

UTILIZAÇÃO DE ENERGY HARVESTING PARA ATUAÇÃO DE UM TRANSMISSOR DE RÁDIOFREQUÊNCIA PARA APLICAÇÕES RESIDENCIAIS

Marcos Felipe Danna¹, Pablo Dutra da Silva², Jens Passoke³

¹Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul Rau, Jaraguá do Sul – SC, Brasil

²Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul Rau, Jaraguá do Sul – SC, Brasil

³Hochschule Hannover – University of Applied Sciences and Arts, Hannover - Germany

e-mail: marcos.danna@gmail.com, pablo.silva@ifsc.edu.br, jens.passoke@hs-hannover.de

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC – 04/07/2022

Resumo – O objetivo deste trabalho é propor uma forma de suprir energia para um circuito transmissor através de uma forma não convencional: coletando energia do movimento cinético através da técnica de energy harvesting. Dentre as diversas formas de coletar essa energia, o foco será dado para a geração eletromagnética e especialmente através de uma bobina eletromagnética. Essa solução foi escolhida devido ao fácil acesso ao material e a simplicidade de sua fabricação. A energia coletada através do movimento cinético é suficiente para alimentar um transmissor de radiofrequência e, conseqüentemente, utilizá-lo na transmissão de um sinal.

Palavras-Chaves – Energy Harvesting, Casa Inteligente, Interruptor Inteligente, Radiofrequência, Imã, Bobina Eletromagnética.

Abstract – The aim of this project is to propose a way of energizing a transmitter circuit in a non-conventional way: using energy harvesting of kinetic movement. Among all ways of harvesting energy, the focus is on the electromagnetic generation, especially through an electromagnetic coil. The choice of this solution is because of the easy access of the material and simplicity of production. The energy harvested from the kinetic movement is enough to supply the radiofrequency transmitter and, thus, activate it.

Keywords – Energy Harvesting, Smart home, Smart Switch, Radiofrequency, Magnet, Electromagnetic Coil.

I. INTRODUÇÃO

Todas as residências possuem interruptores e tomadas no seu interior, de forma que elas se tornem mais confortáveis e funcionais para os seus usuários. Com o avanço da tecnologia na fabricação de eletrônicos e um maior acesso a internet de qualidade, ocorreu um aumento de produtos inteligentes. Esses produtos possuem funcionalidades similares aos equipamentos regulares, mas possuem o diferencial de se conectar à internet e serem controlados pela nuvem a partir de qualquer lugar do mundo [1].

Portanto, há uma grande demanda por produtos inteligentes para aplicações residenciais. Espera-se um mercado global de US\$175 bilhões para 2025, sendo US\$2,2 bilhões apenas no mercado brasileiro [1]. Entretanto, mesmo com o aumento dos

produtos inteligentes é necessário possuir soluções onde o consumidor pode tocar fisicamente e controlar as suas aplicações. A conveniência do controle pela voz ou pelo celular não substitui o tradicional toque físico. Porém essa interface física normalmente necessita diversos cabos elétricos ou o uso de baterias. Ambos possuem desvantagens, tais como: custo e complexidade da fiação elétrica e no caso das baterias a manutenção (troca e recarregamento).

Nas residências brasileiras, as instalações elétricas são feitas em caixas de embutir na parede. Nas caixas onde os interruptores são instalados, normalmente existe apenas um cabo para a fase e um cabo de retorno para a lâmpada, necessário para essa aplicação. Não há cabos neutros nesse tipo de aplicação. Isto é um problema para produtos inteligentes já que eles requerem uma fase e um neutro para energizar o circuito, para que eles possam estar sempre funcionais e se comunicar com o servidor na nuvem. Uma possibilidade para essa aplicação seria utilizar um relé inteligente próximo da lâmpada, onde existem todos os cabos necessários.

Portanto, uma solução que o uso de cabos e baterias não seja necessário seria uma grande contribuição para esse tipo de aplicação. No decorrer deste trabalho, é demonstrado que isso pode ser alcançado através do uso da técnica de *energy harvesting* do ambiente onde o produto é instalado.

A técnica de *energy harvesting* começou a ganhar mais destaque nos últimos anos. Graças aos avanços tecnológicos, agora é possível utilizar essa técnica para fornecer energia para circuitos eletrônicos de comunicação, coletando energia do ambiente que de outra forma seria desperdiçada [2].

Existem diversas formas de geração de energia através do *energy harvesting*, desde simples movimentos mecânicos até complexas ondas de radiação. Então, quando o produto é desenvolvido, é importante analisar o ambiente onde ele vai ser utilizado através de possíveis formas de coleta de energia. Em uma residência, por exemplo, é seguro admitir que a radiação solar será menos disponível que o movimento mecânico de pessoas, tais como passos e toques. Neste sentido, a escolha da energia a ser coletada, em determinado ambiente, é crucial.

O objetivo deste trabalho é desenvolver um interruptor que consiga gerar energia para o seu circuito através do movimento mecânico de desligar e ligar. Essa energia precisa ser o suficiente para alimentar um transmissor de radiofrequência, que irá se comunicar com um relé inteligente, responsável por controlar a carga (no caso do interruptor, uma lâmpada). A geração dessa energia será obtida através de uma solução eletromagnética. Essa energia será retificada, armazenada

temporariamente e usada para alimentar um circuito transmissor de um sinal de radiofrequência com 433 MHz, padrão utilizado pelo relé inteligente WEG [3].

Após, o protótipo será reduzido o máximo possível para que atenda o dimensional normativo e possa ser comercializado. É esperado no final deste trabalho um interruptor sem fio, funcional e economicamente viável, que possa ser utilizado como complemento de um relé inteligente.

Na seção 2, a base teórica necessária para o desenvolvimento deste trabalho é apresentada. Na seção 3 é apresentada a metodologia e materiais utilizados e na seção IV os resultados obtidos na fabricação e teste do produto são discutidos.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Um sistema autônomo de energia é constituído de três estágios: geração, conversão e consumo [4]. Neste trabalho a geração será obtida através da técnica de *energy harvesting*, então será convertida para uma tensão CC que será consumida por um transmissor de radiofrequência. Este produto será fabricado em uma placa de circuito impresso de forma que o produto final será um transmissor RF com geração própria de energia. Devido a este conceito de geração própria de energia, a escolha da fonte de energia é muito importante: deve ser o suficiente para o transmissor, mas ao mesmo tempo precisa ser de fácil acesso.

A. Energy Harvesting

Energy harvesting é uma forma de geração de energia que usa elementos da natureza que normalmente não são explorados de forma convencional. Existem vários elementos que podem ser usados para gerar energia, tais como:

- Radiação (solar, eletromagnética)
- Térmica
- Mecânica (potencial, cinética)
- Química (bateria, células de energia)
- Nuclear
- Magnética
- Elétrica

Aproveitando esses elementos existentes no ambiente torna a técnica de *energy harvesting* uma forma limpa e renovável de geração de energia, com uma alta durabilidade devido à baixa manutenção e disponibilidade da energia. Devido a quantidade de elementos e das formas que podem ser coletadas, produtos que utilizam *energy harvesting* possuem uma grande gama de possibilidades de aplicações, quando comparado a produtos com alimentações de energia tradicionais.

Como citado anteriormente, o local de instalação considerado para esse produto é no interior de uma residência. Dependendo de diversos fatores, como leiaute da casa ou se o clima está limpo, a luz solar incidente pode variar de uma forma que se torna inviável desenvolver um produto com *energy harvesting* através dessa solução. A solução térmica apresenta problema similares a solar, como local de aplicação e clima, além do fato que a eficiência típica de um gerador

térmico é menor que 1% para gradientes de temperatura menores do que 40°C [5].

Portanto, a fonte de energia escolhida para esse projeto é mecânica, especificamente a energia cinética. Para esse tipo de aplicação existem três mecanismos de geração [5]: eletromagnético, piezoelétrico e eletrostático. Como esses geradores necessitam de um movimento, podemos representá-los como um sistema com 1 grau de liberdade, com os seguintes elementos discretos: uma massa m , um amortecedor viscoso com constante c e uma mola com uma constante elástica k [6], como mostrado na figura abaixo:

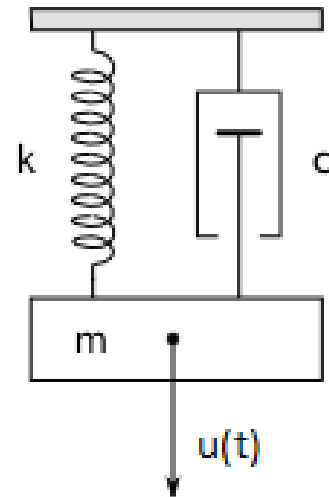


Fig. 1. Modelo massa-mola-amortecedor

1) *Eletromagnético*: A lei de indução eletromagnética de Faraday nos diz que qualquer mudança no campo magnético dentro de uma bobina irá induzir uma tensão, conhecida como força eletromotriz (f_{em}). Pode ser calculada como função de uma constante K , que depende do número de espiras na bobina, comprimento, área, formato e força do campo magnético [4], pela variação do movimento no eixo Z no tempo:

$$f_{em} = K \cdot \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

O gerador eletromagnético pode ser representado através do circuito da figura 2, onde R_c é a resistência da bobina, R_L é a resistência da carga e L_C é a indutância da bobina.

