

Análise de um Circuito Conversor RF-DC para aplicação em Circuitos de Captação de Energia a partir de Sinais de RF

Giovani Santos Pereira¹, Rodrigo Trevisoli Doria²

^{1,2}Departamento de Engenharia Elétrica, Centro Universitário FEI

¹giovansbc@hotmail.com, ²rtdoria@fei.edu.br

Resumo: Este estudo investiga o desempenho de um sistema de captação de energia a partir de sinais de radiofrequência baseado na técnica de bombeamento de cargas utilizando transistores MOS. O foco está na análise do impacto da adição de múltiplos estágios de retificação na tensão de saída. O principal objetivo é validar a eficiência da retificação do sinal de radiofrequência através de simulação SPICE para a geração de uma saída DC e examinar como a inclusão de estágios adicionais pode aumentar o nível de tensão na saída.

1. Introdução

A Internet das Coisas (IoT) tem transformado diversas áreas tecnológicas ao conectar redes abrangentes de sensores que monitoram e interagem com o ambiente de forma autônoma. No entanto, a alimentação energética desses dispositivos continua sendo um desafio significativo, particularmente em locais de difícil acesso.

Há mais de um século, o visionário inventor Nikola Tesla explorava os fundamentos da transmissão de energia elétrica sem o uso de fios. Suas inovadoras pesquisas sobre a energia *wireless* abriram caminho para diversas aplicações modernas, incluindo a captação de energia a partir de sinais de radiofrequência (RF) presentes no ambiente. Essa tecnologia surge como uma solução promissora para alimentar os sensores e dispositivos da Internet das Coisas, uma vez que aproveita a ubiquidade dos sinais de RF, como a infraestrutura Wi-Fi existente, sem comprometer significativamente o desempenho da rede [1].

A captação de energia de sinais de RF representa uma alternativa atraente para a alimentação desses dispositivos [2], pois permite que eles sejam alimentados de forma autônoma, sem a necessidade de baterias ou conexão à rede elétrica. Essa abordagem tem o potencial de simplificar a implantação e manutenção de sistemas IoT, especialmente em áreas de difícil acesso [3].

2. Conversor RF-DC

Conversores RF-DC (*Radio Frequency to Direct Current*) são dispositivos que transformam energia de radiofrequência (RF) em corrente contínua (DC). Eles são fundamentais em aplicações que envolvem a captura de energia a partir de sinais de RF, permitindo que dispositivos eletrônicos sejam alimentados sem a necessidade de fontes de energia convencionais [4].

O retificador de bombeamento de carga de Dickson é uma topologia de circuito que utiliza uma série de capacitores e diodos para converter uma tensão alternada (AC) em uma tensão contínua (DC). A configuração mais básica de um retificador Dickson é apresentada na Figura

1. O sinal de RF é aplicado ao terminal RFin e o terminal DCin é aterrado ou conectado a uma fonte DC externa para a compensação da tensão de limiar dos transistores. Deste modo, a conversão do sinal RF para o DC ocorre da seguinte forma: durante o semiciclo negativo da forma de onda RF, a tensão do RF (V_{RF}) é menor que a tensão de limiar (V_{TH}) dos transistores MOS. Como esta tensão é aplicada à porta de M2, este dispositivo permanece desligado. Por outro lado, o sinal de RF é responsável por reduzir a tensão de fonte de M1, fazendo com que ele entre em condução de modo a carregar o capacitor C_c até que a tensão entre seus terminais atinja a amplitude do sinal RF. Conforme o sinal de RF atinge seu semiciclo positivo, V_{RF} se torna maior que V_{TH} e M2 passa a conduzir, permitindo que C_o se carregue tanto devido ao sinal RF como pela descarga de C_c . Nesta condição, o potencial de VA é dado por (1)

$$V_A = 2 \cdot V_{RF} - V_{TH} \quad (1)$$

e a tensão de saída (V_{outDC}) é dada por (2):

$$V_{outDC} = 2(V_{RF} - V_{TH}) \quad (2)$$

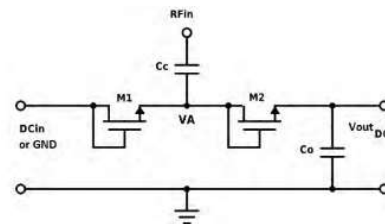


Figura 1 – Retificador por bombeamento de cargas Dickson de estágio único.

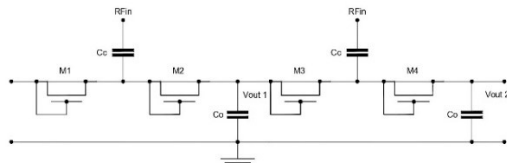
Uma das principais vantagens do retificador Dickson é sua alta eficiência em aplicações de ultrabaixa potência. Isso se deve à capacidade do circuito de operar com níveis muito baixos de tensão de entrada já que utiliza transistores ao invés de diodos, o que o torna ideal para sistemas que coletam energia de fontes como radiofrequência (RF). Entretanto, devido aos baixos valores de tensão DC na saída na configuração de estágio único, torna-se necessário o estudo de circuitos com múltiplos estágios.

3. Experimento e Resultados

Inicialmente, foi escolhido um transistor e alterado a sua tensão de limiar para 0V, de modo a evitar o efeito de V_{TH} na condução do dispositivo. Após isso, foi montado o circuito de Dickson e realizada uma verificação do circuito sob diferentes condições de carga para avaliar seu desempenho. Durante essa fase, desenvolvida a partir de simulações SPICE considerando um modelo padrão para o transistor MOS, a máxima tensão de saída obtida com o circuito operando com uma carga de resistência infinita foi próxima de 630 mV.

