こうして得られたSS信号は電燈線、またはフィルタなどを通した後、受信側に送られる。

(2) 受信側

送信側で出力されたSS信号は、拡散復調過程で再度、拡散符号と掛け合わされることによりFM信号となる。この復調には、送信側と同じ平衡変調器を使用している。実用段階のスペクトラム拡散通信システムならば、この復調は同期の捕捉・保持といった過程を経て達成されるので

あるが、本研究における実験システムではこの部分を省略し、同一の拡散符号発生器から送信側と受信側の双方に供給している。

FM 信号の復調には多目的 PLL IC LM565C を使用した。情報出力は、LPF (Low Pass Filter) を通過した後増幅される。

3.3 SCPDM+拡散型

(1) SCPDM 変復調器

SCPDM+拡散型システムにおける A/D 変換方法である SCPDM のブロック図、並びに各部の波形を図-2 に示す。

入力された情報信号は、サンプル & ホールド回路によってサンプリングされる。このときの

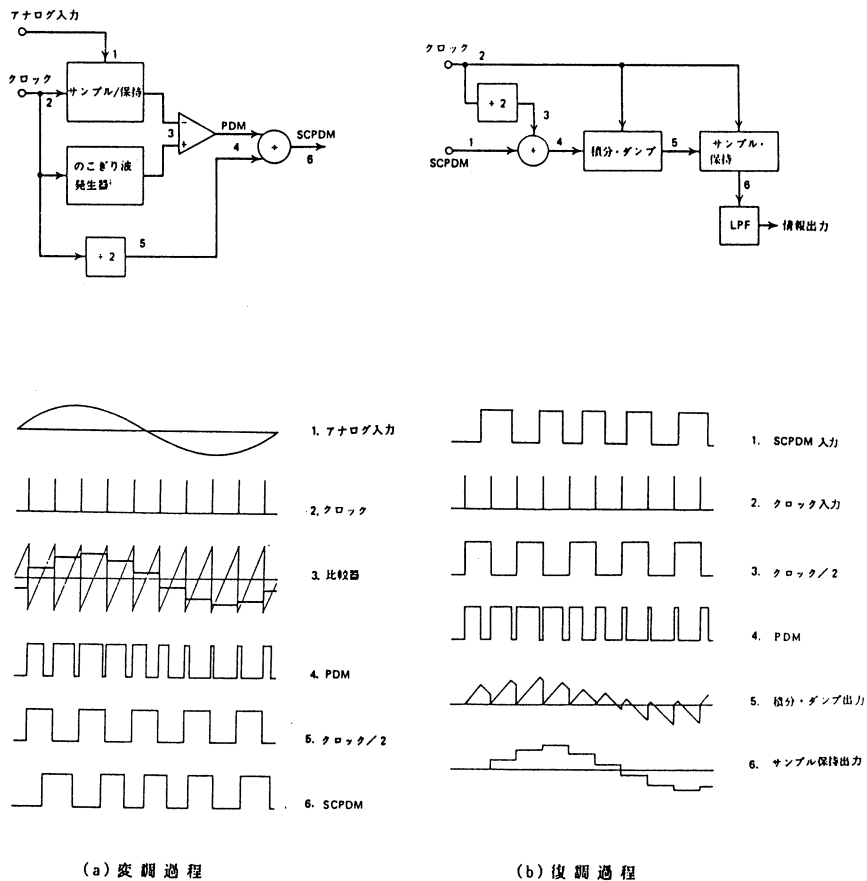


図-2 SCPDM 変復調過程

サンプリング周波数は、標本化定理によればサンプリングする信号の最大周波数の2倍より大きければ元の信号を完全に再現できるので、本システムの場合は $10\text{kHz} \times 2 = 20\text{kHz}$ より大きい周波数が必要である。本システムでは余裕をとって 50kHz とした。SCPDМ 変復調器では、このサンプリング周波数はクロックとして他の各部にも供給されて同期がとられている。

