

浸水センサシステムおよびスーパーキャパシタを用いた小型 UPS 回路の開発

高橋賢

(水沢 VLBI 観測所)

概要(Abstract)

観測所において地下室への雨水の浸水が発生し、地下の実験室に置いていた測定器等が水に濡れる等の被害があった。今後も同様の事例が発生したときに備えて浸水センサの設置を検討している。観測所では電波天文観測の都合上、無線 LAN が使えない等の制約もあり、それを考慮した機器の設置が必要である。本報告では開発中の浸水センサシステムとスーパーキャパシタを用いた小型 UPS の作製について述べる。

1. はじめに

外部から建物への浸水や空調機器からの水漏れ等の事例は頻繁に発生するわけではないが、実際に発生すると電子機器の水濡れなど被害は大きくなる可能性がある。観測所で発生した浸水については、地下から外に通じるドアの下部からの浸水であった。ドアの外に排水溝と地上へ通じる階段があり、雨天時にはその階段を伝って雨水が排水溝に流れ込むようになっている。地上の用水路へ排水するポンプが備え付けられているが、浸水が発生した当日は貯水槽の清掃があり、同じ用水路へ排水していた。雨天であったこともあり、ポンプの排水能力を超えてしまいドアからの浸水につながってしまった。

市販品の水漏れセンサ等は多数あり、無線 LAN が普及している現在は無線通信タイプが主流になっている。しかしながら、電波天文観測を行っている観測所ではそれを使用することはできない。また、有線 LAN タイプのものは市場では数が減り、選択肢が少なくコスト面や機能面で要求を満たすものはなかった。そこで、有線 LAN 仕様の浸水センサシステムの構築を試みた。また、突然の停電等によるシングルボードコンピュータの故障を防ぐ手段としては UPS 装置が有用だが、設置場所等を考慮すると小型で軽量なものが好ましいと考えた。そこで、スーパーキャパシタを用いた小型 UPS 回路の作製を行った。

2. 浸水センサシステム

2.1. センサシステム概要

図 1 にセンサシステムのブロック図を示す。水に濡れると抵抗値が変化するセンサ、そのセンサに電圧を供給するための発振回路、センサの出力信号を平均化するためのフィルタ回路、出力信号をサーバ（ラズベリーパイ）に取り込むための A/D 変換回路から構成される。



図 1. 浸水センサシステムのブロック図

2.2. 線状センサ

センサの形状にはいくつかの種類があるが、設置したい箇所の状況に応じて選定することも重要なポイントである。浸水箇所がドアの隙間ということを考慮すると、局所的な検知が可能なタイプよりは、広範囲に検知できる形状が適していると判断し、線状タイプのセンサ(タツタ電線 AD-RS)を採用した。また、ドアの開閉や通行を妨げない点も重要なポイントである。このセンサは水に濡れると抵抗値が下がり、その変化を捉えることで浸水を検知できる。センサには終端抵抗を接続する必要があり、 $20\text{k}\Omega$ の金属皮膜抵抗を小さい容器にUV レジンで含浸したものを自作し接続した。

2.3. センサ回路

今回採用した線状センサは、浸水や結露等により長時間水に濡れたまま直流電圧を印加され続けると、電気分解により電気化学的腐食が発生する可能性が高い。そこで、発振回路による方形波を印加することにした。発振回路には 6 回路インバータ(TOSHIBA TC4069UBP)を採用し、この回路は抵抗二つとコンデンサにより発振周波数が調整可能である。抵抗値は $R_s=47\text{k}\Omega$ 、 $R=470\text{k}\Omega$ 、コンデンサは $C=0.01\mu\text{F}$ とし、周波数 $f=967\text{Hz}$ とした。

2.4. A/D 変換

センサの出力電圧をラズベリーパイで信号処理するため A/D 変換する必要がある。今回は A/D コンバータとして Microchip MCP3204 を採用した。センサに印加する電圧が方形波のため周期的に電圧値が変動してしまう。そのまま A/D 変換し、ラズベリーパイ側でソフトウェア的に処理する方法もあるが、A/D 変換前にハードウェアで平均化することにした。方法として、抵抗とコンデンサから構成されるシンプルなローパスフィルタを採用した。回路定数は電気・電子回路シミュレータである LTSpice で検討した結果をもとに、 $R=100\text{k}\Omega$ 、 $C=4.7\mu\text{F}$ 、 $f_c=0.339\text{Hz}$ とした。図 2 に作製した回路および回路図を示す。

