

مقایسه ای در ساختار گیرنده های مجتمع میکروپاور رادیوئی با نگاه نو به گیرنده

Super regenerative

دانشگاه شهید باهنر کرمان

گروه مهندسی سخت افزار

شمس الضحی حسینی

sh-hoseini-82@yahoo.com ۰۳۴۱-۲۵۱۳۱۲۷

چکیده: مقایسه سیستمهای انتقال دیتای سیستم میکروپاور برد کوتاه متفاوت برای کاربردهای (Industiral ISM (scientific and Medical با توجه به عملکرد شان (مصرف توان، رنج فاصله، حساسیت، ساختار مناسب، با مجتمع و ...) و با حمایت از گیرنده فرا باز تولیدی (Super regenerative) به خاطر متروکه شدن آن

کلمات کلیدی: گیرنده، مصرف توان، حساسیت، انتخاب گری

۱- مقدمه: هدف این مقاله ارائه و بررسی راه حلهای گوناگون انتقال دیتای بی سیم میکروپاور رادیوئی روی فواصل کوتاه در کاربردهائی از قبیل اتصالات جانبی کامپیوتر، مدارات بیومدیکال و کارت هوشمند است. در اینجا سه ساختار از گیرنده های کلاسیک با توجه به عملکرد و دامنه کاربردشان مقایسه خواهد شد. الف) گیرنده های سوپر هترودین ب) گیرنده های تبدیل مستقیم ج) گیرنده های فراباز تولیدی

۲- جواب های گیرنده های کلاسیک

۱-۲ گیرنده Super heterodyne: گیرنده ای که همه سیگنالهای حامل RF مدوله شده را به مقدار حامل IF مشترکی برای تقویت بیشتر و انتخاب بیش از دمدوله کردن تبدیل می کند. پس خروجی تقویت کننده IF در آشکار ساز دوم دمدوله می شود تا سیگنال AF مطلوب بدست آید. شناخته شده ترین ساختار که به همین علت بسیار مختصر به بررسی آن می پردازیم.

برای حذف سیگنالهای خارج از محدوده مورد علاقه و همچنین اطمینان از مسأله تطبیق امپدانس فیلتر میان گذر ورودی قرار داده شده است. این فیلتر یک مؤلفه کلیدی در این نوع گیرنده هاست. برای افزایش حساسیت گیرنده تقویت کننده RF قرار داده شده است.

خروجی میکسر فرکانس F_{IF} است که برابر است با $F_{RF} - F_{OSC}$ اگر F_{OSC} کمتر از F_{RF} باشد و برعکس. هر چند که اهمیتی ندارد که F_{OSC} کمتر یا بیشتر باشد. ولی اگر خواسته باشیم طراحی اسلاتور محلی راحتتر باشد باید F_{OSC} را کمتر کنیم.

شکل ۱ ساختار گیرنده سوپر هترودین را نمایش می دهد.

یک مشکل این ساختار به فرکانس تصویر (F_{Image}) نسبت داده می شود.

بر طبق تعریف $F_{Image} = 2F_{OSC} - F_{RF}$ اگر F_{OSC} کمتر از F_{RF} باشد و $2F_{RF} - F_{OSC}$ اگر F_{RF} کمتر از F_{OSC} باشد. یکی از اهداف فیلتر میان گذر ورودی دفع فرکانس تصویر است که مسلماً بدون این فیلتر سیگنال ورودی با فرکانس F_{Image} می تواند به میکرو برسد. انتخاب مناسب F_{IF} (اغلب 71 MHz) یک مصالحه مناسب را بین انتخاب گری کانال و دفع F_{Image} نتیجه می دهد. طبق تعریف ضریب کیفیت (Q) برابر است با نسبت فرکانس مرکزی به پهنای باند. در سال ۱۹۹۱ Gronewold، نشان داد که مصرف توان یک فیلتر زمان پیوسته مجتمع متناسب با Q^2 است. بنابر این مصرف توان یک فیلتر میان گذر پیوسته مجتمع با Q بزرگتر از ۵۰ بسیار بالاست. حال می توان فهمید که چرا فیلترهای میان گذر RF عموماً غیر مجتمع است. اغلب موارد یک فیلتر سرامیک یا SAW (Surface Acoustic Wave) است.

