

SOIを用いて高感度／低消費電流を実現した電波時計用タイムコード受信LSI

柳原 淳一 宮下 時男
太矢 隆士

電波時計は、人手による時刻合わせが時計電池装着時から不要であり、秒単位までも正確であるといった特長により愛用者が増えつつある。

電波時計の仕組みは、独立行政法人通信総合研究所が福島県（40kHz）と佐賀県（60kHz）から送信している長波標準電波にAM変調で重畳されているリアルタイムの時刻情報（タイムコード）を受信し、表示時刻を自動補正するというものである¹⁾。

電波時計内蔵のタイムコード受信LSIは、標準電波送信所が日本国内においては2ヶ所、海外でも数ヶ所しかないという制約から微弱電波を受信できる高感度が要求され、多くはバイポーラ技術が用いられてきた。図1に長波標準電波送信所の所在地を示す。

これまでのバイポーラ型のタイムコード受信LSIでは動作時電流が数百 μ Aとなっていたが、当社では、完全空乏型SOI CMOS（Full Depleted Silicon On Insulator CMOS：FDSOI-CMOS）プロセスを用いて、従来並の高感度を維持しつつ、消費電流を20 μ A（typ）と大幅に低減させたタイムコード受信LSI：ML6190Aを開発した。本稿ではML6190Aの回路構成や今後の商品展開について述べると共に、今後期待される電波時計のアプリケーション例の紹介を行う。

長波標準電波とタイムコード受信LSI機能の概要

通信総合研究所が送信している長波標準電波は周波数標準源としても利用するために、変調度90%のAM変調電波（大振幅と小振幅の振幅比10：1）となっている。タイムコードはパルス幅でコード化されており、マーカ信号、“1”信号、“0”信号の3値で構成されている。大振幅状態はマーカ信号で0.2秒，“1”信号で0.5秒，“0”信号で0.8秒である。パルス伝送速度は1bit/secであり、1秒中の残り時間が小振幅状態となっている。タイムコードの符号列（シーケンス）は、マーカ信号で始まり、分、時、1月1日からの通算日数、西暦年（下2桁）、曜日等を示すビット信号が続くが、10ビットごとにマーカ信号が挿入されており、トータル60ビット長である。図2に

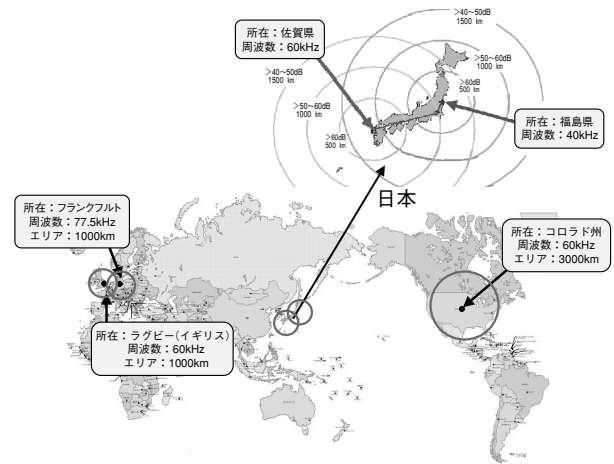


図1 長波標準電波送信所の所在地

タイムコードの構成を示す。

タイムコード受信LSIは長波標準電波を受信・検波し、マーカ信号，“1”信号，“0”信号の大振幅時間幅に対応した時間幅の論理レベル信号を出力する。これらの3値の信号からマイコンが時刻情報を識別するためには、タイムコード受信LSIが出力する時間幅論理信号の復号化（デコード）処理が必要である。

タイムコード受信LSI低消費電流化の重要性

電波時計は、受信タイムコードの整合性の確認も含めて通常複数フレームのタイムコードを受信して時刻情報の補正を行うため、1回の時刻補正に数分から10分程度を要し、また、確実な時刻補正のために、毎日数回の時刻補正動作が行われる²⁾。

近年の時計用マイコンの消費電流が1 μ A前後と低電流化してきている中で、タイムコード受信LSIは、その動作時の消費電流が大きいので、通常は待機状態としておき、時刻情報の受信時のみ動作状態としてタイムコードを識別し表示時刻に必要な修正を加え、その後待機状態に戻すというパワーセーブ機能を備えている。なお、動作時間に対して待機時間が圧倒的に長いことから、トータル