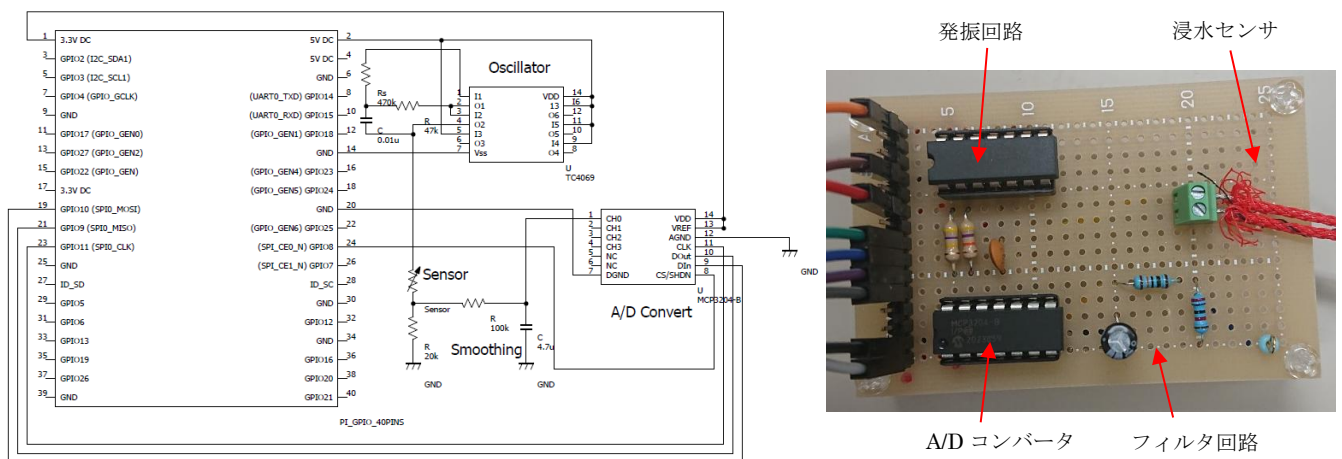


図 2. 浸水センサシステムの回路図および写真

2.5. サーバ

A/D 変換した値をもとに水濡れを検知し、それをメールで通知するシステムを、ローコードツールである Node-RED を用いて構築した。Python などの他の言語でも実現は可能であるが、経験がある Node-RED を採用した。図 3 に作成したフローを示す。処理の流れは、センサの出力電圧を A/D