باید توجه کرد که مشخصات دو فیلتر میان گذر در یک Q خاص می تواند با استفاده از مرحله دوم تبدیل کاهشی، تعدیل شود. این ساختار دو مرحله ای احتیاج به استفاده از میکسر جمع کننده، اسلاتور محلی، فیلتر و تقویت کننده دارد. به هر حال دو فیلتر هنوز خارج از ساختار دو مرحله ای هستند. این ساختار امکان رسیدن به اهدافی از قبیل انتخاب گری فرکانس، حساسیت بالا (بالای 120 db) و دمدولاسیون انواع مختلف مدولاسیون را فراهم می کند. به خاطر پیچیدگی بیشتر و شمار بیشتر نودهای RF، مصرف توان این گیرنده بیشتر از ساختارهای ساده از قبیل دو مدل توضیح داده شده در زیر می باشد.

۲-۲ گیرنده های تبدیل مستقیم (Direct Conversion Receiver)

شماتیک این نوع گیرنده در شکل ۲ نشان داده شده است. فرکانس اسلاتور محلی یکی از کاربرهای RF ورودی است. به همین دلیل به آن گیرنده تبدیل مستقیم گویند ($IF=0$). سیگنال مدوله شده RF مستقیماً به باند پایه تبدیل کاهشی می شود.

مسأله فرکانس تصویر هنوز وجود دارد. زیرا بعد از تبدیل کاهشی، باند فرکانسی بالاتر و پائین تر از F_{OSC} روی باند پایه قرار داده می شود. بنابراین بعد از تبدیل کاهش جدا ناپذیر می شوند. در مورد سیگنالهای AM با Double Side Band این مشکل وجود ندارد. زیرا دو طرف باندهای فرکانسی اطلاعات مشترکی حمل می کنند. به عبارت دیگر این یک مشکل برای مدولاسیونهای FM و PM است. زیرا دو طرف باندهای فرکانسی می توانند اطلاعات متفاوتی را حمل کنند. با ضرب سیگنال مدوله شده RF ورودی با دو سیگنال متعامل (سیگنالهای I و Q که متناسب با ورودی و خروجی Phase Shifter هستند) به منظور تمیز دادن باند فرکانسی بالاتر از F_{OSC} از باند فرکانسی پائین تر از F_{OSC} ، مشکل حل می شود. این اطلاع در اختلاف فاز بین دو سیگنال منتهی فرکانس پائین موجود است.

عیب عمده این روش، حضور یک سیگنال ناشی در فرکانس سیگنال RF دلخواه از اسیلاتور محلی به طرف آنتن است. این سیگنال ناشی می تواند از فیلتر میان گذر R_f عبور کند و به طرف ورودی میکسر برود که منجر به تولید آفست DC در باند پایه می شود. این سیگنال ناشی همچنین می تواند با انعکاس مجدد از آنتن اولین گیرنده به آنتن سایر گیرنده ها که در حوالی آنتن اول قرار دارند برسد.

دفاتر تنظیم (ETSI در اروپا و FCC در آمریکا) بالاترین محدودیت را روی مقدار سیگنال ناشی تحمیل می کند. مشکل دیگر این ساختار ناشی از حساسیت بالای آن به نویز فلیکر ($1/f$ noise) است که می تواند زنجیره دمدولاسیون را اشباع کند و حساسیت گیرنده را کاهش دهد. مشکل بعدی به دمدولاسیون فرکانس پائین منجر می شود که شدیداً وابسته به تغییرات محیطی (مثل نزدیکی دست با ماوس بی سیم کامپیوتر) است.

