

心電図自動診断用 IC の設計に対する基礎的検討 A Fundamental Study on IC Design for Automatic ECG Diagnostic

○飯泉裕陽¹, 寺田伊吹², 佐伯勝敏³

*Yutaka Iizumi¹, Ibuki Terada², Katsutoshi Saeki³

Abstract: Currently, electrocardiograms are useful for detecting cardiac abnormalities and can even diagnose acute myocardial infarction, a well-known dangerous disease of the heart; it is known that when an ST-elevation acute myocardial infarction occurs, a point called the ST portion of the electrocardiogram becomes higher than the reference potential. In this study, we design an IC for automatic ECG diagnostic of acute myocardial infarction by outputting a pulse wave when ST-segment elevation is detected. We demonstrated that the IC can perform automatic ECG diagnosis using a high-gain operational amplifier, resistive ladder ADC, D-FF counter circuit, and 8-bit binary number comparison circuit.

1. まえがき

現在、心電図は様々な心臓の異常を発見するために役立っている。心臓の危険な病気として有名な急性心筋梗塞も心電図により発見することが可能である。急性心筋梗塞 AMI は心電図所見により ST 上昇型心筋梗塞(ST elevation MI:STEMI)と ST 非上昇型心筋梗塞(Non ST elevation MI:NSTEMI)に大別される^[1]。AMI の診断には、胸痛を主訴とする臨床症状や心電図に加え、AMI に特異性の高い血液生化学検査により心筋壊死の推定をすることが診断上極めて有用である^[2]。診断には心筋マーカーも併用されるが、心電図による診断では ST 上昇が重要である。

本研究では、ホルタ心電図に搭載するための急性心筋梗塞自動診断用の IC を設計し、ST 上昇波形が入力された際にパルス信号を出力することを目標とする。今回は、オペアンプ、抵抗ラダー ADC、D-FF、二進数比較器を用いて心電図を診断することを考え、設計を行った。

2. 本論

Fig. 1 に解析用のブロック図を示す。本研究では、入力された心電図(ECG)を増幅、A-D 変換をし、パルス時間を測定することにより ST 上昇を検知する。

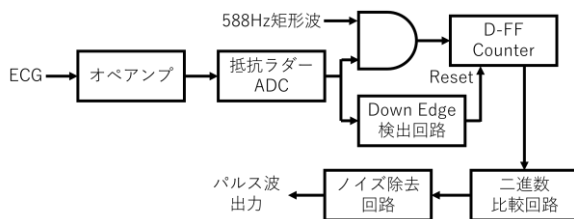


Figure 1. Block diagram

具体的な解析の手順は以下の通りである。

- (ア) オペアンプによる心電図の増幅および同相除去によるノイズ除去。
- (イ) 抵抗ラダー回路による心電図の A-D 変換。
- (ウ) 588Hz 矩形波と A-D 変換波形を AND 回路により High になった時のみ矩形波を出力する。
- (エ) 矩形波の波数を D-FF によりカウントすることにより High 時間を測定する。
- (オ) High 時間が正常値を超えたことを検知したときにパルス波を出力する。

オペアンプの設計にはローム社の 180nm デザインルールを用いる。今回オペアンプを使用する目的は、心電波形の増幅とノイズ除去である。これに持ち運びを前提としたシステムを設計することを考慮した結果、設計するオペアンプの要件は高利得、高 CMRR、低消費電力とする。利得に関しては、1mV の心電波形を 0.7V 程度まで増幅することを目標とする。CMRR については、ノイズを除去するために必要で、具体的な目標値は設けないものの、一般的かそれよりも高い CMRR が求められる。これらの要件を達成するために、2 段の差動増幅、電流バイアス 1 μ A のオペアンプを設計した。

Fig. 2 に回路を、Fig. 3 に AC 解析の結果を示す。シミュレーションの結果、開ループゲイン 92.76dB、CMRR65.41dB、消費電力 56.00 μ W が得られた。

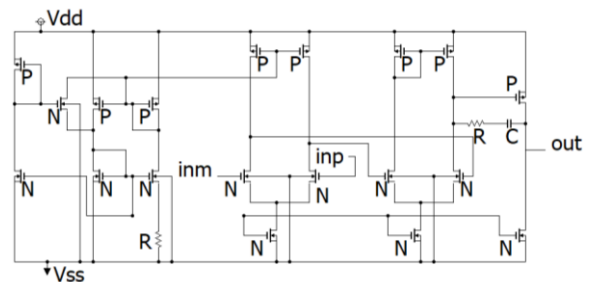


Figure 2. Operational Amplifier

1 : 日大理工・学部・電子 2 : 日大理工・院(前)・電子 3 : 日大理工・教員・電子

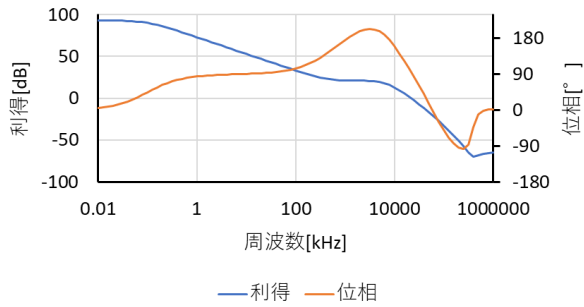


Figure 3.Operational Amplifier AC Analysis

次に、抵抗ラダー回路による A-D 変換について述べる。Fig. 4, Fig. 5 に A-D 変換波形を示す。それぞれを比較すると、Fig. 4 の正常心電図波形では最も大きな波である R 波と、R 波の後に続く T 波部でパルス波が分かれているのに対し、Fig. 5 の ST 上昇心電図ではパルス幅が異なることを示している。このことからパルス幅を測定する回路を用いることで ST 上昇心電図を診断できる。

