

SISTEMA OTIMIZADO PARA AQUISIÇÃO DE SINAL BIOLÓGICO ELETROCARDIOGRÁFICO PARA FINS ACADÊMICOS

Maria Thereza Gomes do N. Roque (IFPB, Campus João Pessoa), Hélder Rolim Florentino (IFPB, Campus João Pessoa)

E-mails: maria.thereza@academico.ifpb.edu.br, helder.florentino@ifpb.edu.br.

Área de conhecimento: 3.04.02.04-2 Instrumentação Eletrônica.

Palavras-chave: coração; circuito ECG; ganho; sinal de entrada; filtros; amplificação.

1. Introdução

No início do século XX, cientistas desenvolveram diferentes maneiras para o estudo e registro de funcionamento do músculo cardíaco e, a partir dessas pesquisas pioneiras, Willem Einthoven materializou a máquina eletrocardiográfica. Dessa época até a atualidade, é perceptível como o avanço das tecnologias digitais têm desempenhado um papel fundamental na construção do conhecimento no contexto acadêmico e na engenharia biomédica. Neste trabalho, foi desenvolvido um circuito para aquisição do sinal eletrocardiográfico (ECG), com o objetivo de permitir a captação, amplificação e filtragem dos sinais elétricos gerados pela atividade cardíaca. O projeto visa, além da análise e visualização da forma de onda do ECG, a aplicação prática dos conceitos teóricos de eletrônica na engenharia.

Para a implementação do sistema, foi projetado e construído um amplificador capaz de processar os sinais de baixa amplitude característicos do ECG. No entanto, tais sinais estão sujeitos a interferências externas e ruídos que podem comprometer sua integridade. Dessa forma, foram empregados filtros adequados para minimizar essas perturbações e garantir uma aquisição de dados mais precisa.

Os resultados obtidos evidenciaram a eficiência do circuito desenvolvido na captação do sinal ECG, permitindo uma representação precisa e confiável da atividade elétrica do coração. Além disso, este estudo teve um impacto significativo na formação acadêmica dos estudantes, ao proporcionar uma experiência prática aprofundada com instrumentação e processamento de sinais biomédicos. Isso possibilitou um maior domínio sobre os dispositivos e metodologias empregados na área, consolidando a aplicação de conceitos teóricos em projetos experimentais. Dessa forma, este trabalho reafirma a relevância da integração entre teoria e prática na engenharia elétrica e biomédica, contribuindo para a qualificação dos futuros profissionais da área.

2. Materiais e métodos

2.1 Esquematização do projeto

O sistema de aquisição do sinal eletrocardiográfico (ECG) foi desenvolvido com base em tecnologias eletrônicas, visando captar, amplificar e filtrar sinais de baixa amplitude gerados pela atividade elétrica do coração. Para garantir precisão e confiabilidade, implementou-se um amplificador de instrumentação adequado para sinais biomédicos, aliado a filtros que atenuam interferências comuns, como ruídos de 60 Hz e artefatos de movimento.

O circuito foi inicialmente montado em protoboard, utilizando amplificadores de instrumentação de alto desempenho, alimentados por fonte simétrica de $\pm 12V$, com componentes selecionados conforme critérios de precisão e compatibilidade biomédica. Na fase de aquisição, seguiu-se o modelo de posicionamento de eletrodos proposto por Einthoven, assegurando medição adequada. Contudo, devido à indisponibilidade de eletrodos, utilizou-se um gerador de sinais Agilent, configurado para fornecer um sinal ECG sintético (800 MSa/s, 9 mVpp, offset de 0 V), possibilitando testes e validação do circuito em condições controladas.

O amplificador operacional TL084 foi escolhido como núcleo do circuito, devido à sua alta precisão, baixo ruído e estabilidade, favorecendo a amplificação eficiente do sinal e reduzindo interferências. A combinação desses recursos resultou em um sistema robusto, eficiente e apropriado para aplicações acadêmicas e experimentais na engenharia biomédica.