変換し、水濡れによる電圧の変化が一定時間以上継続した場合は浸水を知らせるメールを送信している。

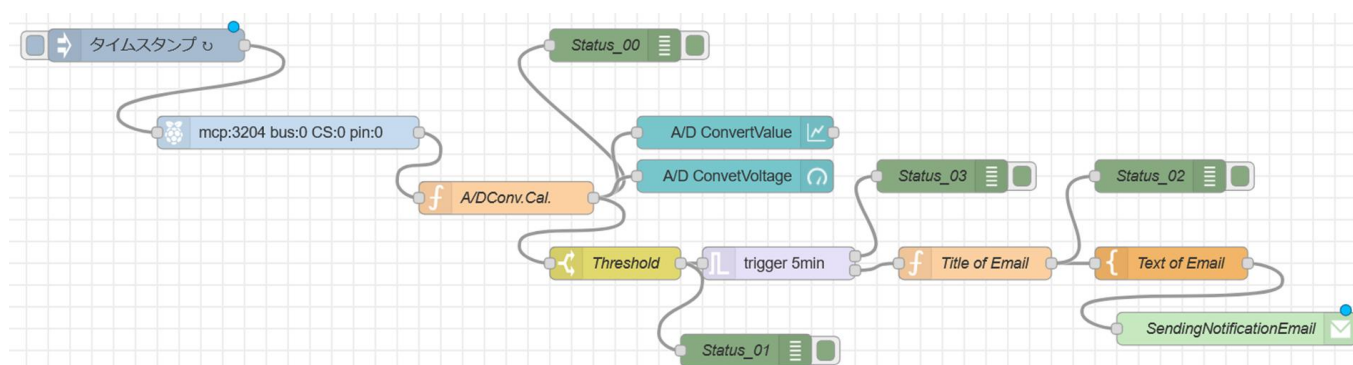


図 3. 浸水センサシステムの Node-RED フロー

3. 小型 UPS 回路の作製

3.1 回路

電気二重層を利用することで蓄電量を高められたスーパーキャパシタを用いた回路を作製した。回路を構成する主なパーツは、スーパーキャパシタ(ニチコン UWT1476MHD)と DC-DC コンバータ(StrawberryLinux TPS63020)である。スーパーキャパシタから直接ラズベリーパイへ電源供給することも可能ではあるが、コンデンサの放電特性は指数関数的であるため、電圧降下がやや急峻である。DC-DC コンバータを介することで一定時間は安定した電圧の供給が可能になる。スーパーキャパシタは容量が 47F、耐電圧が 2.7V のものを 2 個直列接続し、さらにキャパシタに抵抗を並列に接続することで均等に電圧が加わるようにした。停電による電源断をラズベリーパイの GPIO で検出させるため、入力電圧を抵抗で分圧させ、通電時は 2.5V、電源断時は GND 電位になるような出力端子を設けた。

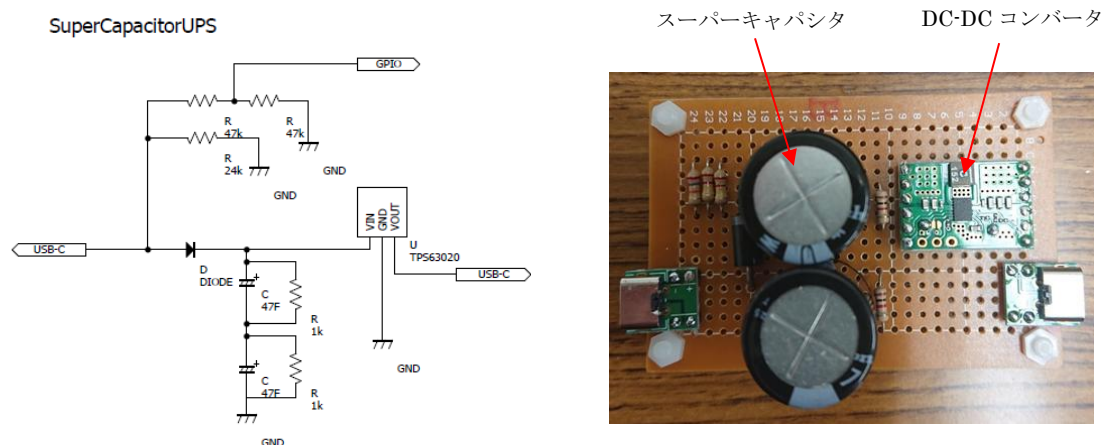


図 4. 小型 UPS 回路図および写真

3.2 無負荷特性

動作検証として、負荷を接続せず無負荷状態で、商用電源を遮断させた場合の特性を図 5 に示す。キャパシタの電圧(V_c)は直線的に下がっていくが、DC-DC コンバータの出力電圧(V_o)はほぼ一定である。 V_c が DC-DC コンバータの動作電圧を下回ると急激に電圧が下がっていく。気になる点と

しては一瞬だけキャパシタの電圧が急激に下がる事象が見られたことである。何らかの測定ノイズとも思われたが、数回測定を行っても再現性が確認できたため、そうではないことが明らかとなった。キャパシタの放電と関係性はあると思われるが現時点では原因の特定には至っていない。