Em seguida, foram montadas duas configurações de circuitos em cascata, cada uma composta por cinco estágios de retificação. Essas configurações são ilustradas na Figura 2, que apresenta circuitos de 2 estágios. O objetivo dessas configurações era explorar a eficiência do circuito em cascata e avaliar como os múltiplos estágios impactavam a tensão de saída.

Configuração 1



Configuração 2

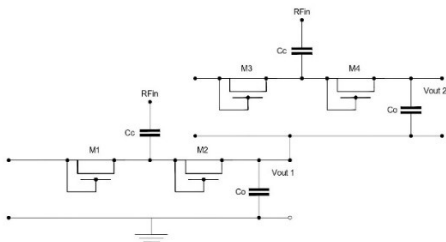


Figura 2 – Segunda configuração do Retificador por bombeamento de cargas Dickson com múltiplos estágios utilizados no estudo.

Na primeira configuração em cascata, composta por cinco estágios de retificação, observou-se no último estágio uma tensão de saída de 0,5V, o que representa uma queda de tensão significativa de 0,13V em comparação com o desempenho do circuito de estágio único. Este comportamento não era esperado e pode estar relacionado ao modelo do transistor MOS utilizado na simulação SPICE (modelo Nível 3), em especial sua característica de sublimiar, a qual deve ser analisada no decorrer da pesquisa.

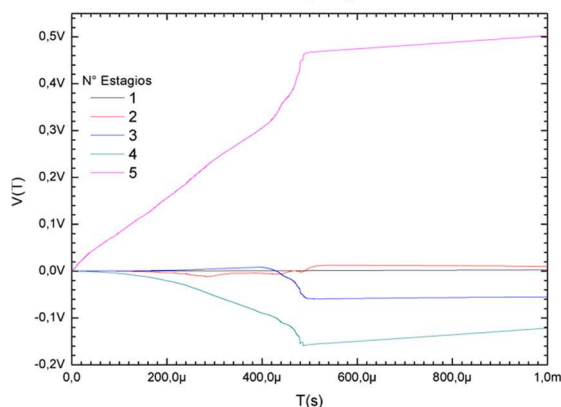


Figura 3 – Resultados Obtidos durante os testes utilizando a configuração 1.

Na segunda configuração, os resultados foram significativamente mais expressivos. Foi observado um comportamento típico de um multiplicador de tensão ao longo dos estágios. No quinto e último estágio, a tensão de saída atingiu 3,1 V, indicando um aumento substancial em comparação com a primeira configuração. Esse resultado demonstra a eficácia da segunda configuração

em amplificar a tensão ao longo dos estágios, o que é essencial para aplicações que exigem níveis mais elevados de tensão a partir de fontes de baixa potência. A eficiência do circuito em amplificar a tensão ao longo dos múltiplos estágios destaca seu potencial para ser implementado em aplicações reais, especialmente em sistemas autônomos de Internet das Coisas (IoT), onde o fornecimento contínuo de energia é um desafio crítico.

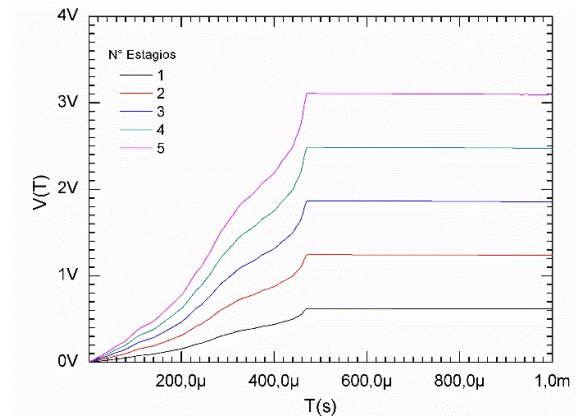


Figura 4 – Resultados Obtidos durante os testes utilizando a configuração 2.

4. Conclusões

Os resultados deste estudo demonstram a eficácia da topologia de retificador Dickson na amplificação de tensão em sistemas de captação de energia a partir de sinais de radiofrequência (RF). A comparação entre as duas configurações de circuitos testadas revela que, enquanto a primeira configuração apresentou uma queda na tensão de saída em relação ao valor obtido em um único estágio, a segunda configuração conseguiu elevar a tensão de forma significativa, atingindo 3,1 V no último estágio. Este aumento substancial sublinha a importância da escolha adequada da configuração e do número de estágios para otimizar a eficiência em aplicações de baixa potência. Este trabalho, portanto, não só valida a viabilidade da captação de energia RF como uma solução promissora para dispositivos IoT, mas também estabelece uma base para futuros desenvolvimentos e otimizações de circuitos conversores RF-DC.

5. Referências[1]

- G. Piscitelli *et al.*, “A low-cost energy-harvesting sensory headwear useful for tetraplegic people to drive home automation”, *AEU - International Journal of Electronics and Communications*, vol. 107, p. 9–14, jul. 2019, doi: 10.1016/j.aue.2019.05.015.
- [2] V. Talla *et al.*, “Powering the next billion devices with Wi-Fi”, em *Proceedings of the 11th ACM Conference on Emerging Networking Experiments and Technologies, CoNEXT 2015*, dez. 2015. doi: 10.1145/2716281.2836089.
- [3] S. Kim *et al.*, “Ambient RF energy-harvesting technologies for self-sustainable standalone wireless sensor platforms”, *Proceedings of the IEEE*, vol. 102, n° 11, p. 1649–1666, nov. 2014, doi: 10.1109/JPROC.2014.2357031.
- [4] H. Yahya Alkhalaf *et al.*, “Self-Sustainable Biomedical Devices Powered by RF Energy: A Review”, 1º de set. de 2022, *MDPI*. doi: 10.3390/s22176371.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI. Projeto com vigência de 11/2023 a 10/2024.