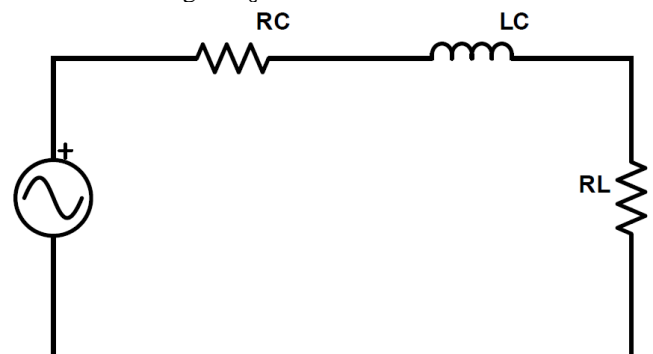


Fig. 2. Diagrama do gerador eletromagnético

A tensão de circuito aberto pode ser determinada pela função do número de espiras da bobina (N), a indução magnética (B), o comprimento da bobinagem (l) e a distância entre o ímã e a bobina (x).

$$V_{oc} = N \cdot B \cdot l \cdot \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

2) *Piezoelétrico*: Devido a estrutura molecular dos cristais piezoelétricos, a aplicação de uma força no cristal irá causar um estresse mecânico que irá polarizar eletricamente o material, separado as cargas internamente e resultando em uma tensão elétrica [2]. A razão de polarização (P) para o estresse mecânico (σ) é chamado de coeficiente piezoelétrico (d).

$$d = \frac{P}{\sigma} \quad (3)$$

Existem diversos materiais que possuem características piezoelétricas, mas o grupo dos ferroelétricos são os mais populares para a aplicação de geração de energia. Um dos materiais piezoelétricos mais utilizados é o titanato zirconato de chumbo (PZT). Algumas das vantagens desse material são a alta constante dielétrica ($\epsilon_r = 1700$) e o alto coeficiente piezoelétrico [2]. Outro exemplo de um material piezoelétrico é o fluoreto de polivinilideno (PVDF) que é usado em aplicações que requerem uma grande flexibilidade mecânica e transparência óptica [4].

O diagrama do gerador piezoelétrico é mostrado na figura 3, onde R_s é a resistência do material piezoelétrico, C é a capacitância e R_L é a resistência da carga.

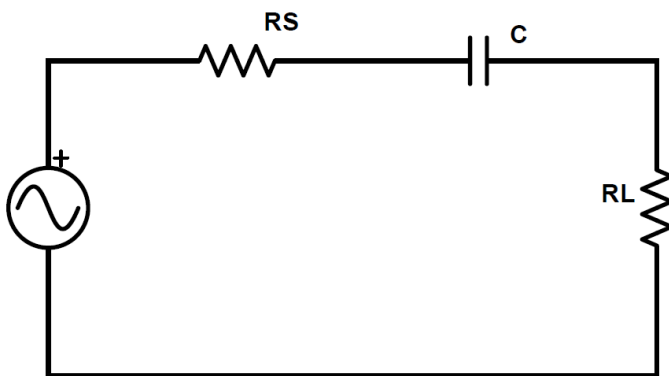


Fig. 3. Diagrama do gerador piezoelétrico

3) *Eletrostática*: Esse mecanismo de geração se aproveita da característica de operação de um capacitor. O capacitor consiste de duas placas condutoras, que acumulam cargas elétricas, e são separadas por um dielétrico. Quando essas placas são pressionadas, o dielétrico diminui e as cargas têm mais liberdade para se movimentar entre as placas.

Devido a necessidade de energizar as placas do capacitor para a sua operação, esse mecanismo de geração não é viável para a proposta desse trabalho, já que a premissa dele é não necessitar de nenhuma fonte de energia constante, tanto interna quanto externa.

4) *Comparativo*: Um comparativo das densidades de energias encontrado na literatura [4] pode ser visto na tabela 1.

TABELA I
Densidade de energia dos mecanismos

	Teórico (mJ/cm ³)	Prático (mJ/cm ³)
Eletromagnético	400	24,8
Piezoelétrico	335	35,4
Eletrostático	44	4

É possível visualizar que os mecanismos eletromagnético e piezoelétrico possuem uma densidade de energia superior se comparado ao eletrostático. A solução eletromagnética foi escolhida por sua maior facilidade para ser fabricada e por ser mais barata que os materiais piezoelétricos.

B. Topologia utilizada

Para este projeto, a topologia utilizada é a mesma da figura 4, onde o núcleo é em formato de “U”, com um ímã fixado em uma ponta e uma chapa de aço no outro lado, que será responsável por abrir e fechar o circuito. Esse movimento irá gerar uma mudança no campo magnético.

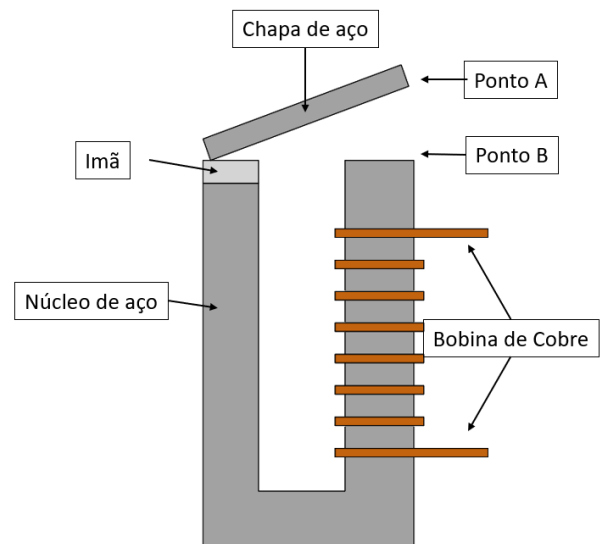


Fig. 4. Vista de seção transversal da topologia “U”

Consequentemente, como expresso na lei de Faraday, haverá uma tensão induzida na bobina. Essa tensão gerada será dependente da variação do fluxo magnético (φ) no tempo (t) [7]:

$$V_o = \frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

A variação do fluxo magnético pode ser escrita como o fluxo no ponto A, com o circuito fechado, menos o fluxo no ponto B, com o circuito totalmente aberto, como mostrado na figura 4:

$$V_o = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{\Delta t} \quad (5)$$

Com o aumento dos pontos analisados, é possível ter mais precisão no valor de tensão encontrado.

Esse campo magnético gerado pelo fluxo magnético irá interagir com a bobina do circuito. Portanto, a equação 5 precisa de uma correção para levar isto em conta, logo o termo N é adicionado:

$$V_o = N \cdot \left(\frac{\varphi_A - \varphi_B}{\Delta t} \right) \quad (6)$$

O fluxo magnético pode ser reescrito como a função da densidade de fluxo magnético (B) e da área onde será conduzido (A):

$$\varphi = B \cdot A \quad (7)$$

$$V_o = N \cdot \left(\frac{B_a \cdot A_a - B_b \cdot A_b}{\Delta t} \right) \quad (8)$$

Para calcular a área necessária na equação 8, precisa-se medir o espaço entre a chapa e o núcleo de aço. A área A_a é composta de um retângulo e um triângulo, enquanto a área A_b é basicamente o produto do comprimento do núcleo de aço pelo *gap* entre a chapa e o núcleo.

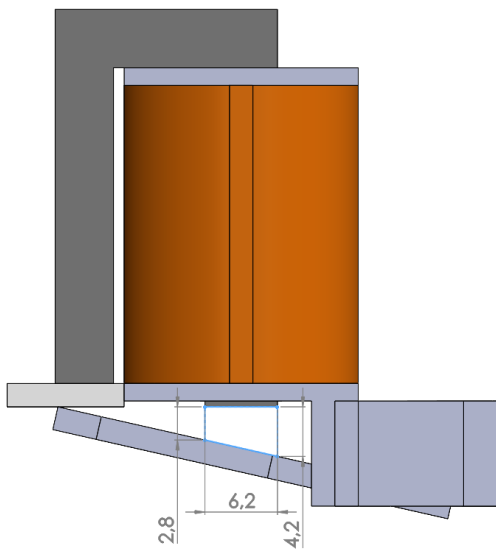


Fig. 5. Área destacada

C. Conversão de energia

Seguindo o conceito de sistema autônomo de energia, os próximos estágios após geração são a conversão e consumo. Na figura 6 é possível visualizar o diagrama de bloco do circuito final deste projeto.

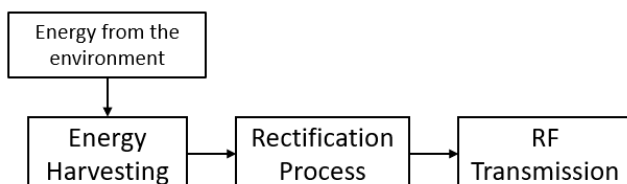


Fig. 6. Diagrama de bloco do sistema proposto

O transmissor de sinal RF precisa de uma tensão CC para a sua correta operação. A geração sozinha, tanto eletromagnética quanto piezoelétrica, não é capaz de suprir esta estabilidade. Para isso é necessário retificar a tensão de entrada.