2.2 Projeto dos filtros ativos

Para a filtragem, utilizou-se o amplificador operacional TL084, associado a resistores e capacitores, compondo uma estrutura combinada de filtros passa-baixas e passa-altas, com frequência passante previamente calculada. O projeto visou estabelecer uma faixa de operação entre 0,05 Hz e 40 Hz, com o resistor determinado pela Equação (1):

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \Rightarrow R = \frac{1}{2\pi \cdot 0,05 \cdot 1\mu} \Rightarrow R = 3,2 \text{ M}\Omega \quad (1)$$

Identificou-se ruído significativo na frequência de 60 Hz, proveniente da rede elétrica, o que motivou a implementação de um filtro rejeita-faixa, ajustado para atenuar especificamente esse distúrbio sem afetar as demais componentes do sinal. A configuração do capacitor deste filtro, foi baseada na relação da Equação (2), com o valor de:

$$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot R \cdot C} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi \cdot 40 \cdot 150k} \Rightarrow C = 26,53 \text{ nF} \quad (2)$$

O dimensionamento dos resistores e capacitores de todos os filtros foi realizado a partir da relação entre frequência de corte, resistência e capacitância, com os valores calculados em função das frequências desejadas e considerando os componentes disponíveis no laboratório, garantindo assim a seleção adequada para o correto funcionamento do circuito.

2.3 Ganho do Sistema

Para garantir uma maior estabilidade do circuito, é comum distribuir o ganho ao longo de diferentes estágios, aplicando-o progressivamente durante a aquisição e o processamento do sinal. No projeto, foi empregado inicialmente um resistor de 10 kΩ, como demonstrado na Equação (3), o que permitiu definir o primeiro estágio de amplificação do sinal:

$$G = \left(1 + \frac{2R_1}{R}\right) \cdot K \Rightarrow G = \left(1 + \frac{2 \cdot 2}{1}\right) \cdot 4 \Rightarrow G = 20 \quad (3)$$

Outra parte do ganho do sinal do ECG foi aplicado ao filtro rejeita-faixa de 60 Hz. Utilizando o resistor R4 = 150 kΩ e o R5 = 1 kΩ, temos o segundo estágio de ganho definido pela Equação (4):

$$G = \frac{150k}{1k} \Rightarrow G = 150 \quad (4)$$

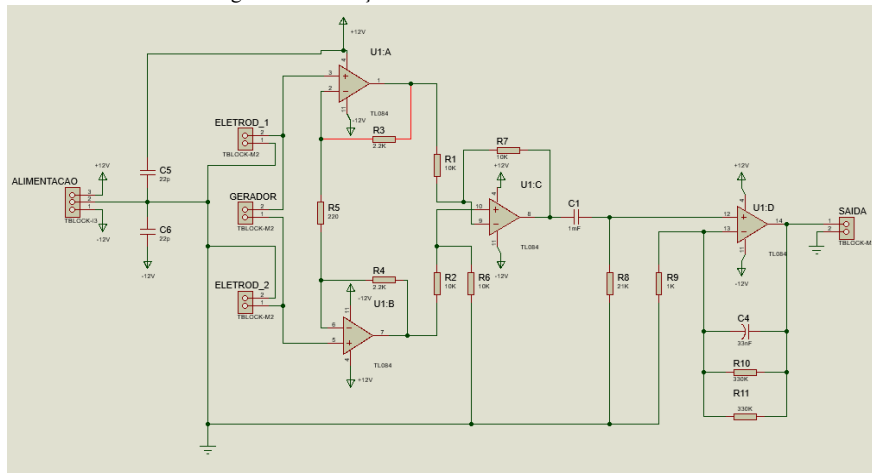
Logo, o ganho total do circuito projetado concluiu em:

$$G = 20 \cdot 150 \Rightarrow G = 3000 \quad (5)$$

2.4 Desenvolvimento do ECG

O desenvolvimento iniciou-se com a elaboração do diagrama esquemático em papel, seguido da modelagem formal do circuito. Após validação teórica, realizou-se a simulação no software Proteus 8, como mostrado na Figura 1, permitindo antecipar ajustes e garantindo o desempenho do amplificador e dos filtros.