اثر سه مشکل قبلی می تواند به طور عمده ای با حفظ یک طیف آزاد در اطراف F_{osc} (DC – Free – Coding) کاهش پیدا کند. به همین دلیل دمدولاسیون FSK با نسبت بالای $(\Delta F/D)$ بین اختلاف فرکانس ΔF و سرعت بیت D (Bit Rate) یک انتخاب مناسب است. $(\Delta F=100 \text{ KHZ}$ و $D=20 \text{ kbit/sec}$) [4]

سرانجام می توان نشان داد که دمدولاسیون از یک سیگنال FSK به عدم تطبیق دامنه های سیگنالهای I و Q و صحت ۹۰ درجه اختلاف فاز بین دو سیگنال حساس نیست. این ساختار اجازه دسترسی به انتخاب گری فرکانس های بالا و همچنین حساسیت خوب (بالای -115 dbm) و دمدولاسیون انواع مختلف دمدولاسیون را به ما می دهد. به خاطر تعداد کم نودها مصرف توان این نوع گیرنده از سوپر هترودین کمتر است. به خوبی با مجتمع، متناسب است. (البته به استثناء فیلتر RF ورودی).

۲-۳ گیرنده فرا باز تولیدی (Super Regenerative Receiver)

گیرنده فرکانس رادیویی که دارای آشکار ساز فرا باز تولیدی است [12]

اصل فرا باز تولید: باز تولید که نوسان را در بسامد اندکی بالاتر از حد شنوایی گوش انسان با استفاده از مدار نوسان ساز جدایی که بین بیس و کلکتور ترانزیستور تقویت کننده وصل می شود، می شکند یا فرو می نشاند و به این ترتیب مانع از باز تولید صدا بیش از حد بیشینه مفید می شود [12]

گیرنده ای که باعث استفاده از یک ساختار اصلی پایه گذاری شده بر اساس اول فرا باز تولیدی که توسط Armstrong در سال 1922 کشف شد، می باشد [5].

این تکنیک به طور گسترده ای در مدارات لامپ خلاء بیش از ۵۰ سال مورد استفاده بود [7] و [6]. به تدریج این نوع گیرنده با روی کار آمدن نسل سوپر هترودین به خاطر انتخاب گری بهتر متروکه شدند. توسط تکنیکهای مدارات مجتمع آنالوگ، خصوصاً در زمینه فرکانسهای رادیویی، موجب یک بازنگری و نگاه جدید به گیرنده های فرا باز تولید شد. برخی مدارات مجتمع تحقق یافته اخیر نشان داده اند که تکنیکهای اصلی و پایه اجازه بهبود عملکرد این نوع گیرنده ها را می دهند. [8] تا [11].

تمام دمدولاسیون های دامنه، همچنین OOK (ON OF Keying) قابل استفاده هستند. مقدار نمونه D کمتر یا مساوی 50 kbit/sec و محدوده انتقال حداکثر ۲۰ متر در میدان دید است. ساختار گیرنده در شکل ۳ نشان داده شده است.

اسیلاتور می تواند به صورت یک حلقه فیدبک تشکیل شده از تقویت کننده با بهره A و باند گذر B مدل سازی شود. این اسیلاتور به طور منظم در شرایط زیر بحرانی با تغییر مناسب بهره تقویت کننده در پایین و بالای شرایط نوسان بحرانی راه اندازی می شود. بهره با یک سیگنال که سیگنال خاموش سازی [12] نامیده می شود، کنترل می شود.

اساسی گیرنده های فراباز تولیدی به تغییر زمان بالا کشنده اسیلاتور بنا نهاده شده است. مسلماً بدون سیگنال خارجی، متراکم سازی نوسانها باید از نویز حرارتی شروع شود که یک فرایند نسبتاً کند است. این فرایند با اعمال یک کاریر در فرکانس تشدید اسیلاتور خیلی سریعتر می شود. زمان بالاکشی به طور معکوس با سطح توان کاریر و گپ بین فرکانس تشدید اسیلاتور و فرکانس کاریر متناسب است. ساده ترین راه برای دمدولاسیون یک سیگنال مدوله شده OOK، آشکار سازی پوش یکسو شده سیگنال خروجی اسیلاتور و سپس بدست آوردن مقدار متوسط آن توسط یک LPF می باشد. (شکل ۳).