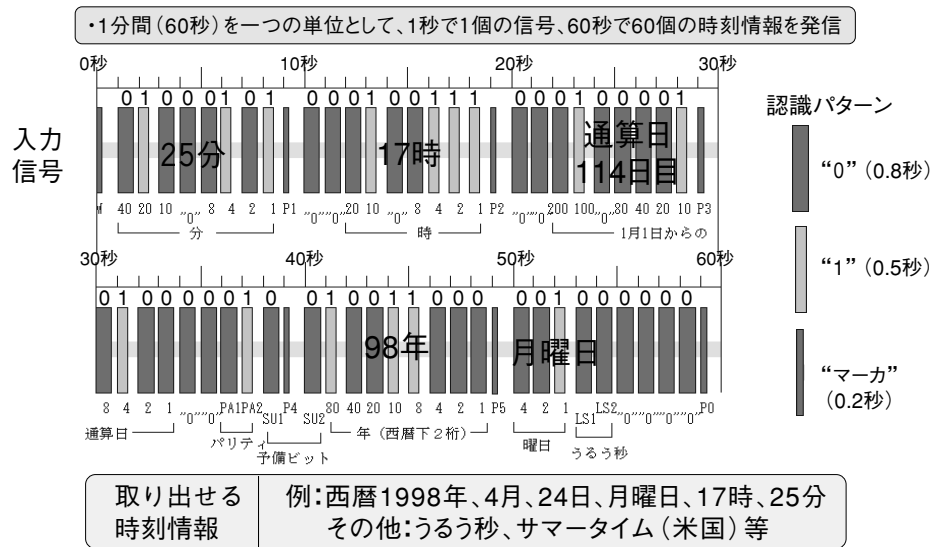


図2 タイムコードの構成

の消費電流を抑えるために待機時の低消費電流化も重要である。

SOI技術による低消費電流化の実現

抵抗負荷のトランジスタアンプで低電流化を行うには、動作電流の減少に反比例して抵抗負荷を大きくしなければならない。この抵抗負荷とアンプトランジスタの寄生容量との時定数が大きくなると、高域側の帯域が制限されることになる。

MOSトランジスタの寄生容量となる接合容量は、接合面積に比例し、接合面積はソース/ドレイン拡散層の平面部と側面部の和となる。FDSOI-CMOSデバイスでは、MOSトランジスタの底面部が厚い酸化膜(埋めこみ酸化膜)に接しているため、その容量は従来のバルクMOSトランジスタに比べ約1/10と小さく、アンプの高抵抗負荷に伴う帯域制限を大幅に緩和できる。

FDSOI-CMOSの特長として急峻なサブスレッショルド特性が挙げられるが、この特性によって、オフリーク電流が同じであれば閾値電圧を低く設定することができるので低電圧動作が可能であり、また、閾値電圧が同じであればオフリーク電流を抑えることが可能となる³⁾。

FDSOI-CMOSデバイスは、トランジスタの底面部が厚い酸化膜によって絶縁されており、各素子が分離されているため、基板を介した帰還やノイズ侵入を遮断できる。また、オフリーク電流、消費電流が小さいため電流性熱雑音の発生が少なく、低雑音化を実現できる。

ML6190Aは、以上の特長をもつFDSOI-CMOSプロセスを採用した。

タイムコード受信LSIの構成と動作

図3にML6190Aのブロック図を示す。ML6190Aは、長波標準電波を同調パーアンテナで受け、AGC(Automatic Gain Control)アンプで必要レベルまで増幅し、水晶振動子を用いた±5Hz程度の狭帯域バンドパスフィルタで必要帯域信号を抽出し、整流回路によりAM検波し、検波出力をデコーダ回路にて基準レベルとコンパレートし、レベル変換を行うことで、タイムコード論理信号を出力する。DET(envelope DETect)端子の接続容量は、AM検波の出力エンベロープの調整を行う。

AGCアンプは、狭帯域バンドパスフィルタ出力のAM波の振幅が一定になるようにゲインを調整して増幅する。AGC端子の接続容量は、AGC時定数の調整を行う。

また、ブロック図に図示していないが、回路の動作/待機を制御する動作状態制御端子を持つレギュレータ回路にて、上述の各回路への供給電源を定電圧化することで、1.1V~3.6Vの広い動作電源電圧への対応を可能にしている。