Como a energia coletada será gerada através do movimento cinético do interruptor, a tensão de saída não é constante e linear. Para isso, uma ponte retificadora de onda completa é usada para transformar o sinal de entrada em um sinal constante para o restante do circuito. Depois disso, um capacitor pode ser usado em paralelo, que tem duas funções: 1) armazenar energia temporariamente e 2) reduzir o *ripple* da saída da ponte retificadora [8].

Entretanto, este circuito não é suficiente para entregar uma potência constante para o circuito transmissor, então uma etapa adicional é necessária. Isso pode ser alcançado usando um regulador de tensão linear [8][9] ou com um diodo Zener.

O regulador de tensão linear, LDO, pode utilizar diversos tipos de transistores e topologias no seu interior, mas o conceito básico dele é que se comporta como um divisor de tensão através de uma resistência variável interna, de forma que a saída de tensão seja sempre constante [10]. Para isso, essa diferença de tensão é dissipada na resistência interna, fazendo com que o circuito aqueça e diminuindo a sua eficiência. A outra possibilidade, o Zener, consegue também manter uma tensão constante em sua saída.

Para este projeto, ambas as soluções são válidas, além de serem mais baratas que outras soluções, como fontes chaveadas, o circuito proposto trabalha com pequenos períodos de geração de energia, então o aquecimento não será um problema.

D. Transmissão RF

No estágio de consumo temos um transmissor de sinal que irá se comunicar com outros receptores. Existem diversos tipos de sinais utilizados em comunicações residenciais, tais como: radiofrequência, infravermelho, Bluetooth e Wi-Fi. Todos esses sinais podem ser encontrados dentro do espectro eletromagnético [12]. Quanto menor a frequência da onda eletromagnética, maior o comprimento de onda e, portanto, um maior alcance e habilidade de penetrar objetos. Radiofrequência é considerada uma onda de rádio e Bluetooth e Wi-Fi uma micro-onda.

TABELA II
Espectro Eletromagnético

	Comprimento de onda	Frequência
Onda de rádio	10m até 100.000 km	3 Hz até 300 MHz
Micro-onda	1cm até 1m	300 MHz até 300 GHz
Infravermelho	10µm até 1mm	300 GHz até 30 THz

Os sinais de Bluetooth e Wi-Fi demandam uma constante fonte de energia para seu correto funcionamento, algo que não é possível de atender com a premissa desse projeto, por causa da fonte de energia escolhida.

O sinal de infravermelho possui uma limitação na aplicação do escopo desse projeto: um obstáculo no caminho entre o

transmissor e o receptor pode impossibilitar a transmissão do sinal. O produto final deste trabalho será montado dentro de um invólucro de plástico e será instalado na parede, seguindo práticas do mercado, adicionando diversos obstáculos entre o transmissor e receptor.

Isto não é um problema no caso do sinal de radiofrequência: cada obstáculo irá reduzir o alcance final do sinal, mas não é um impedimento como no caso do sinal de infravermelho.

O receptor de sinal utilizado neste projeto é um relé interruptor inteligente WEG, que possui uma frequência de operação de 433 MHz e uma codificação 1527 [3]. Então, além do transmissor RF, é necessário também o uso de um codificador de sinal.

E. Dimensional Brasileiro

Para a eventual comercialização do produto, é necessário atender as normas e práticas vigentes no mercado onde será aplicado. O primeiro ponto de atenção é o dimensional. Como a aplicação inicial deste produto é de um interruptor residencial, o tamanho máximo dele precisa atender os valores estabelecidos na norma ABNT NBR 5431:2008 [12].

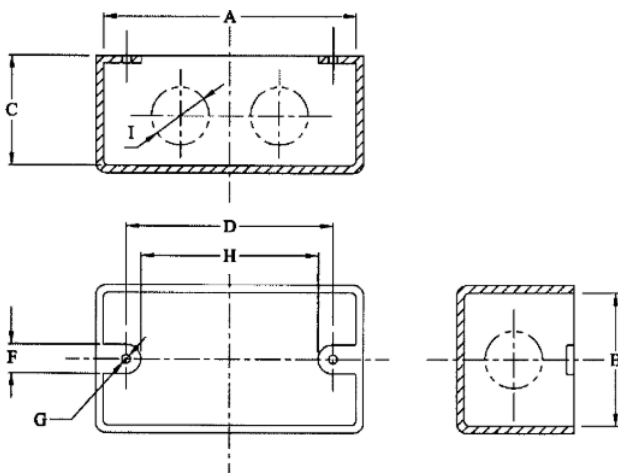


Fig. 7. Dimensional ABNT 5431

Essa norma delimita as dimensões das caixas de embutir residenciais, onde o produto será aplicado, com uma altura máxima de 45mm. Apesar de essa norma não ser mandatória, uma grande parte do mercado a adota.

F. Eletrônica Digital

Os estados baixo e alto de tensão podem ser interpretados como verdadeiros e falsos, os quais são usados na lógica Booleana [13]. Normalmente a maioria dos circuitos integrados utilizam +5V como um estado alto e 0V, ou terra, é considerado o estado baixo. Um número binário é composto de dois dígitos binários, 0 e 1, portanto 5V e 0V representam, respectivamente, 0 e 1. Essa representação de 0 e 1 também é chamada de bits. Entretanto, em um codificador como HT12E [14], essa modulação de 0 e 1 é feita através da variação da largura de pulso: o pulso largo representa o 0 e o pulso curto representa 1, como a figura 8 demonstra.

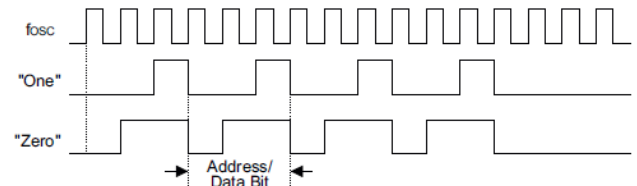


Fig. 8. Forma de onda Address/Data bit do HT12E

Durante essa transmissão de informação, o codificador transmite um bit de sincronização junto com os bits de informação [14]. Isto acontece para que o receptor consiga identificar qual é o início do código transmitido. Então, em um código de 12 bits existem 13 pulsos que requerem cerca de 20 ms para serem transmitidos [9]. Portanto, o número de bits do código é proporcional ao tempo necessário para a transmissão dele.

III. METODOLOGIA E RESULTADOS

Utilizando o software SolidWorks, o protótipo foi projetado de forma a acomodar o gerador e o transmissor junto ao sistema de atuação. O movimento é limitado pelo núcleo de um lado e pela parte plástica no outro. A atuação do circuito será feita através do aperto do botão e com o auxílio de uma mola.

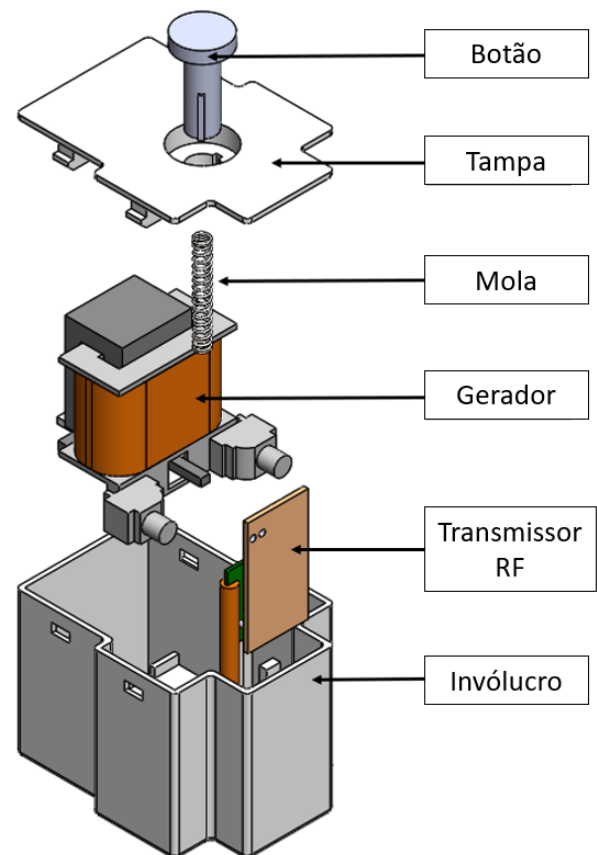


Fig. 9. Projeto 3D do protótipo

Quando o produto estiver com o circuito fechado, a densidade do fluxo magnético no circuito será igual ao do imã. Como mostrado na lei de Faraday, haverá uma tensão induzida

quando ocorrer uma variação do fluxo magnético. Portanto, quando o circuito é aberto a densidade do fluxo magnético irá diminuir enquanto o gap entre a chapa e o núcleo aumentam. Essa variação irá induzir uma tensão na bobina.