SCPDМ の変調過程について述べる。サンプリングされた情報信号はこのぎり波発生回路から出力されるのぎり波と、比較器において比較され、サンプリングデータの電圧レベルがこのぎり波の電圧レベルを超えると[1](+5V)、それ以外は[0](0V)が比較器から出力され[1]の長さが可変調のパルス波が生成される。このパルスの[1]の長さは、ホールドされているデータの電圧レベルによって決定されることになる。このパルス波がPDM波であり、これとクロックパルスを1/2に分周したものととの排他的論理和をとったものが抑圧されたSCPDМ波である。このSCPDМ波とPDM波を比較すると、実行サンプリング周波数が1/2になっていることがわかる。従ってSCPDМにおいて必要な情報帯域幅は、PDMの1/2となる。

次にSCPDМの復調過程について述べる。SCPDМの復調過程は当然、変調過程とは逆の手順で行われる。SCPDМ復調器に入力されたSCPDМ波は、まず抑圧されているクロック情報が加えられてPDM波に戻される。すなわち、クロックパルスを1/2に分周したものととの排他的論理和がとられる。このときのクロックパルスとSCPDМ波は同期が達成されていなければ、正確なPDM波を再生することはできない。この同期過程は、本システムでは省略されており、クロックは送信側、受信側の双方に同一の発振器から供給されている。

このようにして再生されたPDM波は、積分・ダンプ回路に入力される。この回路は基本的には積分回路であるが、コンデンサの電荷を放出するためのスイッチが付加されており、ここにクロックパルスが印加されるごとに電荷を放出する。この回路でできる波は入力されるパルスの[1]の長さに応じて、ピークの電圧が変化するのぎり波になる。この波を送信側で用いたのと同じ構成のサンプル & ホールド回路に入力して、クロック周波数によってサンプリングされた情報波形に再生した後、LPFで波形を整形し元の情報信号を得る。

(2) 送信側

情報信号が入力されたSCPDМ変調器は、SCPDМ波を発生する。このSCPDМ波とM系列符号とで排他的論理和をとり拡散符号を得ることができる。この符号を新たな拡散符号として、搬送波(方形波)を拡散変調することにより帯域拡散を実現している。(b)のシステムと(a)のシステムとの大きな相違点はこの部分である。(a)のシステムでは情報信号で搬送波を変調した後に、拡散符号により拡散変調を行っている。それに対して(b)のシステムでは、情報信号で拡散符号を変調した後にその変調された拡散符号で搬送波の拡散変調を行っている。

(3) 受信側

受信側のSS信号はSCPDМ波、M系列符号、搬送方形波三つの波が加え合わされたものである。

復調はこの波を後者から順に2つ、引き去ることにより行なわれる。すなわち変調過程を逆にたどるのである。この復調は、本研究では、SS信号と各波の排他的論理和をとることで実現している。このようにしてSS信号はSCPDМ波に復調され、SCPDМ復調器によってアナログ情報信号に戻される。

4. 伝送実験及び評価

4.1 FM+拡散型送受信システムによる伝送実験

電燈線挿入部の回路で使用したトランスは、約100kHzから300kHzの範囲の周波数のみ伝送できる仕様となっている。FM+拡散型のシステムでは、このトランスの伝送帯域で周波数の制限を行っても十分伝送できる。SS信号の電力を電力増幅器によって増幅した後、5mの長さの電燈線で伝送実験を行った。その結果、アナログ信号は復調された。

図-3に、受信されたSS信号のスペクトラム分布を示す。電燈線による信号減衰、及び雑音の混入が見られるものの、SS信号のスペクトラムのメインローブの概形は認めることができる。