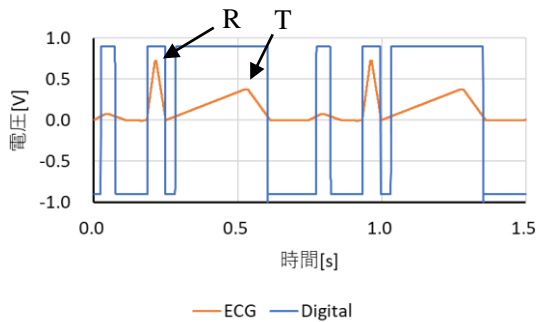


Figure 4.Normal ECG waveform after A-D conversion

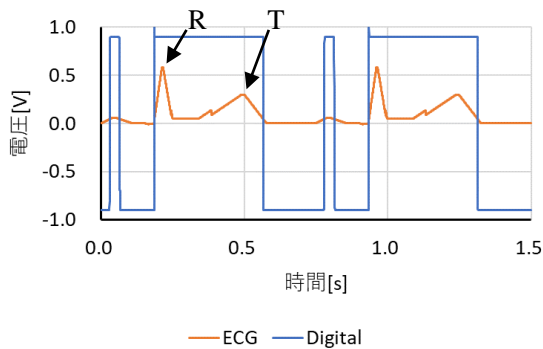


Figure 5.ST elevation ECG waveform after A-D conversion

最後に、自動診断結果を示す。A-D 変換された波形は 588Hz 矩形波の波数カウンタ回路で High 時間を測定し、その波数が比較値を超えた時に High パルス信号を出力する。正常心電図はパルス幅が短いですが、ST 上昇波が入力されたときはパルス幅が長いので比較値を超え、それがパルスとして現れる。比較値との比較は 8bit の二進数比較器を用いて行う。また、ノイズによる誤動作を防ぐために二進数比較器の後にノイズ除去回路を

接続した。発生するノイズは、パルス性ノイズ、振動によるノイズと温度変化によるノイズなどがある^[3]。

Fig. 6, Fig. 7 にそれぞれ診断結果を示す。同図より ST 上昇心電図を入力したときのみパルス波が発生していることから ST 上昇心電図を検知することが出来ることを示している。

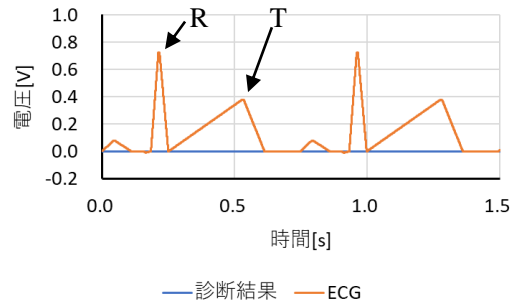


Figure 6.Diagnostic results of normal ECG

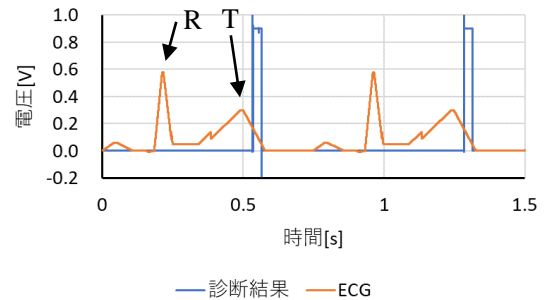


Figure 7.Diagnostic results of ST elevation ECG

3. まとめ

今回は、オペアンプ、抵抗ラダーADC、D-FF、二進数比較器を用いて心電図を診断することを考え、設計を行った。その結果、ハードウェアのみで心電図の自動診断を行うことが出来ることを明らかにした。

今後は基準電位変動対策とデバイス寸法の縮小化を行う予定である。

4. 参考文献

- [1]山田京志, 「急性冠症候群(ST 上昇型心筋梗塞)」, 日内会誌, Vol.100, No.8, pp.2295~pp.2301, 2011.
- [2]柴田泰史, 上田康晴, 野本剛史, 小井戸雄一, 山本保博, 里村克章, 「心筋マーカー(心筋トロポニン T, 人心臓由来脂肪酸結合蛋白)と腎機能の関連性について」, 日集中医誌, Vol.11, No.3, pp.185~pp.191, 2004.
- [3]森永茂樹, 「IC のノイズ対策」, 電気学会論文誌 D, Vol.109-D, No.6, pp.385~pp.388, 1989.