待機電力ゼロ型ひずみセンサノードの実現に向けた一検討

鈴木 雄太 末松 哲也 山脇 彰

九州工業大学

1. はじめに

日本社会では、人口の高齢化や少子化で将来の労働力不足が懸念¹されている。一方で、建設から半世紀以上経た老朽化インフラが多数存在し、それらを維持管理する労力が必要になってくる。そのような背景から我々は、ドローンと待機電力ゼロ型センサノードを組み合わせたインフラモニタリングシステムを提案している。本稿ではインフラモニタリングで一般的なひずみゲージを用いた待機電力ゼロ型センサノードの実現に向けた検討を行う。待機電力ゼロ型センサノードが実現できれば、バッテリーの消耗がわずかであるため、経年劣化による接合部のずれを、長期間にわたってモニタリングできる。

ひずみゲージを使用する場合、流れる電流による自己発熱について考慮しなければならない。ひずみゲージに定常で電流を流し続けると、ひずみゲージ自体の温度上昇によって、測定値がドリフトしてしまう。しかしながら、待機電力ゼロ型センサノードは、その動作自体が間欠的なため、自己発熱の問題はないと推測できる。つまり、温度補償用に特別な機構を備えずに、必要最小限の最も単純な構成によって待機電力ゼロ型ひずみセンサを実現しうる。これらを実験によって明らかにする。

2. 待機電力ゼロ型ひずみセンサノード

図 1 は、待機電力ゼロ型ひずみセンサノードの一般的な構成を示す。図 1 における各部の役割を説明する。

Figure 1. Zero-standby Strain Sensor Node

(a)は、ひずみゲージを用いたホイートストンブリッジ回路である。ひずみゲージが検出したひずみによって、ひずみゲージ自体の抵抗値が変化し、ブリッジ回路に差分電圧が生じる。

(b)は、計装アンプである。計装アンプは、主に差動増幅に用いられる。(a)のブリッジ回路で生じた差分電圧を増幅する。

(c)は、ゲインアンプである。計装アンプからの電圧をさらに増幅する。

(d)は、フォトダイオードである。ドローンがフォトダイオードに赤外線を照射し、起電力が発生し、N チャネル MOSFET が ON の状態となる。

(e)は N チャネル MOSFET である。普段はグランドラインを切断して OFF 状態であり、無通電を実現する。フォトダイオードに赤外線が照射されると、フォトダイオードの起電力によって ON 状態となり、センサノードを起動させる。起動後は、マイコンによる電気信号によって ON 状態を継続し、通電を保持する。

(f)は、P チャネル MOSFET である。N チャネル MOSFET がグランドを切断している際に、マイコンの汎用ポートは電源によってプルアップ状態となり、電源のグランドに対して、見かけ上 '1' を出力してしまう。よって、マイコンの汎用ポートをそのまま N チャネル MOSFET のゲートに直結しておくと、N チャネル MOSFET が常に ON 状態になる。つまり、センサノードが無通電状態にならない。そこで、無通電状態では、マイコンの汎用ポートをでんきてきに切断させるために、P チャネル MOSFET を図 2.1 のように挿入する。これにより、無通電状態では、P チャネル MOSFET のゲートとソースがともに '1' となるため、P チャネル MOSFET は OFF 状態となる。それにより、無通電状態では、マイコンの汎用ポートと P チャネル MOSFET のゲートが電氣的に切断され、N チャネル MOSFET が正しく OFF 状態となる。起動後は、マイコンが汎用ポートを介して、P チャネル MOSFET のゲートを '0' に、ソースを '1' にすれば、N チャネル MOSFET の ON の状態を継続できる。

3. 実験及び考察

ひずみゲージの自己発熱による電圧ドリフトを実際に示し、提案センサノードの間欠的な動作によってその影響が抑えられることを示す。

実験では、制御用マイコンとして CYPRESS 社の PSOC, CY8C29466-24PXI[18]を使用した。計装アンプは、アナログ・デバイセス社の AD623 を用いた。MOSFET は、PANJIT 社の NchMOSFET PJE260N02[21]を用いた。

An Investigation to Realize Zero-standby Strain Sensor Node,
Yuta Suzuki and Tetsuya Suematsu, Akira Yamawaki, Kyushu
Institute of Technology, Japan

3.1 定常通電の結果と考察

自己発熱の影響を示すための定常通電の回路図を図 2 に示す。

Figure 2. Circuit diagram of steady energization

5V の電圧を定常通電し、ひずみがない状態での計装アンプからの出力をオシロスコープで計測した。PSoC に電圧を流し始めた時を起動時とし、そこから 1 分後、2 分後と、15 分後まで計測した。その時間ごとの平均電圧をまとめると、図 3 のようになった。

Figure 3. Stationary enerzing instrumentation amplifier only

図 3 より、定常通電時には、時間が経つにつれて、徐々に電圧が上がっていることが分かる。これは、PSoC に電圧を流し続け、ひずみゲージが自己発熱を起こし、抵抗値が変化したためであると考えられる。

3.2 間欠動作の結果と考察

待機電力ゼロ型センサノードの間欠動作を模擬する実験用の回路図を図 4 に示す。

Figure 4. Circuit diagram of intermittent operation

間欠動作を行うために、PSoC の 16 ビットのパルス幅変調器である PWM16 を用いた。電圧をかける時間を

50ms 間、電圧をかけない時間を 950ms 間として、電圧をかけている間の出力の平均電圧を求めた。3.1 と同様に、PSoC に電圧を流し始めた時を起動時とし、そこから 1 分後、2 分後と、15 分後まで計測した。その時間ごとの平均電圧をまとめると、図 5 のようになった。

Figure 5. Intermittent operation instrumentation amplifier only

図 5 より、時間が経っても、平均電圧が上昇していないことが分かる。これは、電圧をかけるパルス幅を 20 分の 1 とすることで、ひずみゲージに電流が流れる頻度が少なくなったためであると考えられる。結果として、間欠動作によって、課題であったひずみゲージの自己発熱による測定値の変化を無くすることが出来た。

4. まとめ

実験により、ひずみゲージの温度ドリフトによる測定値の変化を、間欠動作によって解決できることを示した。これによって、温度補償用の特殊な機構を備えず最も単純な構成で待機電力ゼロ型ひずみセンサが実現できる。

今後は、無線モジュールやフォトダイオードを本研究の試作機と組み合わせることで、待機電力ゼロ型ひずみセンサノードを開発する。

謝 辞

本研究は JSPS 科研費 JP17K00126 の助成を受けたものである。

文 献

- (1) 坪谷剛, 市口恒雄:「インフラ長寿命化における道路橋の新たな点検技術の開発」, 科学技術動向, 143 号, pp.36-43, 2014
- (2) 桑野雅彦, 松添信宏, 古平晃洋:「改訂 はじめての PSoC マイコン」, CQ 出版, Vol.2, pp.15-16, 2010
- (3) 山脇彰:「無線センサネットワークにおけるセンサノードの省電力化に関する研究」,
<https://kaken.nii.ac.jp/ja/grant/KAKENHI-PROJECT-26330106/>
- (4) PSoC [CY8C29466-24PXI]
<https://jp.rs-online.com/web/p/system-on-chips/0390794/>
- (5) MOSFET(N 型) [PJE260N02]
<http://akizukidenshi.com/download/ds/panjit/PJE260N02.pdf>