https://eventos.utfpr.edu.br//sicite/sicite2020

Proposta de um Oscilador Eletrônico Microcontrolado para o estudo da Dinâmica dos Batimentos Cardíacos

Proposal of an Microcontrolled Electronic Oscillator for the study of Heartbeat Dynamics

Pedro Henrique Dreveniacki
pedrodreveniacki@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

María Eugenia Dajer
medajer@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, Paraná, Brasil

RESUMO

A análise dos batimentos cardíacos via eletrocardiograma (ECG) é uma questão importante na cardiologia, visto que, algumas patologias são identificadas pela observação de alterações nos padrões desse exame. Nesse sentido, a ciência vem buscando alternativas para a compreensão das variáveis envolvidas na dinâmica dos batimentos cardíacos, tal que vários modelos matemáticos conceituais vêm sendo propostos na tentativa de explicar esses ritmos. Em geral, esses modelos são constituídos por osciladores de relaxação acoplados baseados na equação de Van der Pol (VdP). Este projeto visa a simulação de circuitos eletrônicos baseados essencialmente em um conjunto de microcontrolador e amplificadores operacionais que implementem determinados modelos de osciladores. Tais modelos implantados eletronicamente trarão ainda mais fidelidade aos modelos implementados computacionalmente, ao adicionar pequenas imperfeições naturais ao sinal. A validade do oscilador poderia ser comprovada a partir da semelhança entre o sinal de saída do oscilador e exames de ECG retirados de base de dados como a Physionet. Contudo, não foi obtido êxito nos resultados uma vez que o software de simulação utilizado apresentou divergências do sinal esperado.

PALAVRAS-CHAVE: Engenharia Biomédica. Engenharia Eletrônica. Sistemas embarcados.

ABSTRACT

Electrocardiogram (ECG) heartbeat analysis is an important issue in cardiology, as some pathologies are identified by observing changes in the patterns of this test. In this sense, science has been seeking alternatives for understanding the variables involved in the dynamics of the heartbeat, such that several conceptual mathematical models have been proposed in an attempt to explain these rhythms. In general, these models consist of coupled relaxation oscillators based on the Van der Pol equation (VdP). This project aims to simulate electronic circuits based essentially on a set of microcontroller and operational amplifiers that implement certain oscillator models. Such electronically implemented models will have a signal closer to that of a natural heart than the pure mathematical equation waveform itself, by adding small natural imperfections to the signal. The validity of the oscillator could be proven from the similarity between the oscillator output signal and ECG exams taken from a database such as Physionet. However, the results were not successful because there are divergences between the expected signal and the signal of simulation software.

Recebido: 19 ago. 2020.
Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

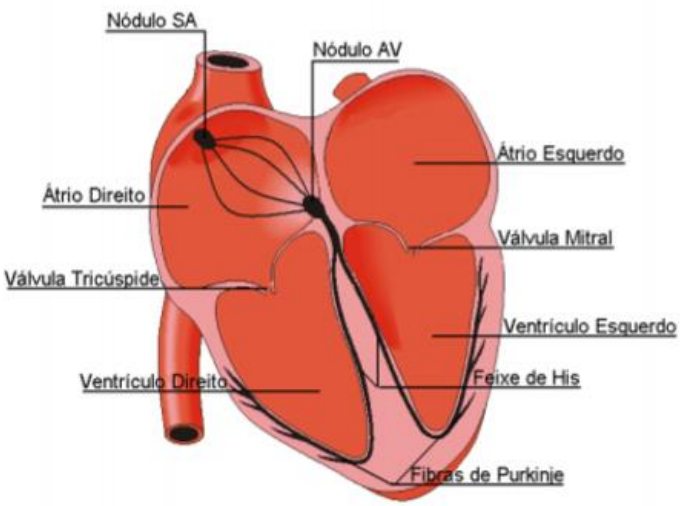
3 BOA SAÚDE E BEM-ESTAR

KEYWORDS: Biomedical Engineering. Electronic Engineering. Embedded systems.

INTRODUÇÃO

O coração é um órgão por quatro compartimentos, sendo dois átrios e dois ventrículos que são ativados por estímulos elétricos. Em outras palavras podemos definir o órgão como um sistema complexo, formado pelo nódulo sinoatrial (SA), nódulo atrioventricular (AV) e o feixe de His-Purkinje, de acordo com Gois e Savi (2009). Na Figura 1 pode-se ver uma representação esquemática de um coração humano.