次に電燈線の長さを変えて実験を行っても復調された波形及びSS信号の電力スペクトラムに変化は認められなかった。変化の現われない理由として次の点が挙げられる。

第一に、伝送路として用いた電燈線は同一室内に配線されており、その最高長はさほど長くはないため、電燈線の伝送特性に大きな変化はない。

第二に、本実験で使用した電燈線に接続されている分岐は50ヶ所にもおよんでいるため、実験による数ヶ所の分岐の変化は電燈線の雑音や減衰特性に大きな変化を与えない。

4.2 SCPDМ信号+拡散型受信システムの伝送実験

情報信号で変調された拡散符号の

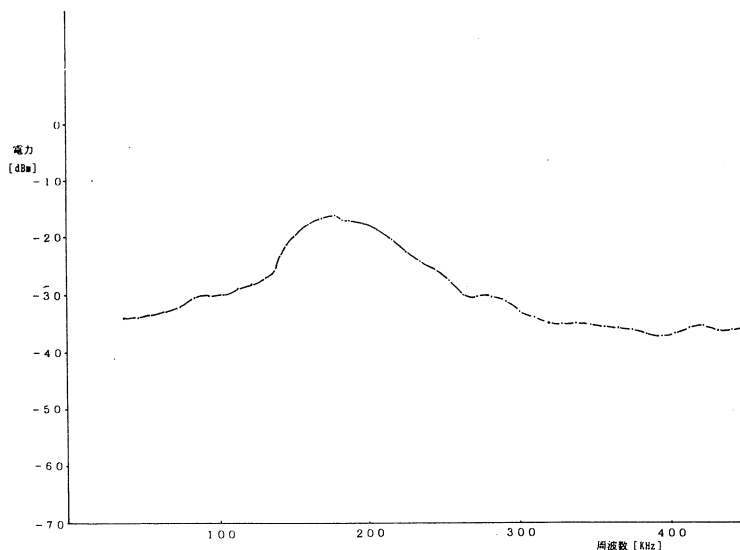


図-3 FM+拡散型SS信号の電力スペクトラム分布

スペクトラム分布の形は、送信された情報によって変化する。ここでは、アナログ信号から生成された SCPDM 信号と、M 系列符号との合成によって得られた SS 信号の帯域制限に対する影響を調べるための実験を行った。

その結果、帯域制限を行わない場合には、アナログ信号の伝送は可能である。しかし、10kHz～450kHz の BPF によって帯域制限を行った場合のアナログ信号の伝送はできなかった。

復調できない理由は以下のように考えられる。新たな符号は、低周波の領域に多くの電力を含んでいる。このため10kHz 以下の周波数を遮断すると、情報の多くが失われて復調できなくなると思われる。

次に、新たな符号のスペクトラムの低周波領域を10kHz～450kHz の範囲に収めるため、200kHz のキャリアをこの新たな符号に挿入し、同じく実験を行った。その結果、情報は復調された。

図-4 は、キャリアを挿入した新たな符号の電力スペクトラム分布である。キャリアの周波数200kHz を中心とし、新たな符号のスペクトラムが対称に分布する様子が確認できる。このため、帯域制限による情報成分の欠落が防止され、アナログ信号が復調できたのである。

なお、アナログ信号の復調波形において振幅の減少が見られるが、その理由は次の通りである。アナログ信号の振幅には PDM 信号のパルス幅が対応している。帯域制限により高周波成分が失われると、新たな符号のパルスの角が丸くなる。復調段においてコンパレータを通った新たな符号は、角の丸みの