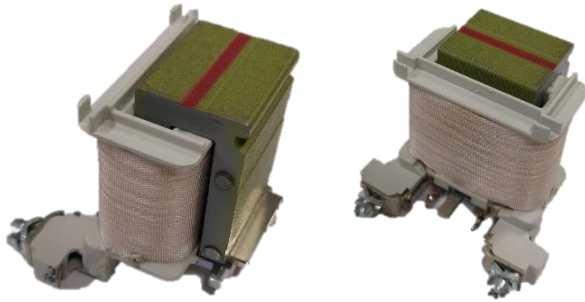


Fig. 10. Gerador coletor de energia

Para este projeto, um ímã de neodímio ferro boro foi usado devido a sua alta força magnética. Na tabela III podem ser observados os valores medidos do ímã através de uma bobina de Helmholtz.

A bobina de Helmholtz é constituída de 2 bobinas similares com o mesmo raio e distantes uma da outra com o mesmo valor do raio. Desta forma um campo magnético uniforme será gerado no centro quando uma corrente elétrica flui pelas bobinas [15]. O ímã é posicionado dentro deste campo magnético uniforme e então o equipamento é calibrado de forma com que o valor do campo magnético medido seja zero. Após, o ímã é retirado de forma paralela a bobina e essa interação entre o ímã e a bobina é medido.

TABELA III
Medição do ímã

Medição	Br (T)
01	2,223
02	2,220
03	2,251
04	2,218
05	2,233



Fig. 11. Bobina de Helmholtz

Os componentes utilizados na construção do protótipo são descritos conforme a tabela IV.

TABELA IV
Informações Construtivas

Descrição	Valores
-----------	---------

Fio da bobina	AWG 33
Número de voltas	2600
Núcleo	Silicon Steel
Chapa	Aço Carbono 1020
Ímã	Neodímio ferro boro
Invólucro	Plástico ABS

Como o modelo 3D desenhado, é possível simular os valores magnéticos utilizando o software Ansys Maxwell. As duas condições analisadas foram a máxima posição aberta e a posição fechada, como mostrado nas figuras 12 e 13. Através dessas simulações foram encontrados os valores médios de B de 1,4T para a posição aberta e 2,2T para a posição fechada.

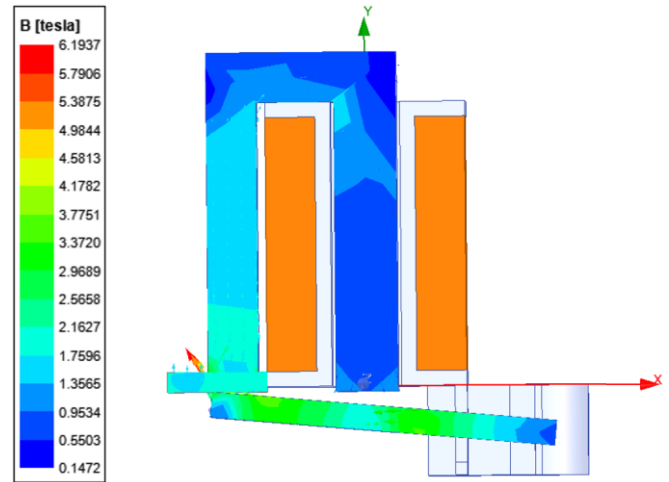


Fig. 12. Simulação do Ansys para posição aberta

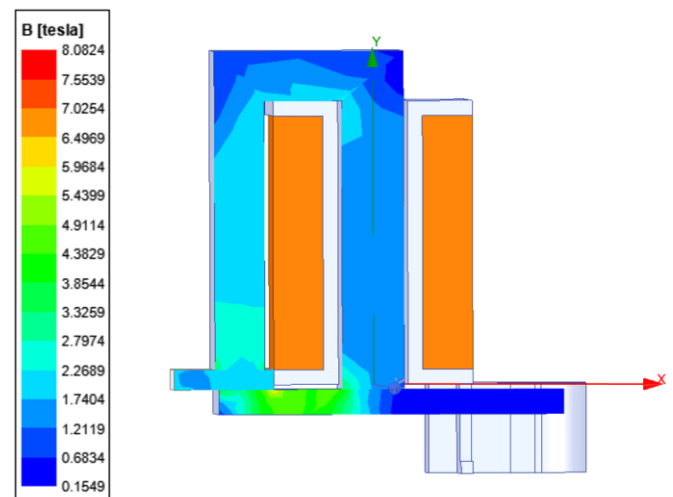


Fig. 13. Simulação do Ansys para posição fechada

No software SolidWorks foi possível mensurar a área por onde o fluxo magnético irá passar, como exemplo na figura 5.

$$A_a = 2,19 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \quad (9)$$

$$A_b = 4,96 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \quad (10)$$

Com as informações do protótipo, como densidade do fluxo magnético encontrado pela simulação realizada no Ansys e

com a área calculada pelo SolidWorks, é possível calcular a tensão de circuito aberto com a equação 11.

$$V_o = N \cdot \left(\frac{B_A \cdot A_A - B_B \cdot A_B}{\Delta t} \right) \quad (11)$$

$$V_o = 2600 \cdot \left(\frac{2.2 \cdot 2.19 \cdot 10^{-5} - 1.4 \cdot 4.96 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-3}} \right) \quad (12)$$

$$V_o = 24,74 \text{ V} \quad (13)$$

A abertura e fechamento do circuito foi medida com o auxílio de um osciloscópio. Na figura 14 é possível visualizar a tensão gerada no movimento de abertura do circuito, enquanto na figura 15 está acontecendo o movimento contrário de fechamento. Como o movimento de abertura é mais controlado, porque existe uma força externa sendo aplicada, a tensão gerada tende a ser mais estável. Mantendo a mesma polaridade das pontesiras do osciloscópio nas medições, um resultado positivo é observado na figura 14 e negativo na figura 15.

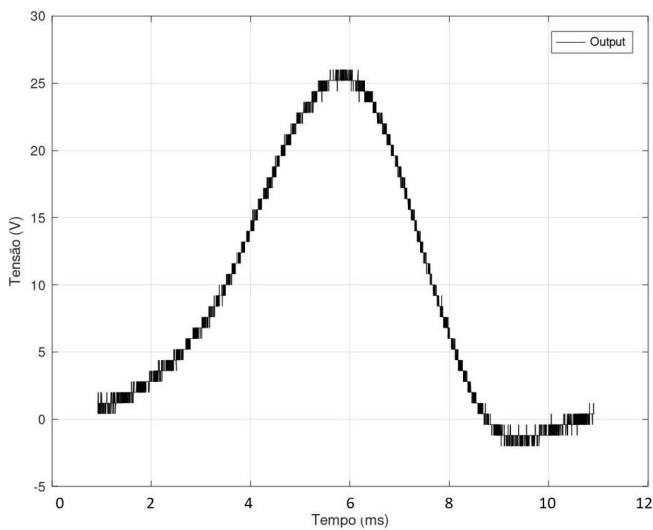


Fig. 14. Tensão de circuito aberto (abertura)

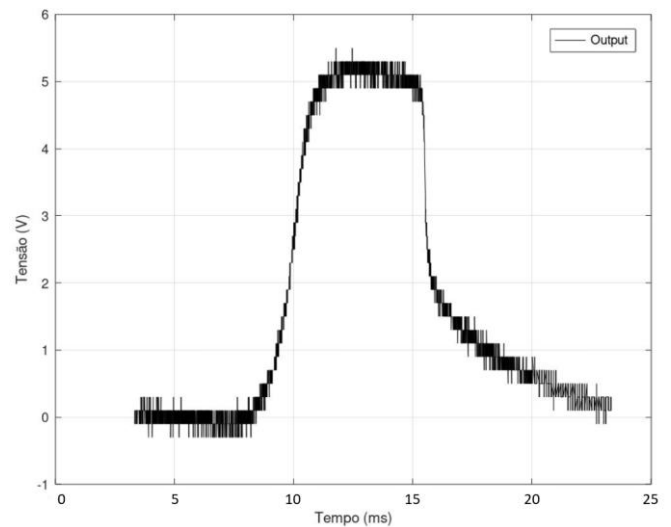


Fig. 16. Tensão retificada

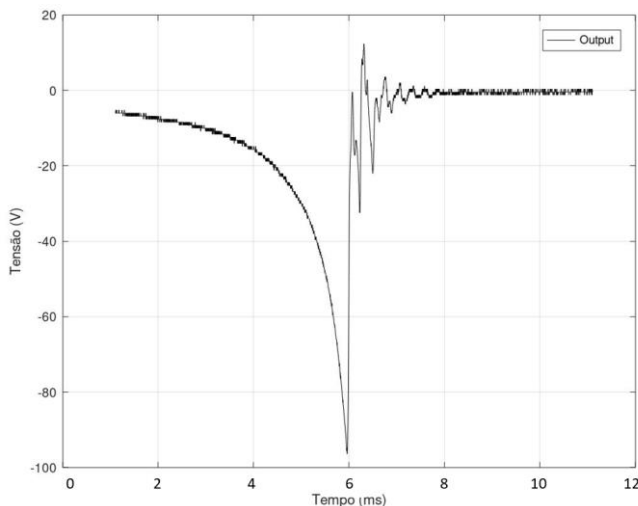


Fig. 15. Tensão de circuito aberto (fechamento)

A tensão medida no osciloscópio está próxima do valor teórico calculado na equação 13, com uma diferença de apenas 3,1%, essa diferença pode ter sido causada pelas aproximações de valores como a área e a densidade de fluxo magnético na equação. Como o transmissor de radiofrequência precisa de apenas 5V para o seu correto funcionamento, isso não se torna um problema.