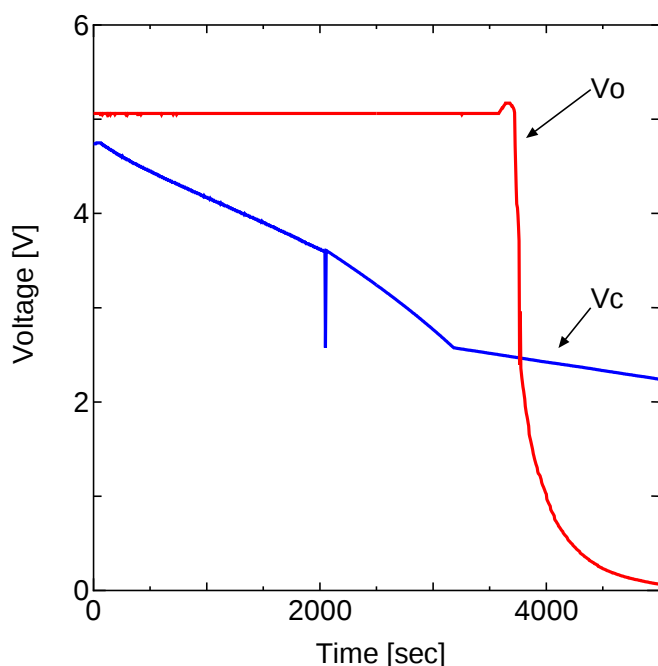


図 5. 小型 UPS 回路 無負荷特性

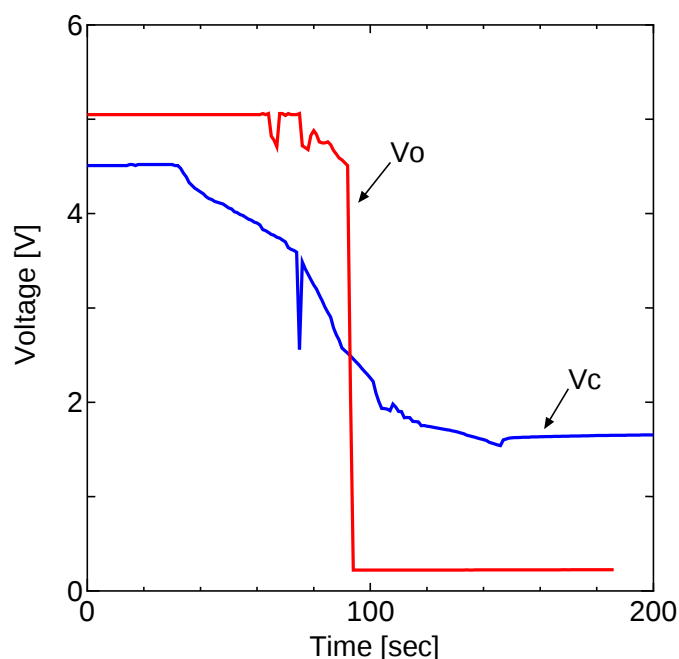


図 6. 小型 UPS 回路 負荷特性

3.3 負荷特性

負荷としてラズベリーパイを接続した状態で商用電源を遮断させた場合の特性を図 6 に示す。電源遮断からおおよそ 60sec でラズベリーパイの電源が切れた。この程度の時間であれば短時間の瞬停には耐えることができると思われる。もっと長い時間動作させたい場合は、より大きい容量のキャパシタを採用すればよいと思われるが、キャパシタの寸法が大きくなるため回路の実装面積が増す。また、この測定においても無負荷特性で見られた V_c の急な電圧降下が確認された。

4. まとめ

施設への浸水事案を受けて、線状センサを用いたセンサシステムを構築した。センサの長時間の水濡れによる電気化学的腐食を防ぐため、センサへの印加電圧を発振回路による方形波とした。また、A/D 変換前にフィルタ回路により平均化するなどの工夫をした。

また、停電や瞬停によるラズベリーパイの故障を防ぐため、スーパーキャパシタを用いた小型 UPS 回路を作製した。コンデンサの放電特性を考慮して DC・DC コンバータにより電圧の安定化をはかった。作製した回路の無負荷特性および負荷特性を測定した結果、商用電源遮断後も 60 秒程度であればラズベリーパイが動作可能であることを確認できた。

今後は停電後の自動シャットダウン機能の実装やケースへの回路の組み込みを行い、実際にセンサシステムを浸水箇所へ設置したい。

5. 参考文献

- 1) 小池星多 (2021) ラズパイの新常識！Node-RED でノーコード/ローコード電子工作, リックテレコム.
- 2) 後藤哲也 (2021) 電子工作のための Node-RED 活用ガイドブック, 技術評論社.
- 3) 高橋賢 (2021) ローコードプログラミング(Node-RED)による IoT システム開発, 第 41 回天文学に関する技術シンポジウム
- 4) “Raspberry Pi Zero 用 簡易 UPS の作成”. .2019. <https://blog.akebi.jp/archives/2475>, (参照 2024-11-20).
- 5) 塩沢修 (1992) トランジスタ技術 SPECIAL No.36, CQ 出版社.
- 6) トランジスタ技術 2011 年 6 月号, CQ 出版社.