

自律型センサーネットワークを実現する  
超低消費電力無線システム

2017年7月

宮原 泰徳

## 主 論 文 要 旨

報告番号	甲	第	号	氏 名	宮原 泰徳
主論文題目： 自律型センサーネットワークを実現する超低消費電力無線システム					
<p>(内容の要旨)</p> <p>近年センサーネットワークは、無線技術の応用として広い分野で用いられるようになってきている。特に、家電製品を無線で連携して通信を行うスマートホーム、人体の生体情報をセンシングモニターする無線ネットワーク、ビルディングなど建造物の経年劣化をモニタリングして事前に事故を防止する無線システムなどが、様々な分野で注目を浴びてきている。これらセンサーネットワークはモバイル環境で用いることが多く電源供給の課題がある。近年電池に代わる電源として、無限に利用できるエネルギーハーベスト発電技術が注目されている。エネルギーハーベスト技術として太陽光発電や温度差を利用した半導体による発電技術が製品化されているが、起電力は 300–400 mV と非常に低い。一方、従来の無線部の高周波集積回路は 1.8 V の電源電圧で動作し、送信受信回路ともに消費電流が数十 mA の製品が多く、エネルギーハーベストの電源では動作しない。そこで本研究では、エネルギーハーベストの電源で動作する、超低電圧 (300–400 mV) で動作する無線システム及び高周波 CMOS 回路の開発を行い、無線部の低消費電力化を可能にし、自律型センサーネットワークの実現を目的とした。</p> <p>第 1 章では、本研究の背景と無線センサーネットワークの課題と従来研究を述べた。</p> <p>第 2 章では、無線センサーネットワークの高周波回路に用いる MOSFET トランジスタを超低電圧動作させるため、弱反転領域のトランジスタの最適化手法を述べた。</p> <p>第 3 章では、超低消費電力の無線システムを実現するために、システムで重要な性能を求められる高周波回路の電圧制御発振回路及び高周波分周回路の新回路を提案した。LSI の試作及び実験により、電源電圧 280 mV で消費電力 202 <math>\mu</math>W の 2.4 GHz 発振及び電源電圧 300 mV で消費電力 34 <math>\mu</math>W の 2.4 GHz 分周動作を確認した。</p> <p>第 4 章では、超低電圧で動作する超低消費電力の 2.4 GHz 帯周波数シフトキーイング変調の受信無線システムを提案した。このシステムには、新規に開発したカスコード型のフォールド型低雑音増幅器回路やトランスフォーマ帰還型電圧制御発振回路、疑似パッシブミキサー回路などを用いた Low IF 受信システムを開発した。LSI の試作及び実験により、電源電圧 300 mV で消費電力 1.6 mW 動作時に、受信システムの性能としてビットエラーレート <math>10^{-3}</math> において受信感度 -95.5 dBm を確認した。</p> <p>第 5 章では、超低電圧で動作する超低消費電力の 2.4 GHz 帯周波数シフトキーイング変調のクローズドループ位相同期型変調送信無線システムを新規に提案した。低消費電力を実現するために、新規に電圧制御発信回路の発振周波数を拡大するトランスフォーマ型容量バンクの新規回路を開発した。LSI の試作及び実験により、電源電圧 400 mV で消費電力 2.1 mW 動作時に、周波数シフトキーイング変調スペクトラム信号の出力レベル -6 dBm に於いて、-42 dBc @1.5 MHz の隣接妨害チャネル性能を確認した。</p> <p>第 6 章では、結論として各章で得られた内容をまとめ、本研究の成果を要約した。</p> <p style="text-align: right;">以上</p>					

## SUMMARY OF Ph.D. DISSERTATION

School Integrated Design Engineering	Student Identification Number	SURNAME, Given name MIYAHARA, Yasunori
Title Ultra-low-power Wireless System for Autonomous Sensor Networks		
<p>Abstract</p> <p>In recent years, ultra-low-power wireless system has been widely used in the field of sensor networks as an application of wireless technology. Sensor network systems have been attracting attention in various fields; in particular, smart home wireless appliances and the body area wireless networks that monitor health by sensing biological information. Furthermore, wireless sensor network systems monitor the aging of building structures and they could assist in preventing accidents. These wireless systems are often used in mobile environments, thereby necessitating the requirement for batteries. An energy harvest power generation technology that can be infinitely used as a power supply voltage instead of conventional batteries has attracted attention. As an energy harvest technology, semiconductor power generation technology utilizing solar or thermal energy has been commercialized. The voltage generated through energy harvesting is extremely low and ranges from 300 to 400 mV. Conversely, owing to the characteristics of the circuit topology, the high-frequency integrated circuit of the wireless sensor network has a power supply voltage of approximately 1.8 V, and transmitter and receiver wireless products current consumptions are over several tens mA. Therefore, it is difficult to operate solely using the energy harvest power supply in the conventional wireless system. In this research, we aim to realize a permanent operation of autonomous wireless sensor networks that can operate under the ultra-low-power supply voltage with low power consumption using the energy harvest technology.</p> <p>In chapter 1, issues pertaining to a conventional wireless sensor network and background of this research are discussed.</p> <p>In chapter 2, for operating at the ultra-low voltage, the MOSFET transistor used in the high-frequency circuit of the sensor network system and the optimization method of the transistor in the weak inversion region are presented.</p> <p>In chapter 3, for the realization of a wireless system with ultra-low power consumption, a new voltage-controlled oscillator (VCO) and the high-frequency divider circuits are proposed, which are important for improved performance in the wireless system. The evaluation confirmed that the VCO oscillating at 2.4 GHz with a power consumption of 202 <math>\mu</math>W at a supply voltage of 280 mV and having a frequency divider can drive a 2.4 GHz signal with 34 <math>\mu</math>W power consumption for a 300 mV supply voltage.</p> <p>In chapter 4, a 2.4 GHz shift keying modulation wireless receiver system with low power consumption under ultra-low voltage supply is proposed. In this system, a low IF receiver system is developed using cascade- and fold-type low-noise amplifier circuits, a transformer feedback-type VCO circuit, and a pseudo-passive mixer circuit. The evaluation confirmed that the receiver sensitivity was <math>-95.5</math> dBm at a bit error rate of <math>10^{-3}</math> with 1.6 mW power consumption for a 300-mV power supply.</p> <p>In chapter 5, a newly closed phase-locked loop modulation wireless transmitter system that operates at 2.4 GHz band frequency-shift keying modulation at ultra-low voltage is proposed. For the realization of low power consumption, a transformer-type capacity bank circuit that increases the oscillation frequency of the VCO circuit is developed. The evaluation confirmed that the frequency-shift keying modulation spectrum signal of the adjacent-channel interference of <math>-42</math> dBc at 1.5 MHz with <math>-6</math> dBm output power level, and power consumption is 2.1 mW at 400 mV power supply in the transmitter system.</p> <p>In chapter 6, the summary of this dissertation is described.</p>		