Figura 1 - Simulação do circuito elétrico no Proteus 8.

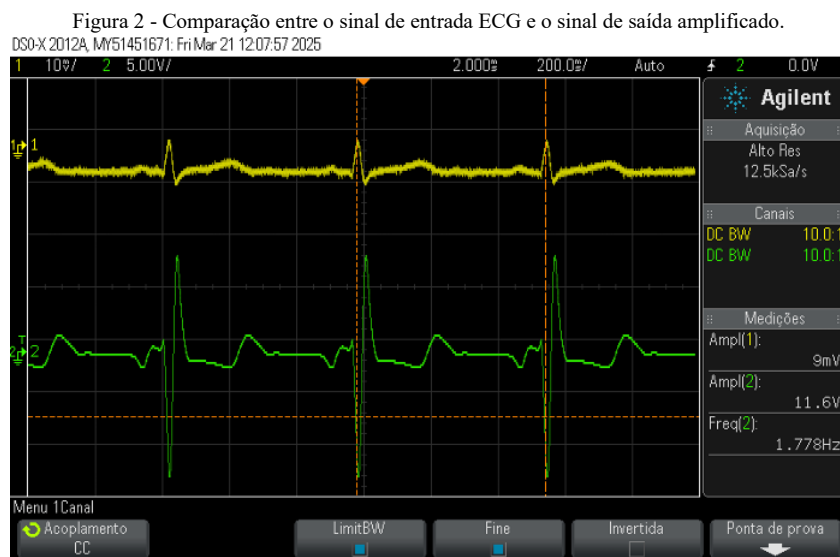


Fonte: Autoria própria (2025).

A implementação prática foi realizada por meio do método de transferência térmica e corrosão química, utilizando perclorato de ferro para a confecção da placa de circuito impresso (PCI). Após a remoção do excesso de cobre, a placa foi furada e os componentes eletrônicos soldados com estanho e fluxo de resina, assegurando conexões elétricas estáveis. Ensaios e inspeção visual confirmaram a funcionalidade do sistema, viabilizando a aquisição precisa do sinal eletrocardiográfico.

3. Resultados e discussão

Os testes foram realizados com um gerador de funções configurado para fornecer um sinal ECG sintético de 9 mVpp, offset de 0 V e frequência de 1,778 Hz. O circuito amplifica o sinal para 11,6 V, demonstrando um ganho aproximado de 1288 vezes, com preservação da morfologia característica do ECG (complexos P, QRS e T) e adequada rejeição a ruídos de alta frequência, demonstrado na Figura 2.



Fonte: Autoria própria (2025).

Os resultados confirmam a eficiência do projeto, evidenciando uma amplificação satisfatória e estável, adequada para aplicações biomédicas. A estrutura do circuito está preparada para integração futura com eletrodos reais, visando validação completa em ambiente clínico.

4. Considerações finais

O presente trabalho demonstrou a viabilidade do circuito de aquisição e amplificação de sinal ECG, evidenciada pela fabricação eficiente da placa e pelo desempenho satisfatório nos testes com sinal sintético. O circuito apresentou ganho significativo, preservando a morfologia característica do ECG e assegurando boa rejeição a ruídos, aspectos essenciais para aplicações biomédicas.

Os resultados confirmam a eficácia do projeto na amplificação de sinais eletrocardiográficos, validando sua aplicação em sistemas de monitoramento cardíaco e abrindo caminho para futuros desenvolvimentos e aprimoramentos tecnológicos na área.

Referências bibliográficas

- MALVINO, A. P.; BATES, D. J. **Eletrônica: Dispositivos e Circuitos**. 9. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 2016.
- SEDRÁ, A. S.; SMITH, K. C. **Microeletrônica**. 7. ed. São Paulo: Pearson, 2018.
- RANGAN, C. S.; SARMA, G. R.; MANI, V. S. V. **Instrumentation Devices and Systems**. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2009.
- KIP, F. A. **Fundamentals of Electricity and Electronics**. 3. ed. Nova York: McGraw Hill, 2013.