Primeiramente o regulador linear de tensão foi utilizado, mas não foi possível operar o componente corretamente, pois o LM3940 precisa de uma entrada de tensão bem regulada com um valor máximo de 7,5V.

Para transformar essa tensão de 25V para 5V para o transmissor, foi utilizada uma ponte retificadora de onda completa com a ajuda de um diodo Zener 5339, com uma tensão de saída de 5,6V. O resultado deste circuito pode ser visto na figura 16, onde ele é capaz de prover 5V por aproximadamente 5ms. Esse intervalo de tempo de geração pode ser usado para um sinal de 4-bit, mas para códigos com maiores resoluções, como 12 e 24-bit, um intervalo de tempo maior é necessário. Portanto um sinal de 4-bit foi utilizado neste projeto.

Após testes realizados na protoboard, a versão em PCI do retificador foi desenvolvida no software EasyEDA e então o circuito foi corroido em uma placa de fenolite. Então o circuito transmissor foi soldado junto com o circuito retificado, como mostrado na figura 17.

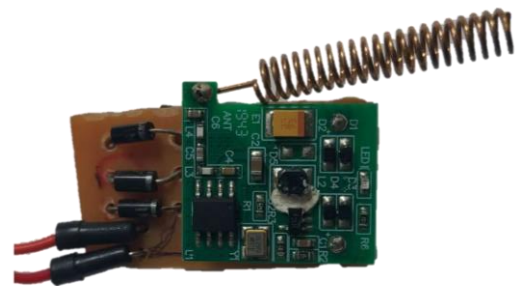


Fig. 17. Circuito de transmissão

O circuito resultante é mostrado na figura 18, onde V_{eh} é a tensão gerada no processo de aperto do botão. Após o gerador converter a energia mecânica do movimento em energia elétrica, a ponte retificadora de onda completa transforma essa tensão em CC. O diodo Zener tem a função de suprir uma tensão constante para o transmissor.

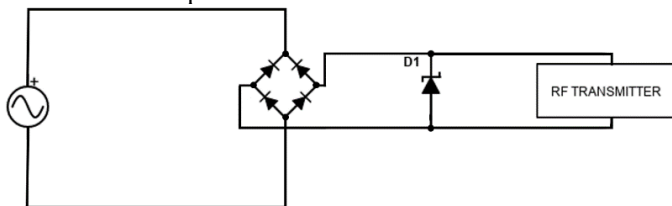


Fig. 18. Esquemático do circuito

Com a versão final do gerador eletromagnético e o transmissor RF, o invólucro plástico foi projetado no SolidWorks e impresso em uma impressora 3D, como mostrado na figura 19. Além da proteção do circuito, esse invólucro tem o objetivo de facilitar a atuação do circuito.



Fig. 19. Invólucro 3D impresso

Com a montagem final, como mostrado na figura 20, testes práticos mostraram um alcance máximo de 4,5 metros. O transmissor e o receptor foram posicionados em uma superfície planada e o transmissor foi deslocado em linha reta, com passos de 25cm, até o momento que o receptor parou de funcionar.



Fig. 20. Montagem do produto final

IV. CONCLUSÕES

Este projeto mostrou que um simples gerador eletromagnético pode ser utilizado para energizar um transmissor de radiofrequência. Em vez de utilizar um regulador de tensão linear após a retificação da tensão de entrada, como em outros trabalhos [8][9], o uso do diodo Zener provou ser uma alternativa válida e efetiva, além de barata.

Dimensionalmente, o protótipo atendeu os valores máximos de altura e largura estabelecidos pela norma brasileira [12]. Entretanto, é importante que o produto final seja reduzido para que ele caiba na caixa de embutir junto com outros produtos e cabos. Neste sentido, existe espaço para melhorias, para qual é sugerido duas possibilidades: reduzir o tamanho da bobina e do núcleo e também integrar o circuito eletrônico junto ao gerador.

Com o transceptor de radiofrequência utilizado, o capacitor não foi necessário pois ele gera um sinal de 4-bit. Entretanto, o relé inteligente interruptor WEG utiliza um sinal de 24-bit, e para isso o sinal precisa durar pelo menos 20 ms para ser transmitido. Com o circuito construído é possível gerar energia suficiente para um sinal de 4-bit, porém para um sinal de 24-bit o tempo de geração de energia precisa ser maior. Portanto, para esse tipo de aplicação, um capacitor é necessário para acumular e liberar essa energia de uma forma lenta.

Logo, esse trabalho abre caminho para trabalhos futuros com as seguintes melhorias: 1) redução do tamanho da bobina e do núcleo; 2) integração do circuito eletrônico no gerador e 3) utilização de um capacitor para geração de um período maior de tempo. Neste sentido, pode ser considerado que o protótipo suporta o uso de energy harvesting como uma técnica pertinente de geração de energia, da qual é uma importante diretriz para pesquisas de engenharia em todos os lugares, além de demonstrar que é compatível com aplicações inteligentes.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer todo o povo brasileiro que financiou os meus estudos em uma instituição pública através dos seus impostos ao longo dos anos. A empresa WEG, representada pelo Leonardo Vetore, que me ajudou durante toda a graduação com recursos e flexibilidade de tempo.

Agradeço a todos os professores do IFSC que me ensinaram todas as magias da eletricidade e me mostraram como aprender algo novo e alcançar os meus sonhos. Agradeço o orientador deste trabalho, Pablo Silva, e especialmente o professor Jens Passoke, da universidade de Hannover que aceitou com prazer a tarefa de ajudar neste trabalho.

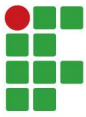
Por último, mas não menos importante, a Sarah Orthmann que em todos esses anos me ouviu e me ajudou a superar todos os desafios. Eu sei que sem ela eu não estaria terminando este bacharel.

REFERÊNCIAS

- [1] REBOUÇAS, Eduardo P.. Análise do Mercado de Casas Inteligentes no Brasil: Uma pesquisa exploratória por



- meio de *Surveys*. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil, 2020.
- [2] KILNER, John A., SKINNER, Stephen J., et al. *Functional materials for sustainable energy applications*. Woodhead Publishing, 2012.
- [3] WEG, “Manual de produto: relé inteligente WEG Home”, 2021. [Online]: Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h45/hcc/weg-whome-manual-rele-interruptor-wi-fi-rf-pt.pdf>
- [4] SWINGLER, Jonathan. *Piezoelectric Energy Harvesting: Methods, Progress and Challenges*. Momentum Press Engineering, 2018.
- [5] SAZONOV, Edward. *Wearable Sensors: Fundamentals, Implementation and Applications*. 2 ed, editora.
- [6] J. C. C. Pereira, Fundamentos da Análise de Sistemas Dinâmicos, Edufsc, 1º Edição, Florianópolis, 2018.
- [7] UMANS, Stephen D. Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley. 7 ed. Porto Alegre : AMGH, 2014.
- [8] Y. K. Tan, K. Y. Hoe and S. K. Panda, "Energy Harvesting using Piezoelectric Igniter for Self-Powered Radio Frequency (RF) Wireless Sensors," *2006 IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2006, pp. 1711-1716, doi: 10.1109/ICIT.2006.372517.
- [9] J. A. Paradiso, M. Feldmeier, "A Compact, Wireless, Self-Powered Pushbutton Controller" Abowd, G.D., Brumitt, B., Shafer, S. (eds) *UbiComp 2001: Ubiquitous Computing*. UbiComp 2001. Lecture Notes in Computer Science, vol 2201. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [10] Instituto Newton Braga, “Como funciona os LDOs (ART767), 2012. [Online]. Available: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6102-art767.html>
- [12] SUELA, Faiossander. *Medição de Ruídos Eletromagnéticos Irrradiados em Sistemas de Geração Fotovoltaica*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil 2016.
- [12] ABNT NBR 5431:2008 Caixas e invólucros para acessórios elétricos para instalações elétricas fixas e domésticas e análogas – Dimensões.
- [13] SCHERZ, Paul., MONK Simon. *Practical Electronics for Inventors*. McGraw Hill TAB, 4th edition, 2016.
- [14] FARNELL, “HT12A/HT12E 2¹² Series of Encoders”. Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1899539.pdf>
- [15] M. Saqib, N. S. Francis and N. J. Francis, “Design and Development of Helmholtz Coils for Magnetic Field” *2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059109.
-



UTILIZATION OF ENERGY HARVESTING ON THE ACTUATION OF A RADIOFREQUENCY TRANSMITTER FOR RESIDENTIAL APPLICATIONS

Marcos Felipe Danna¹, Pablo Dutra da Silva², Jens Passoke³

¹Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul Rau, Jaraguá do Sul – SC, Brasil

²Instituto Federal de Santa Catarina – Campus Jaraguá do Sul Rau, Jaraguá do Sul – SC, Brasil

³Hochschule Hannover – University of Applied Sciences and Arts, Hannover - Germany

e-mail: marcos.danna@gmail.com, pablo.silva@ifsc.edu.br, jens.passoke@hs-hannover.de

Trabalho de Conclusão de Curso – TCC – 04/07/2022

Abstract – The aim of this project is to propose a way of energizing a transmitter circuit in a non-conventional way: using energy harvesting of kinetic movement. Among all ways of harvesting energy, the focus is on the electromagnetic generation, especially through an electromagnetic coil. The choice of this solution is because of the easy access of the material and simplicity of production. The energy harvested from the kinetic movement is enough to supply the radiofrequency transmitter and, thus, activate it.