Figura 1 – Esquema do coração humano



Fonte: Gois e Savi (2009)

Matematicamente falando, a dinâmica dos batimentos cardíacos pode ser representada e analisada por modelos e por meio de técnicas de processamento de sinais. Com relação aos modelos, o primeiro deles foi proposto em 1928 por Van der Pol e Van der Mark, neste modelo foi introduzida a ideia da possibilidade da utilização de circuitos eletrônicos de forma correlacionada com o estudo de retificadores a base de válvulas tipo tríodo, conforme (Viana, 2011).

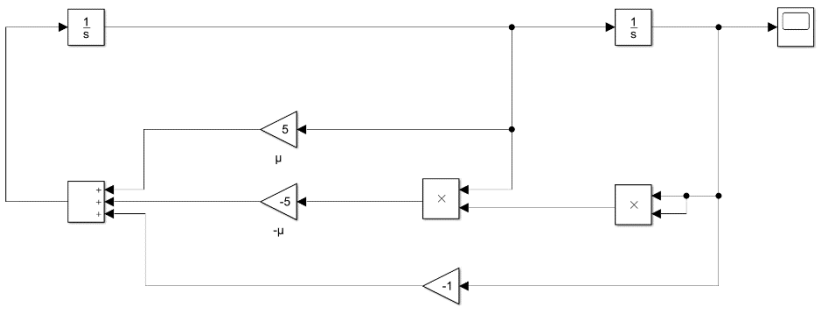
A equação original de Van der Pol (VdP) data de 1928 e foi usada no primeiro modelo matemático cardíaco, portanto foi o primeiro modelo adotado para realização deste trabalho. Existem ainda mais dois modelos fruto de aprimorações sendo eles: o modelo de Van der Pol modificado (mVdP) proposto por Grudzinski e Zebrowski (2004) e o terceiro, ainda mais completo modelo formado por três osciladores mVdP acoplados feito por Gois e Savi (2009).

O objetivo deste trabalho foi simular o oscilador eletrônico do modelo mais completo possível iniciando no modelo mVdP, tais osciladores seriam sistemas embarcados utilizando a plataforma de prototipagem Arduino e amplificadores operacionais. Dessa forma, a parte analógica do circuito implementaria mais naturalidade ao oscilador do que sua edificação em um software como o Simulink.

MATERIAL E MÉTODOS

O método implementado para o desenvolvimento do oscilador eletrônico é a simulação através do software Proteus, que reúne diversos componentes eletrônicos para simulação. Além do Proteus outro software usado foi o Simulink, no qual a equação VdP foi esquematizada em blocos e com o auxílio dela tais blocos de operações matemáticas foram se tornando conjuntos componentes eletrônicos. A esquematização do modelo VdP foi finalizada conforme a Figura 2.

Figura 2 – VdP Simulink



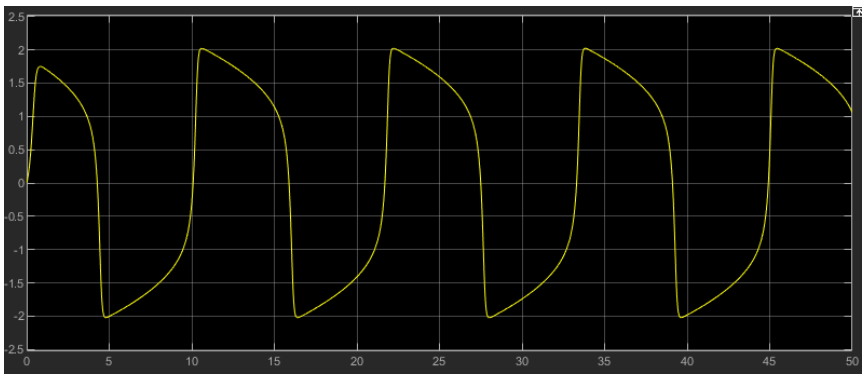
Fonte: Autoria própria (2020)

Com este esquema foi possível estudar e desenvolver modificações no modelo para a sua implementação no Proteus. Na simulação eletrônica além do Arduino e dos amplificadores operacionais foram usados um conversor digital-analógico (DAC), voltímetros, osciloscópio e um terminal virtual para ajudar no debug e desenvolvimento do circuito.

RESUSLTADOS E DISCUSSÕES

Pelo fato de se tratar de uma “conversão” de blocos matemáticos para circuitos eletrônicos o gráfico da saída deve ser o mesmo ou muito parecido em ambos os casos. O gráfico da saída dos blocos originais da equação pode ser visto na Figura 3.