برای بسیاری سیستمهای نمونه سیگنال خاموش سازی باید حداقل دو برابر بیشترین فرکانس سیگنال دیجیتال اولیه باشد. در عمل ۵ تا ۱۰ برابر بزرگتر انتخاب می شود. سیگنالهای اصلی در شکل ۴ نشان داده شده اند. سیگنال ورودی Rf_{in} ، تزویج شده با ورودی گیرنده ۱۰٪ مدوله شده دامنه (OOK mod) با سیگنال دیجیتال اولیه می باشد. اگر نوسانها به خروجی اسیلاتور دلالت داشته باشند، وقتی سیگنال ورودی وجود ندارد (بیت 0) تراکم نوسانها کمتر از زمانی است که Rf_{in} وجود دارد (بیت ۱). سیگنال بعدی (BF) نماینده مقدار متوسط پوش یکسو شده است. شکل ۵ گیرنده را با جزئیات بیشتر نشان می دهد. لازم است که ورودی فیلتر میان گذر RF به تطبیق امپدانس برسد و سطح توان هر سیگنال خروجی از باند مورد علاقه کاهش پیدا کند. تقویت کننده مجزا ساز برای بهبود حساسیت و همچنین برای کاهش قابل ملاحظه سیگنال منعکس شده از خروجی اسیلاتور به آنتن به کار می رود.

همانطور که اشاره شد، سطح توان سیگنال بایستی کمتر از یک مقدار معین تعیین شده توسط FCC یا ETSI باشد. سیگنال خاموش سازی از درون تولید می شود. هسته این گیرنده یک اسیلاتور میشود که می تواند حتی به عنوان فرستنده با اضافه کردن یک مدولاتور به صورت نیمه دو سویه (Half duplex) استفاده می شود. این خاصیت در مورد گیرنده تبدیل مستقیم هم درست است که یکی از مزایای این گیرندها به گیرنده سوپر هترودین است.

اصل فراباز تولیدی ساختار خیلی ساده برای کاربردهای میکرو پاور و متناسب با مجتمع را نتیجه می دهد (به استثناء فیلتر RF ورودی). این ساختار ساده ثابت میکند که قسمت سیلیکونی کوچکتر از یک گیرنده کلاسیک مثل سوپر هترودین است.

به خاطر مدهای نمونه برداری شده از مجموعه عملیات، انتخاب گری فرکانس یک گیرنده فراباز تولید همیشه بزرگتر از حداکثر D (data rate) و بزرگتر از مورد مشابه در گیرنده سوپر هترودین یا تبدیل مستقیم است. البته حساسیت آن کمتر از گیرنده سوپر هترودین است.

به هر حال انتخاب گری و حساسیت این نوع گیرنده برای کاربردهای برد کوتاه باندهای فرکانسی ISM مناسب است اما برای کاربردهای GSM کافی نیست.

۲-۴- حلقه قفل شونده فاز (PLL)

برای تمام موارد قبلی که اشاره شد بسیار مهم است که توجه شود که PLL به منظور دستیابی به فرکانس تشدید صحیح باید محقق شود.

۲-۵- مقایسه برخی مقادیر نمونه از سه گیرنده در جدول ۱ نشان داده شده است.

۳- نتیجه گیری

الف) گیرنده سوپرهترودین بسیار مناسب است وقتی که مسأله اپتیمم حساسیت و انتخاب گری مطرح باشد، به شرط اینکه مصرف توان بالا و هزینه زیاد قابل پذیرش باشد. البته وقتی فیلترهای IF خارجی استفاده می شوند مناسب نیست.

ب) گیرنده تبدیل مستقیم کاندیدای خوبی است وقتی که انتخاب گری باید بالا و حساسیت باید خوب باشد و نیز بسیار مناسب برای ترکیب مجتمع می باشد. برای کاربردهای GSM و فاصله کوتاه نیز مناسب است.