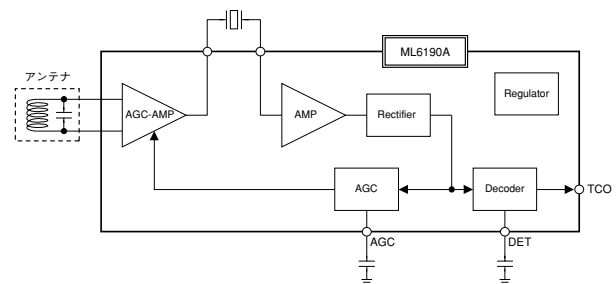


図3 ML6190Aのブロック図

タイムコード受信LSIのAGC回路

振幅方向に情報を持たないFM変調波受信の場合にはリミット増幅を利用できるが、AM変調波の場合には振幅方向の情報を維持するためにAGC増幅とすることが必要となる。

長波標準電波では、大振幅状態と小振幅状態の2状態が毎秒必ず発生するが、大振幅状態と小振幅状態の時間比率が一定でないため、大振幅状態のピークレベルを一定に保つAGC方式が適している。

大振幅状態のピークレベルを所定値に保つAGC方式では、小振幅状態においても振幅レベルを所定値に合わせる動作となるため、小振幅状態のAGC増幅波形はしだいに増大するので、エンベロープ検波出力レベルも増大していく。この検波出力レベルがコンパレート基準レベルを越えると、タイムコード論理出力が反転して大振幅状態に対応するエラー出力となる。マーカ信号受信では小振幅状態が0.8秒と長い信号となり、この状態におけるタイムコード論理出力のエラーを防止するためには、AGC時定数を、0.8秒より十分に大きく設定する必要がある。ただし、AGC時定数を大きく設定すると、大振幅状態でピークレベルが何らかの原因で変化した場合の安定受信状態への復帰時間が長くなることとなる。

タイムコード受信LSIでは、小振幅状態が0.8秒と長い信号を正確に検波できるための大きなAGC時定数と、大振幅状態のピークレベルが変化した場合の安定受信状態への復帰時間を短縮するための小さなAGC時定数という、相反する要求を満足することが求められる。

ML6190AのAGC回路

ML6190Aでは、パワーオンから安定動作状態に至るまでの移行時間短縮と、長い小振幅入力時の安定動作を両立させるという、上記の相反する要求を満足できるAGC回路を開発し採用した。

ML6190Aでは、動作状態制御端子からの制御入力を変化させて待機状態から動作状態に移行した時には、AGCアンプは最大ゲインの状態で作動を開始する。この状態で長波標準電波を受信すると、AGCアンプは過入力状態となるため、この出力を検波した検波出力は大振幅状態となってコンパレート基準レベルを常時超えるので、TCO(タイムコード)出力信号は連続した大振幅状態となる。

タイムコード出力が大振幅状態を出力している間は、ピークレベルを一定に保つAGC動作が継続し、急速にAGCアンプのゲインを低下させて安定受信状態に到達する。その後、タイムコード出力が小振幅入力状態の出

力に変わると、直前のAGCアンプゲイン状態を保持する。

このゲイン保持機能により、小振幅入力状態の時間長に関係なくタイムコード出力を小振幅入力状態の出力に安定に保てるため、AGC容量値は大振幅入力状態時のピークレベルを一定に保つAGC動作に注目して決定すれば良く、小容量値ですむため、パワーオンから安定受信状態に至るまでの移行時間を短縮できる。

今後の商品展開

ML6190AをバイポーラプロセスではなくFDSOI-CMOSプロセスを用いて開発したことで、低電圧駆動、低消費電流を実現でき、電池寿命を大幅に伸ばすことが可能となった。また、従来はタイムコード受信LSIのほか、タイムコード受信LSIが出力する論理レベル信号をデコードするためのタイムコードデコーダLSIやマイコンなど複数のLSIが必要であったが、タイムコード受信回路と各種ロジック回路を、特別なプロセスを用いることなく1チップに集積することで実装面積の縮小化とコスト削減が実現できる。

当社の電波時計用LSIの今後の商品展開を図4に示す。今回ML6190Aの開発を行ったが、今後は、検波回路とタイムコードデコード回路を集積したML6191や、ML6191に時刻表示用のドライバを集積したML6192の開発を行っていく。