Keywords – Energy Harvesting, Smart home, Smart Switch, Radiofrequency, Magnet, Electromagnetic Coil.

I. INTRODUCTION

All residences have plugs and switches inside, so that they are more comfortable and functional for their users. With the advance of technology for electronics fabrication and bigger access to quality internet, there has been an increase in smart products. These products have similar functionalities as the regular equipment, but with the feature of being able to connect to the internet and be managed by the cloud from anywhere in the world [1].

Therefore, there is a great demand for smart products with residential applications nowadays. A global market of US\$175 billion is expected for such in 2025, and US\$2,2 billion of that amount represent the market only in Brazil [1]. However, even with the growth of smart products, it is still necessary to have solutions where the consumer can physically touch and control their application. The conveniences of control by smartphone or voice does not replace the traditional touch to activate. However, this physical interface usually requires a lot of wiring, or the use of batteries. Both have disadvantages, such as cost and complexity of the wiring and maintenance of the batteries, which requires periodic replacement or recharging.

On Brazilian residences, the electrical installations are made by built-in boxes. Normally, this box only has one phase and a return to a lamp, which is required for this application. There aren't any neutral cables on the box. This is a problem for smart products once they require a phase and neutral cable to supply the circuit, so that it can be always functional and communicate with the server in the cloud. One possibility is to use a smart relay next to the lamp, where there are all the cables necessary: phase, neutral and return.

Hence, a solution in which the use of wiring or batteries is not needed would be great for this kind of application. In the

following, we show that this can be achieved by harvesting the energy from the environment where it is installed.

The Energy Harvesting technique has started to get momentum in the last years. Thanks for the technological advances, now it is possible to use this technique to supply electronic circuits of communication, using energy from the ambient, that would otherwise be wasted [2].

There are a lot of ways to generate energy through energy harvesting, from simple mechanic movements to complex harvesting like radiation. So, when the product is being developed, it is important to analyze the environment for possible ways of capturing energy. When it comes to harvesting energy inside a residence, it is safe to admit that solar radiation will be less available than mechanical movements of people, such as walking and touching. In that sense, the choice of where to harvest energy from, in a specific environment, is crucial.

The aim of this paper is to develop a lighting switch that can generate energy for its circuit through the mechanical movement in the switching process of On and Off. This energy must be enough to power a radiofrequency transmitter, that will communicate with a smart relay, which in turn will be responsible for turning the load (for instance a lamp, a common load found in residences) on and off. The generation of this energy will be achieved through an electromagnetic solution. This energy will be rectified, temporally storage and used to power a transmitter circuit of radiofrequency signals at 433 MHz, a standard used by WEG [3].

After, the prototype will be miniaturized as the minimum possible in our context, considering commercial applications. It is expected, at the end of this project, a functional and economically viable product designed for residential use with the supply of a smart relay.

On section II, the theoretical foundations needed for the development of this project are presented. Section III presents the methodology and materials used and, finally, on section IV the results obtained on fabrication and test of the product are discussed.

II. THEORETICAL BACKGROUND

An autonomous energy system is constituted of three stages: generation, conversion and consumption [4]. On this paper the generation will be obtained with the Energy Harvesting technique, then converted to a constant DC voltage that will be consumed by a radiofrequency transmitter circuit. This product will be made on a printed circuit board (PCB), so that it will be a self-powered RF switch as a final product.

Because of this concept of self-powered product, the selection of the source of energy is very important. It must be enough for the transmitter but needs to be easily available.

A. Energy Harvesting

Energy harvesting is a way of energy generation that uses elements from the environment that are not explored by conventional ways. There are many elements that can be used to generate energy with EH, as:

- Radiation (light, solar, electromagnetic)
- Thermal
- Mechanic (potential, kinetic)
- Chemical (battery, energy cells)
- Nuclear
- Magnetic
- Electric

Taking advantage of these existing energies makes the energy harvesting a clean and renewable source of energy, with a high durability, thanks to the low maintenance and the availability of the energy. Due to the quantity of elements that can be harvested and the ways it can be done, products utilizing energy harvesting have a large array of application possibilities when compared to traditional sources of power.

As mentioned beforehand, the local of installation of the products considered is inside a residence. Depending on numerous factors such as layout of the house or whether the weather is good, the incident sunlight may vary in a way that it becomes inviable to develop an energy harvester with this solution. The thermal solution has similar issues like local of application and weather, besides the fact that typical efficiency for thermoelectric generators is less than 1% with a temperature gradient under 40°C [5].

Therefore, the source energy chosen for this study is mechanical energy, specifically kinetic energy. For this kind of application, there are three generation mechanisms [5]: electromagnetic, piezoelectric and electrostatic. Once it will require movement, it can be represented as a system with 1 degree of liberty, with the following discrete elements: a mass m , a viscosity damping with constant c and a spring constant k [6], as shown in the figure below:

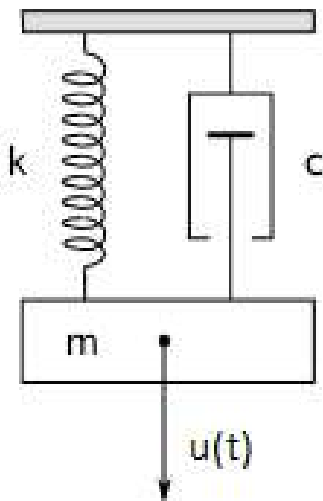


Fig. 1. Mass-spring-damper model

1) *Electromagnetic*: The Faraday's law of electromagnetic induction states that any change in the magnetic field inside a coil will induce a voltage, known as the electromotive force (f_{em}). It can be calculated as a function of a constant K , which depends on the number of turns of the coil, length, area, shape and strength of the magnetic field [4], in addition to the variation of movement in the Z axis over time:

$$f_{em} = K \cdot \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

An electromagnetic generator can be represented through the circuit of figure 2, where R_C is the coil resistance, R_L is the load resistance and L_C is the coil inductance.

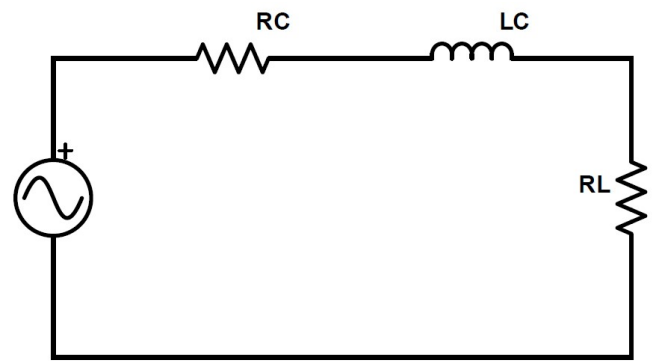


Fig. 2. Electromagnetic generator diagram

The open circuit voltage can be determined as a function of the number of turns of the coil (N), the magnetic induction (B), the length of the winding (l) and the distance between the magnetic core and the coil (x).

$$V_{oc} = N \cdot B \cdot l \cdot \frac{dx}{dt} \quad (2)$$

2) *Piezoelectric*: Due to the molecular structure of piezoelectric crystals, applying a force to the crystal causes a mechanical stress that electrically polarizes the material, separating the charges internally and ultimately resulting in an electrical voltage [2]. The ratio of polarization (P) to the mechanical stress caused (σ) is called the piezoelectric coefficient (d):

$$d = \frac{P}{\sigma} \quad (3)$$

There are several materials that have piezoelectric characteristics, but the group of ferroelectrics are the most popular for power generation applications. One of the most used piezoelectric materials is lead zirconate titanate (PZT). Some advantages of this material are the high dielectric constant ($\epsilon_r = 1700$) and the high piezoelectric coefficient [2]. Another example of a piezoelectric material is polyvinylidene fluoride (PVDF) which is used in applications that require greater mechanical flexibility and optical transparency [4].