Figura 3 – Sinal resultante (VdP Simulink)



Fonte: Autoria própria (2020)

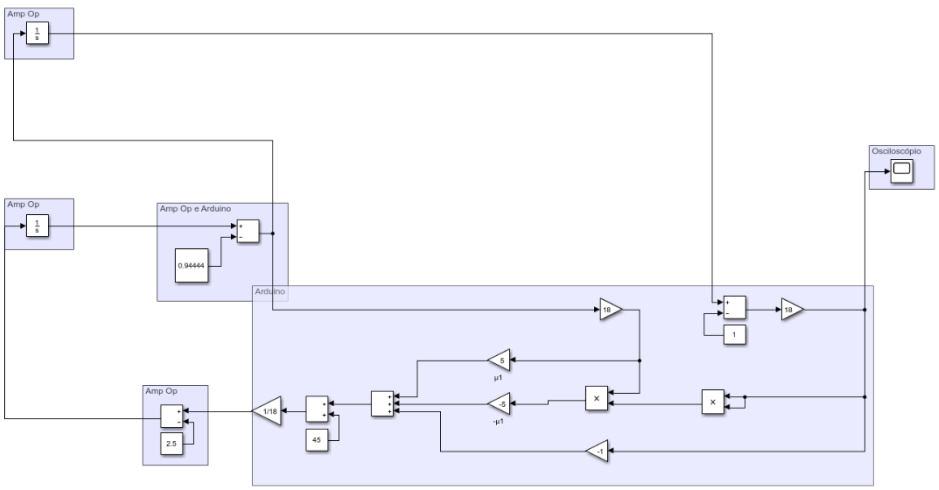
Levando em conta de que todos os cálculos, exceto as integrais, serão realizados pelo Arduino deve-se olhar para os pontos onde haverá a transição entre os componentes e estudar se os valores ali estão dentro da faixa de atenção dos componentes.

O Arduino por exemplo, só trabalha com tensões positivas sendo assim a saída do Arduino para o DAC que seguira para o primeiro integrador precisa de algumas alterações. Primeiramente, os valores da saída do bloco de soma variam aproximadamente entre – 45 e + 45, ou seja, deve ser incrementando em mais 45 para variar de 0 a 90. Porém, como o conversor digital-analógico vai gerar a tensão de 0 a 5 volts, o Arduino precisa atenuar esse valor em 18 vezes para que fique no range de 0 a 5 e converter para a escala de 12bits.

Neste momento, é necessário um amplificador subtrator para dar um offset de 2,5 volts no sinal que vai seguir para o primeiro integrador. Esta operação é indispensável, pois sem isso o sinal seria integrado indevidamente já que ele deve variar entre positivo e negativo. Após integrado o sinal está 0,944 volts a cima do valor esperado, dessa forma o sinal se torna inteiramente positivo novamente e o Arduino consegue ler e converter esse valor.

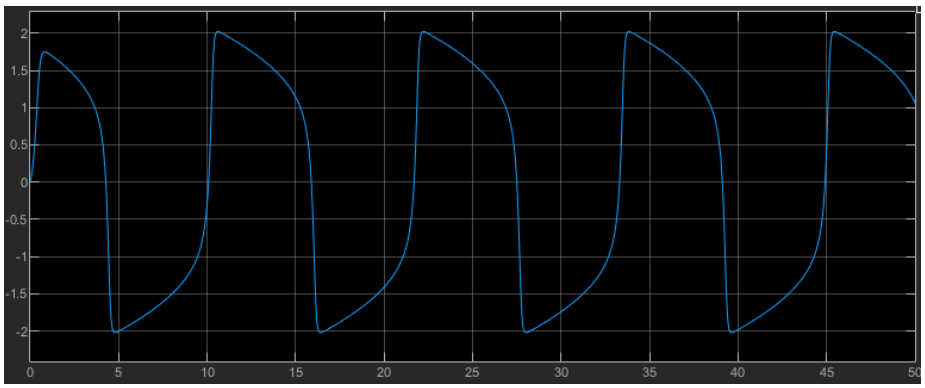
Para seguir para o próximo integrador esse sinal também deve passar por outro amplificador subtrator e subtrair a diferença, para que possa variar em positivo e negativo e ser integrado novamente. Todo este sistema pode ser visualizado na Figura 4, onde o esquema feito inicialmente no Simulink comprova a funcionalidade teórica. Uma vez que se o sinal dos blocos originais e dos blocos com adaptações for sobreposto, apenas um sinal igual vai ser plotado conforme Figura 5.