影響でそのパルス幅が小さくなる。

したがって、復調された PDM 波のパルス幅も小さくなり、アナログ信号の振幅に影響を与えるのである。

また、復調された PDM 波のすべてのパルスが等しく小さくなるため、帯域制限におけるアナログ信号の波形にひずみを生じ

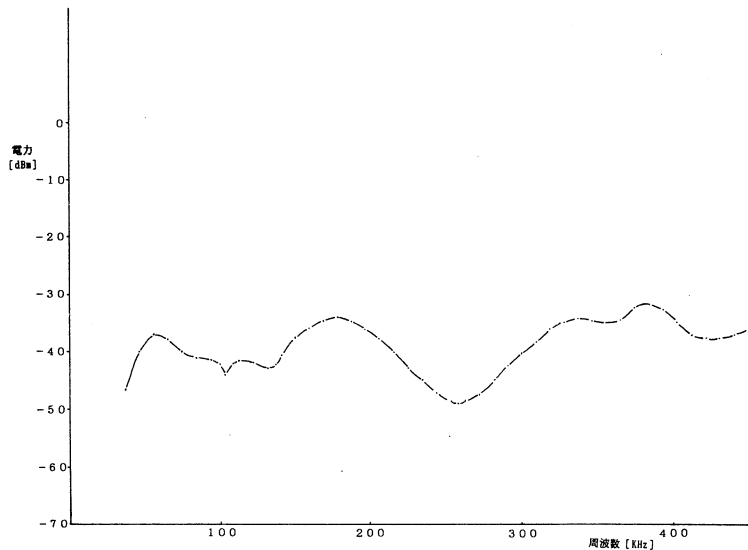


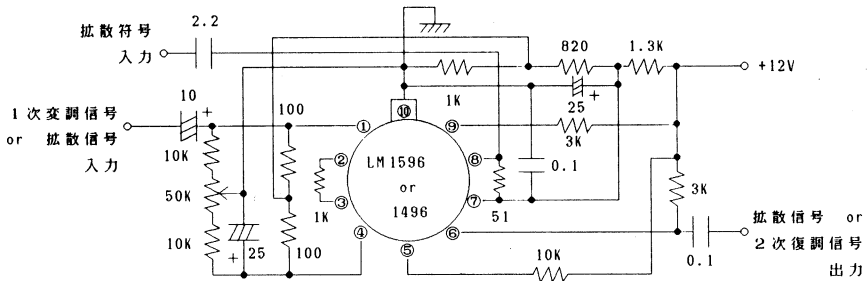
図-4 受信された SS 信号の電力スペクトラム分布

ることではない。

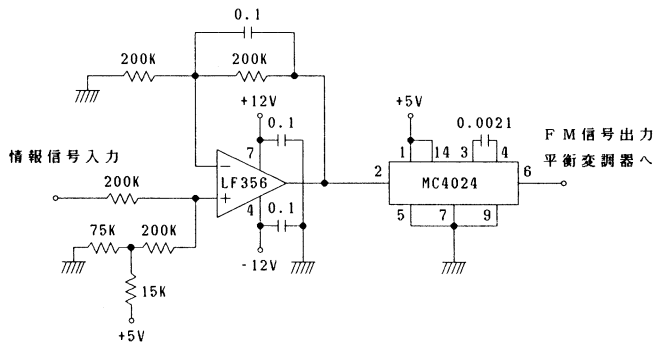
5. おわりに

一次変調に AM や FM を用いると、拡散変調されても、電力スペクトラム密度の一番高い所を追従することにより、第三者による搬送波の傍受が可能である。例えば一次変調に AM を用いた場合には簡単な包絡線検波で情報信号が再生できる。FM+拡散型のシステムにおいて搬送波を再生できるということは、そこから情報信号をも再生できることを意味する。一方、SCPDM+拡散型のシステムでは、搬送波を再生できても搬送波自身にはなんら情報は含まれていない。従ってこのシステムは、FM+拡散型システムに比べ情報が秘匿されるシステムといえる。

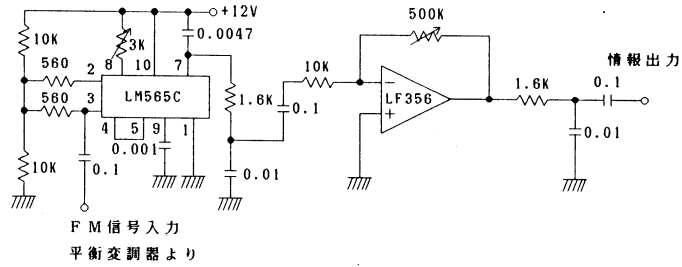
本研究では、SS 通信方式を用いた。アナログデータの電燈線伝送装置の開発を行ってきた。また、近年提案された、SS 通信方式による電燈線通信の標準案、特に送信周波数帯域の制限に主眼を置いた。そして、SS 通信方式が、これらの条件下においても正しい通信をおこなえる事を、