Figure 3 shows a circuit diagram of a piezoelectric generator, where R_s is the resistance of the piezoelectric material, C is the capacitance and R_L is the load resistance:

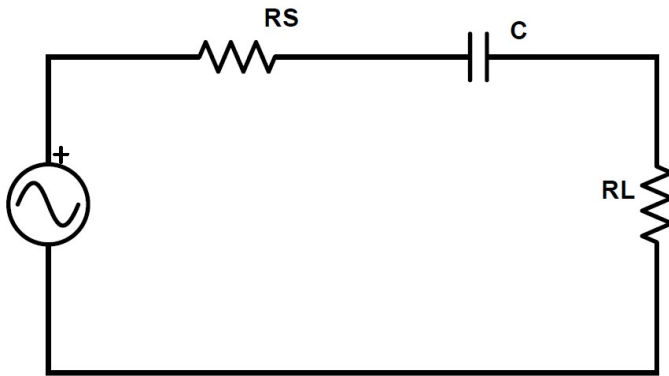


Fig. 3. Piezoelectric generator diagram

3) *Electrostatic*: This generation mechanism takes advantage of the operating characteristic of a capacitor. A capacitor consists of two conducting plates, which accumulate electrical charges, separated by a dielectric. When pressing these plates, the dielectric decreases and the charges have more freedom to move between the plates.

Due to the need to energize the capacitor plates for its operation, this mechanism is not viable for the purpose of this work, since its premise is not to need a constant power supply, external or internal.

4) *Comparative*: A comparison found in the literature [4] can be found in table 1.

TABEL I
Energy density of mechanisms

	Theoretical (mJ/cm ³)	Practice (mJ/cm ³)
Electromagnetic	400	24,8
Piezoelectric	335	35,4
Electrostatic	44	4

It is possible to see that the electromagnetic and piezoelectric proposals have energy density higher than the electrostatic one. Electromagnetic has been chosen because it is cheaper and easier to be mass produced.

B. Topology used

For this project, the topology utilized is the same as the figure 4, where the core is in “U” shape, with a magnet attached in one side and a plate that will open and close the circuit. This movement will generate a change in the magnetic field.

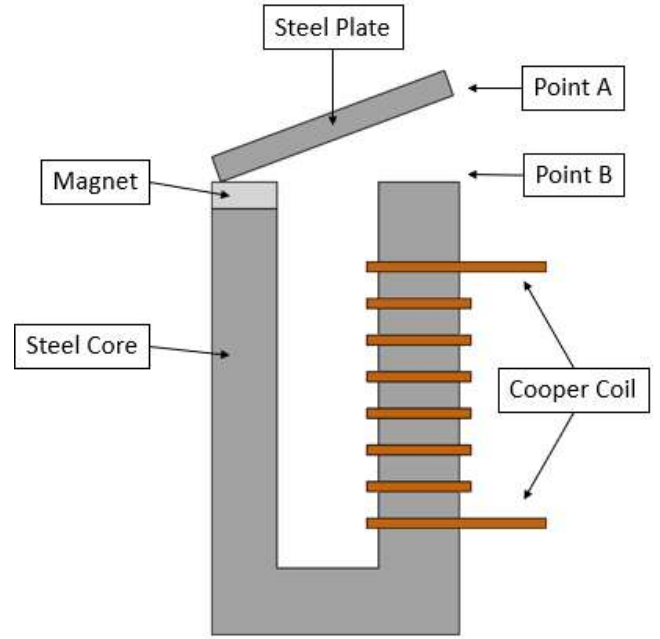


Fig. 4. Cross-section view of the “U” topology

Consequently, as expressed in Faraday’s law, there will be a voltage induced in the coil. The voltage generated depends on the variation of the magnetic flux (φ) in time (t) [7]:

$$V_o = \frac{d\varphi}{dt} \quad (4)$$

The variation of the magnetic flux can be written as the flux in point A, with the circuit closed, minus the flux in point B with the circuit totally open, as shown in figure 4:

$$V_o = \frac{\varphi_A - \varphi_B}{\Delta t} \quad (5)$$

With an increase in the number of points analyzed, it is possible to be more accurate with the voltage value encountered.

This magnetic field generated by the magnetic flux will interact with the coil in the circuit. Therefore, the equation 5 needs a correction to take this into account, thus the term N is added:

$$V_o = N \cdot \left(\frac{\varphi_A - \varphi_B}{\Delta t} \right) \quad (6)$$

The magnetic flux can be rewritten as the function of the magnetic flux density (B) and the area of where will be conducted (A):

$$\varphi = B \cdot A \quad (7)$$

$$V_o = N \cdot \left(\frac{B_a \cdot A_a - B_b \cdot A_b}{\Delta t} \right) \quad (8)$$

To calculate the area needed on equation 8, we need to measure the space between the steel plate and the steel core.

Area A_a is the rectangle and triangle, whereas area A_b is basically the product of the length of the steel core by the gap.

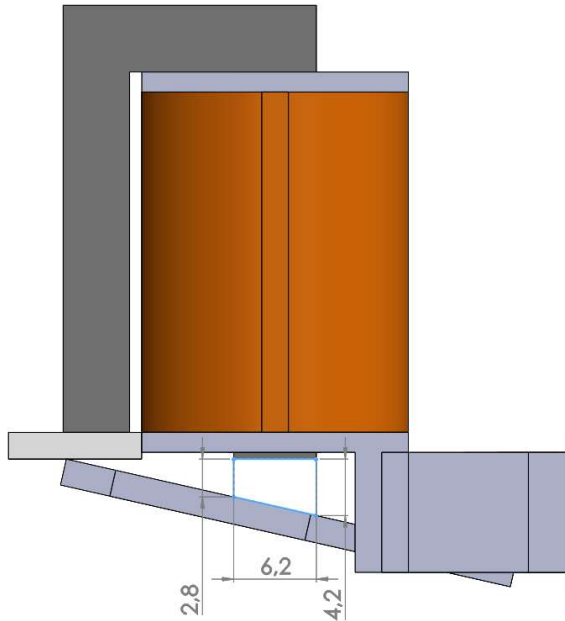


Fig. 5. Highlighted area

C. Energy conversion and storage

Following the autonomous energy system concept, the next stages after generation are conversion and consumption. In figure 6 we have the block diagram of what the final circuit of the prototype will look like.

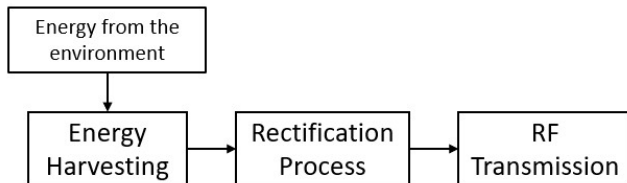


Fig. 6. Block diagram of the proposed system

The RF signal transmitter needs a DC voltage value for its correct operation. Generation alone, both electromagnetic and piezoelectric, is not capable of supplying such stability. This requires rectifying the input voltage, then temporarily storing this energy for use.

As the energy harvested will be generated through the kinetic energy of the switch, its output signal is not constant and linear. For this, a full-wave bridge rectifier is used to transform the input signal into a constant signal for the circuit. After that, a capacitor is used in parallel, which has two functions: 1) to temporarily store the generated energy and 2) to reduce the ripple of the bridge rectifier output [8].

However, this circuit is not enough to deliver constant power to the transmitter circuit, so an additional step is necessary: using a linear voltage regulator, or low dropout (LDO) [8][9]. This type of circuit can use diverse types of transistors and topology inside, but the concept is that it acts as a variable resistor, which adjusts the internal voltage

division so that the output voltage is always constant [10]. For this, the voltage difference is dissipated in this internal resistance, causing the circuit to heat up and not be as efficient compared to other types of sources. Other possible solution is the use of a Zener diode to sustain a constant output voltage.

For this project both solutions are valid, as in addition to being cheaper than other solutions, like a switched-mode power supply, the proposed circuit works with very short power generation intervals and heating will not be a problem.

D. Transmission RF

In the consumption stage we have a signal transmitter that will communicate with other receivers. There are several types of signals used in residential communications, such as: radio frequency, infrared, Bluetooth and Wi-Fi. All of those signals can be found inside the electromagnetic spectrum [12]. The lower the frequency of an electromagnetic wave, the longer the length of the wave, hence a longer range and ability to pass through obstacles. Radiofrequency is considered a radio wave and Bluetooth and Wi-Fi are microwaves.

TABEL II
Energy density of mechanisms

	Wavelength	Frequency
Radio waves	10 m to 00.000 km	3 Hz to 300 MHz
Microwaves	1cm to 1m	300 MHz to 300 GHz
Infrared	10µm to 1mm	300 GHz to 30 THz

Bluetooth and Wi-Fi signals demand constant energy for their correct functioning and communication, which is not possible to meet with the premise of this project, because of the energy source chosen.

The infrared signal has a limitation in the application of the scope of this project: if there is an obstruction in the path between the transmitter and receiver, the signal will not be received/transmitted. And on this project the final product will be used inside a plastic involucre following market practices.

In the case of the radio frequency signal, it does not present a problem in this regard: each obstacle will reduce the maximum range of the signal, but it is not an impediment as in infrared.

The signal receiver used in this project is a WEG Intelligent Switch Relay, which has an operating frequency of 433 MHz and a coding of 1527 [3]. So, in addition to the radio frequency transmitter, it is necessary to use a signal decoder.