Figura 4 – VdP com adaptações Simulink



Fonte: Autoria própria (2020)

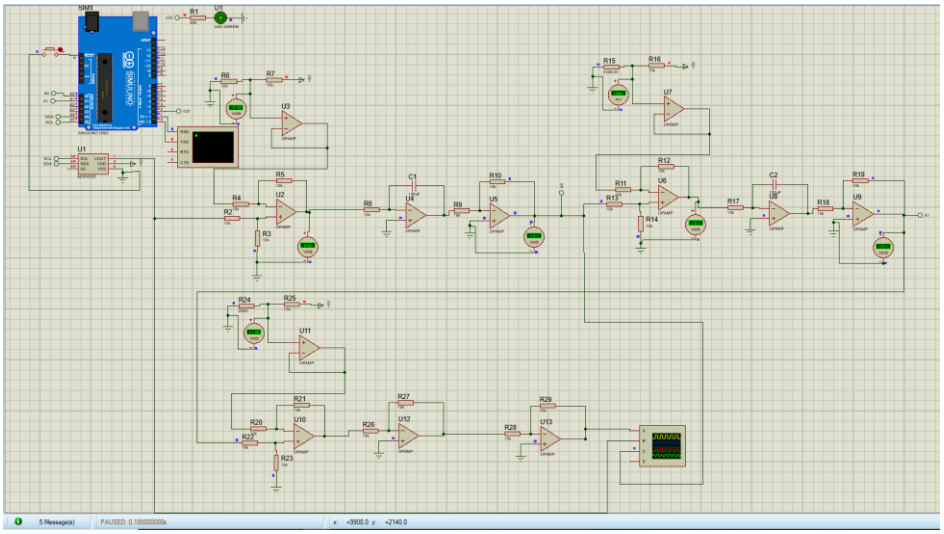
Figura 5 – Sinais resultantes sobrepostos



Fonte: Autoria própria (2020)

Com o modelo teórico funcionando no Simulink, pode-se passar para o Proteus e desenhar todo o circuito correspondente, o qual pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 – Circuito simulado Proteus



Fonte: Autoria própria (2020)

É possível visualizar na Figura 6 a imagem da simulação do Proteus com todos os integradores com amplificadores inversores e tudo que foi necessário para tratar o sinal, deixando o mesmo possível de ser analisado.

No entanto, a equação de VdP é caótica, o que significa que a menor das diferenças pode levar a uma situação totalmente diferente do que acontece. Considerando esse fator e o fato que a saída dos integradores é de 15,1 volts quando a simulação começa a funcionar, é possível concluir que os valores iniciais de x1 e x2 são muito maiores do que deveriam ser e levam o oscilador a um estado de caos.

CONCLUSÃO

Ao contrário do esperado, o circuito não apresentou os resultados desejados. Uma solução possível, após o período de pandemia, seria considerável refazer a experiencia do simulador no laboratório já que logo no momento em que são

ligados os amplificadores não podem chegar a saturar levanto o oscilador ao estado de caos como acontece no Proteus, portanto não se pode descartar a possibilidade de o circuito projetado funcionar na prática.

Contudo, se nem mesmo na prática o mais simples dos osciladores não funcionar, acredita-se que seja viável a ideia de implementar estes modelos matemáticos com a ajuda da eletrônica analógica. Dessa forma, outra saída possível seria uma abordagem totalmente nova a partir do cálculo numérico rodando em microcontrolador mais potente ou até mesmo um computador pequeno como uma placa *raspberry*, já que os osciladores mais completos são ainda mais sofisticados, para desenvolver um sistema embarcado independente capaz de simular os sinais cardíacos.

REFERÊNCIAS

BOYLESTAD, R. L.; NASHELSKY, L. Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos. 8. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

GOIS, S. R. F. S. M.; SAVI, M. A. An Analysis of Heart Rhythm Dynamics using a ThreeCoupled Oscillator Model. Chaos, Solitons and Fractals, Elsevier, v. 41, n. 5, p. 2553–2565, 2009.

GRUDZINSKI, K.; ZEBROWSKI, J. J. Modeling Cardiac Pacemakers with Relaxation Oscillators. Physica A, Elsevier, v. 336, n. 1, p. 153–162, 2004.

POL, B. Van der; MARK, J. Van der. The Heartbeat Considered as a Relaxation Oscillator and an Electrical Model of the Heart. The London, Edinburgh and Dublin Physiological Magazine and Journal of Science, v. 6, p. 763–775, 1928.

VIANA, R. L. Oscilações de Relaxação e suas Aplicações - II. Revista Brasileira de Ensino de Física, SBF, v. 33, n. 3, p. 3305, 2011.