ج) گیرنده فراباز تولید بهترین انتخاب است وقتی که مسأله اپتیمم هزینه و مصرف توان مطرح شود، به شرط اینکه انتخاب گری پایین و حساسیت متوسط قابل پذیرش باشد، نیز بخاطر ساختار بسیار ساده مناسب برای ترکیب مجتمع است.

۴- سپاسگزاری

با سپاس بی پایان از اساتید بی نظیرم جناب آقای دکتر سریزدی و سرکار خانم مهندس عباسپور که همیشه با روی باز پذیرایم بوده اند.

Table. 1. Comparison at 868 MHz.

	Super-Heterodyne	Direct conversion	Super-Regenerative
Sensitivity [dBm]	- 100 to - 120	- 95 to - 115	- 90 to - 105
Vcc [V]	2 - 3	2 - 3	2 - 3
Icc [mA]	5 - 15	2 - 10	1 - 5

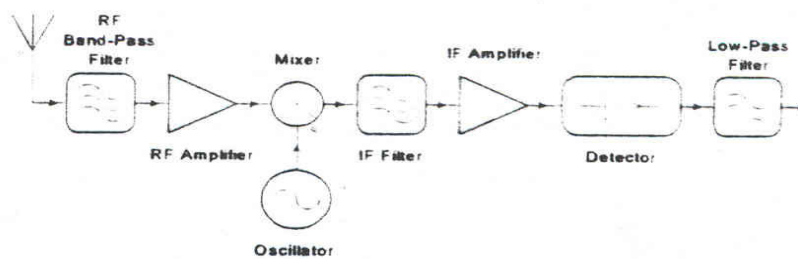


Figure 1. Architecture of a super-heterodyne receiver.

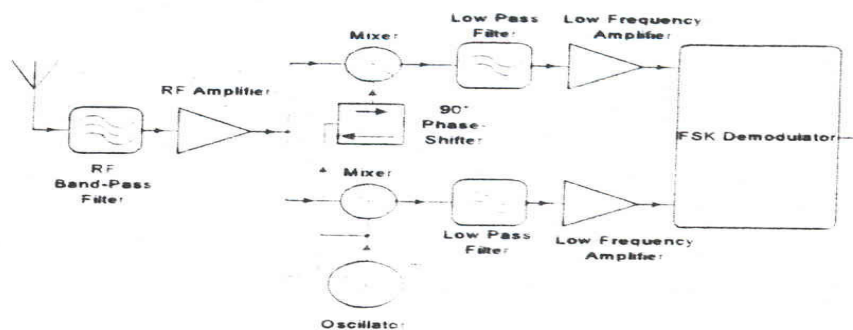


Figure 2. Architecture of a direct-conversion receiver.

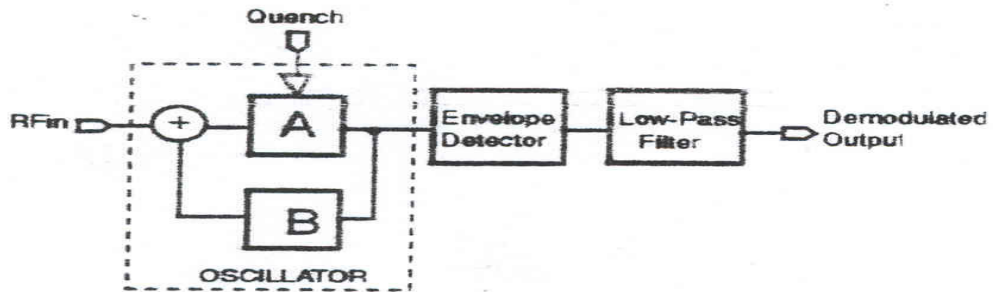


Figure 3. Architecture of a super-regenerative receiver.