また、これらの展開のほか、CPUや各種ロジック回路の集積も可能なため、アプリケーションに応じたさまざまなカスタマイズも可能である。

電波時計の応用範囲

電波時計のこれまでのアプリケーションは、腕時計、置

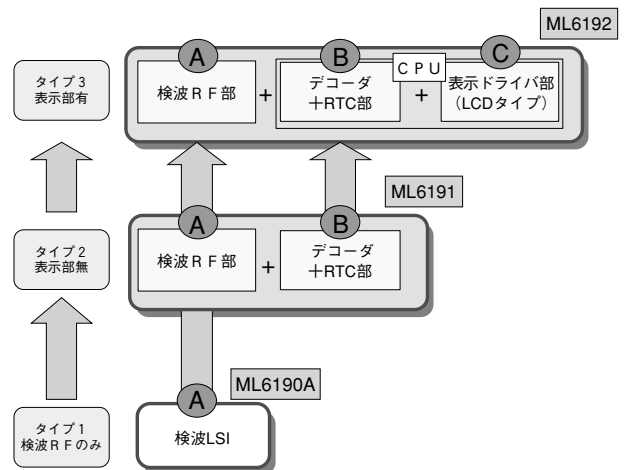


図4 電波時計用LSIの今後の商品展開

時計に代表される時計が大部分を占めてきたが、電波時計を利用した機器は時刻の初期設定や修正の必要がなくなるという利便性がでるため、電波時計はさまざまなアプリケーションへの適用が可能である。図5は電波時計のアプリケーションの一例を示す。

近年開発される電化製品の多くには時計やタイマー機能が内蔵されており、電波時計の用途や需要は今後ますます拡大していくと考えられる。ステレオ/ミニコンボなどのAV機器、携帯電話/デジタルスチルカメラ/ビデオカメラなどの携帯機器、炊飯器/リモコンなどの家電製品、コピー/FAX/レジスタ/タイムコーダなどの事務機器、カークロックや電気温水器などの深夜電力利用機器など、多くの機器に適用できる。また、電子商取引の進展に伴いコンピュータ間の時間の精度が重要となってきた、時刻補正機能を持った電波時計のセキュリティビジネス分野での有効性がさらに大きくなっていく。◆◆

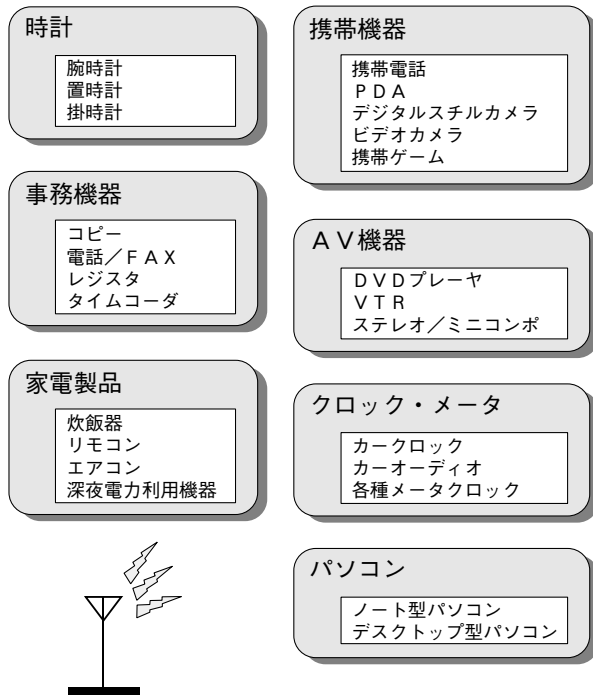


図5 電波時計用LSIの今後の商品展開

参考文献

- 1) 独立行政法人通信総合研究所ホームページ
URL:<http://jjy.crl.go.jp/JJY-pamp/index.html>
- 2) 佐野：“電波時計への取り組みと今後”，長波標準電波シンポジウム資料，p.4，2001年10月
- 3) 長屋：“超低消費電力ソーラー電波腕時計を実現した完全空乏型SOIデバイス”，沖テクニカルレビュー193号，Vol.70 No.1，pp.48-49，2003年1月

筆者紹介

柳原淳一：Junichi Yanagihara.シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 RF商品開発部 RF設計第3チーム
 宮下時男：Tokio Miyasita.シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 RF商品開発部 RF設計第3チーム
 太矢隆士：Takashi Taya.シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 RF商品開発部