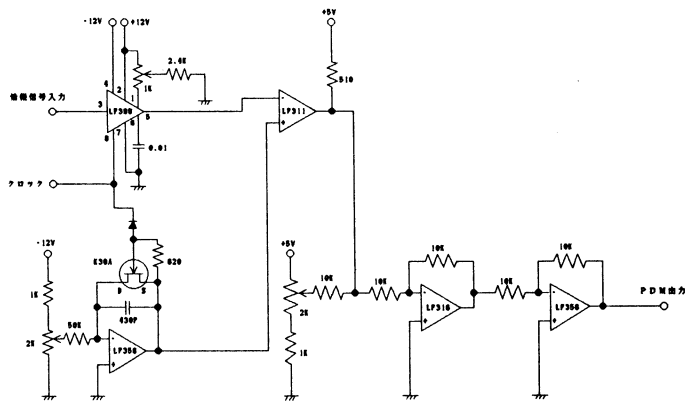
付図-1 平衡変調器



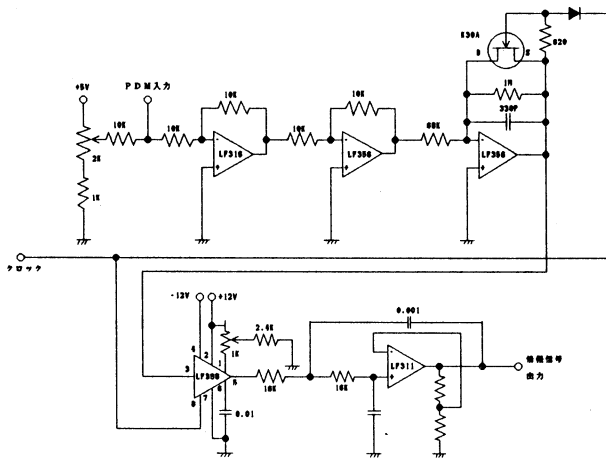
付図-2 FM 変調部回路図



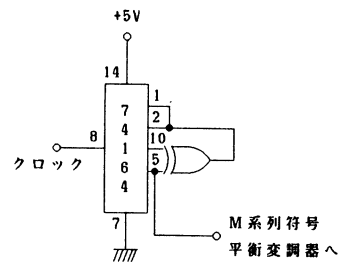
付図-3 FM復調付



付図-4 PDM変調部回路図



付図-5 PDM復調部回路図



付図-6 M系列符号発生部回路図

実際の実験システムで確認した。しかし、SS 通信方式について最も重要な点は、同期捕捉、保持についてであり、この点についての研究は稿を改めて報告する。

なお、本研究の遂行にあたり、ご協力いただいた秋吉貴徳氏(現(株)東芝)、平井政伸氏(現(株)NTT)並びに山川勇喜禎氏(現(株)日立コンピュータエレクトロニクス)に感謝の意を表す。

参考文献

- 1) R.C. Dixon 著, 立野敏, 片岡志津雄, 飯田清共訳: 最新スペクトラム拡散通信方式, JATEC 出版
- 2) John G. Proakis : Digital Communicatins, p.554~p.597, McGRAW-HILL Book Co. (1985)
- 3) R.L. Pickholtz, D.L. Schilling, L.B. Milstein : Theory of Spread Spectrum Communication-A Tutorial, IEEE Trans, CON-30, p.885~p.884 (1982)
- 4) Charles E. Cook, Fred W. Ellwesick, Laurence B. Milstein, Donald L. Schilling : Spread Spectrum Communications, IEEE PRESS.
- 5) 広崎膨太郎: スペクトラム拡散通信の応用について, 電気学会誌, 105巻, 1号, p.45~p.49 (1985)
- 6) 角川靖夫, 塚本賢一: スペクトラム拡散通信とその応用分野 I, 電子通信学会誌, Vol.65, No. 9, p.967~p.971 (1982)
- 7) 角川靖夫, 塚本賢一: スペクトラム拡散通信とその応用分野 II, 電子通信学会誌, Vol.65, No.10, p.1053~p.1059 (1982)
- 8) 中津弘定: 家庭内情報通信技術, 計測と制御, Vol.23, No.11, p.24~p.36
- 9) 高木昇, 細野敏夫, 中村宏: 電力用通信, オーム社
- 10) 柏木潤: M 系列再発見, 計測と制御, Vol.20, No. 2, p.236~p.245 (1981)
- 11) 吉谷清登: PN 系列一特に M 系列について, 電波研究所季報, p.249~p.263 (1971)