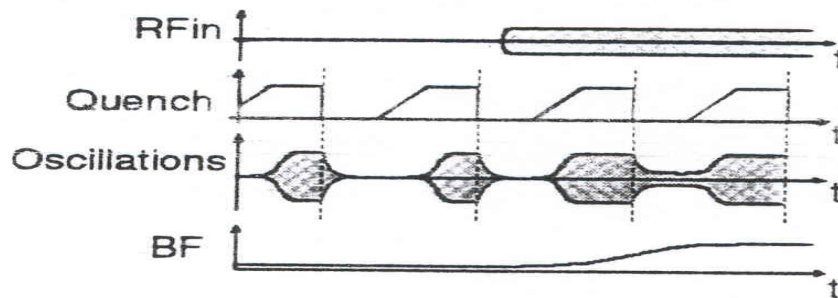


Figure 4. Main signals of the receiver.

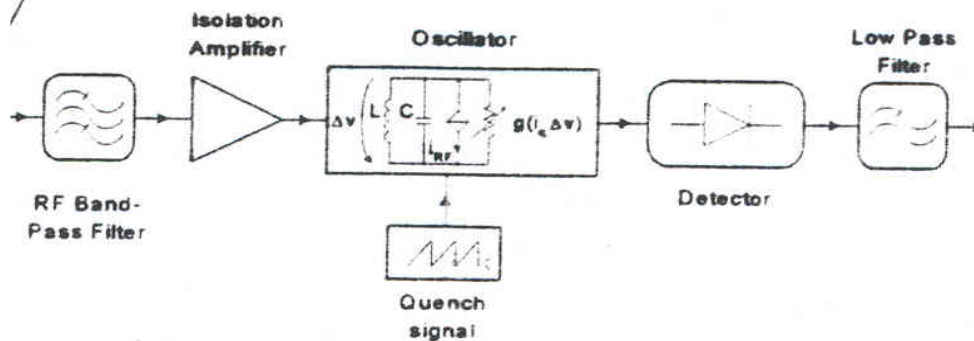


Figure 5. Super-regenerative receiver.

- [1] J. Crols, M. Steyeart, *CMOS wireless transceiver design*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 1997.
- [2] G. Groenewold, The design of high dynamic range continuous-time integratable bandpass filters, *IEEE Transactions on Circuits and Systems II*, vol. 38, n0. 8, pp. 838-852, 1991.
- [3] B. Razavi, *RF Microelectronics*, Prentice Hall, Upper Saddle River, U.S.A., 1998.
- [4] A.S. Porret, T. Melly, D. Python, C.C. Enz and E.A. Vittoz, An Ultralow-power UHF Transceiver integrated in a standard CMOS Process: Architecture and Receiver, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 36, n0.3, pp. 452- 466, 2001.
- [5] E. H. Armstrong, Some recent developments of regenerative circuits, *Proc. Inst. Radio Eng.*, vol. 10, n0. 8, pp. 244-260, 1922.
- [6] W.E. Bradley, Super-regenerative, *Electronics*, vol. 21, pp. 96-98, pp. 99-102, Sept. 1948.
- [7] J.R. Whitehead, *Super-regenerative receivers*, Cambridge University Press, Cambridge. U.K., 1950.
- [8] P. Favre, N. Joehl, M. Declercq, C. Dehollain and P. Deval, A 2V, 600 uA, 1 GHz, BiCMOS super-regenerative receiver, *ISSCC Digest of Technical Papers*, San Francisco (USA), February 1998, vol. 41, pp. 128-129.
- [9] P. Favre, N. Joehl, A. Vouilloz, P. Deval, C. Dehollain and M. Declercq, A 2V 600 uA 1 GHz BiCMOS Super-Regenerative Receiver for ISM Applications, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, Vol. 33, n0.12, pp. 2186- 2196, 1998.
- [10] A. Vouilloz, M. Declercq and C. Dehollain, A Low Power CMOS Super-Regenerative Receiver at 1 GHz, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 36, n0. 3, pp. 440-451, 2001.
- [11] N. Joehl, C. Dehollain, P. Favre, P. Deval and M. Declercq, A Low Power 1 GHz Super-Regenerative Transceiver with time-shared PLL control, *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 36, n0. 7, pp. 1025-1031, 2001.