E. EMC testing and standards

For the eventual commercialization of the product, it is necessary to pay attention to the regulations in force in the market where it will be applied. The first point of attention is the dimensional. As the initial application proposal for this circuit is a residential switch, the maximum physical size of the circuit must meet the standards established in ABNT NBR 5431:2008[12].

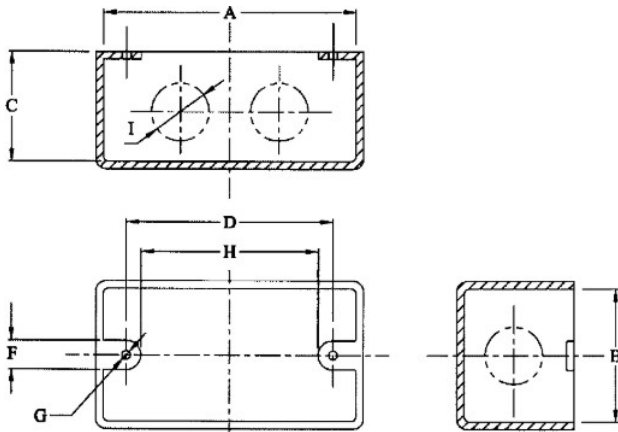


Fig. 7. Dimensional wallbox ABNT 5431

This standard delimits the dimensions of the built-in boxes used in homes, where the product will be applied, with a maximum internal height of 45mm. Although this standard is not mandatory, a large part of the market adopts it.

F. Digital Electronics

The high and low states of voltage can be represented as true and false statements, which are used in Boolean logic [13]. Usually, most integrated circuits uses +5V as high and 0V, or ground, is considered low. A binary number is composed of two binary digits, 0 and 1, therefore the 5V and 0V represents 0 and 1. This representation of 0 and 1 is also called bits. However, in an encoder, like the HT12E [14], these modulations of 0 and 1 are made by a large pulse for 0 and short pulse for 1, like the figure below.

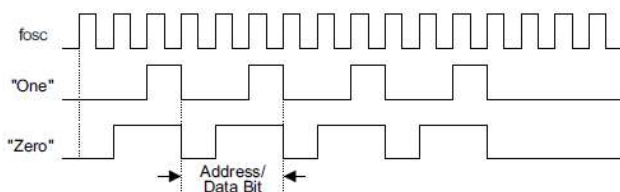


Fig. 8. Address/Data bit waveform HT12E

During information transmission, the encoder transmits these bits with a preceding synchronization bit [14], this happens so that the receiver can identify the start of the code. So, in 12-bit code, there are 13 pulses that require 20ms to be transmitted [9]. Hence, the number of bits of the code is proportional to the time required for transmission.

III. METHODOLOGY AND RESULTS

Using SolidWorks, the prototype was designed to be wound and at the same time support the magnet inside. The movement of the plate is limited by the core at the top and by the plastic at the bottom. The actuation of the circuit will be made by a mechanical push on a spring.

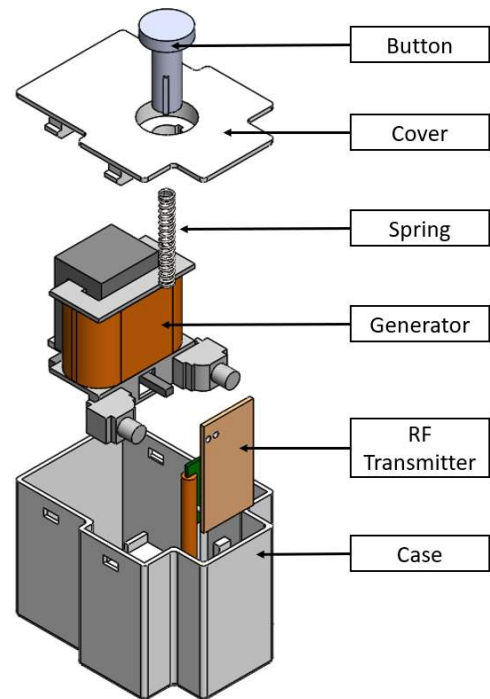


Fig. 9. 3D project of the prototype

When the product has the circuit closed, the magnetic density flux is equal to the magnet. As stated in Faraday's law, there will be an induced voltage when there is a variation of the magnetic flux. Hence, when the circuit is open, the magnetic flux of the core will decrease as the gap between the plate and core increase. This variation will induce a voltage on the cooper coil.



Fig. 10. Electromagnetic harvester

For this project, a neodymium iron boron magnet was used because of its high magnet force. In table III are the results of the measurements realized on the magnet by a Helmholtz coil.

This Helmholtz coil is constituted of 2 similar coils with same radius placed in the same distance. Therefore, a uniform magnetic field at the center is generated when there are current in the coil [15]. The magnet is positioned inside this uniform magnetic field, then the equipment is calibrated in a way that a zero value of magnetic field is measured. After that, the magnet is withdrawn parallel to the coil and this interaction between the magnet and the coil is measured.

TABEL III
Magnet Results

Sample	Br (T)
01	2,223
02	2,220
03	2,251
04	2,218
05	2,233



Fig. 11. Helmholtz coil

The components utilized on the construction of the prototype are shown in the table IV.

TABEL IV
Constructive information

Description	Value
Coil	AWG 33
Number of turns	2600
Core	Silicon Steel
Steel plate	Carbon Steel 1020
Magnet	Neodymium iron boron
Case	ABS Plastic

With this model drawn, it was possible to simulate the magnetic values using Ansys Maxwell. The two conditions analyzed was the maximum open position and the closed position, as show in figures 12 and 13. Through this simulation it was found the mean B is $1.4T$ for the open position and $2.2T$ for the closed position.

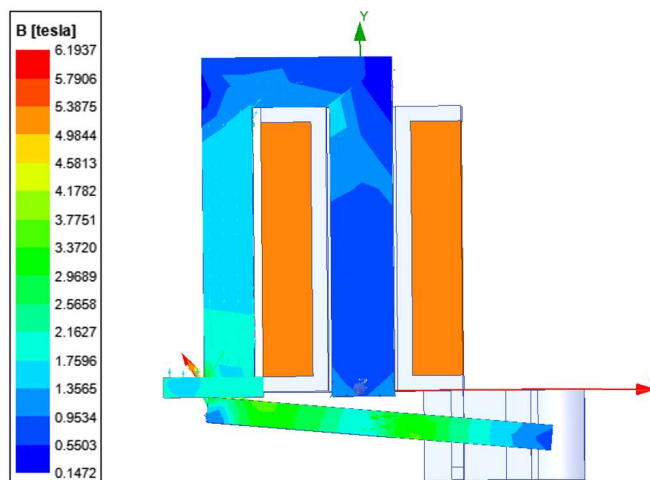


Fig. 12. Ansys simulation for open position

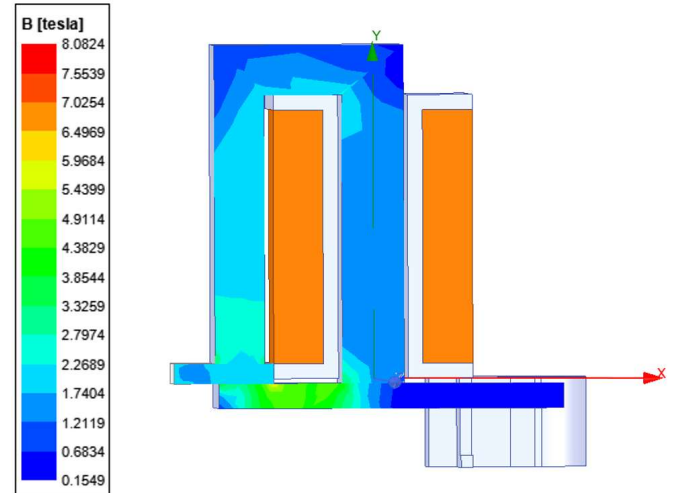


Fig. 13. Ansys simulation for closed position

In the software SolidWorks it was possible to measure the area where the magnetic flux will pass.

$$A_a = 2,19 \cdot 10^{-5} m^2 \quad (9)$$

$$A_b = 4,96 \cdot 10^{-7} m^2 \quad (10)$$

With the information of the prototype, like the magnetic density flux that was found by the simulation in Ansys and the area by SolidWorks, it is possible to calculate voltage using equation:

$$V_o = 2400 \cdot \left(\frac{B_A \cdot A_A - B_B \cdot A_B}{\Delta t} \right) \quad (11)$$

$$V_o = 2600 \cdot \left(\frac{2.2 \cdot 2.19 \cdot 10^{-5} - 1.4 \cdot 4.96 \cdot 10^{-7}}{5 \cdot 10^{-3}} \right) \quad (12)$$

$$V_o = 24,74 V \quad (13)$$

The opening and closing of the circuit was measured by an oscilloscope. In figure 14 it is possible to see the voltage generated as the circuit is opening and in figure 15 the contrary movement is happening. As the opening movement is softer than closing, because there is an external force been applied, the voltage generated tends to be more stable. Maintaining the polarity of the oscilloscope in both measures, a positive result is observed in figure 14 and a negative result in figure 15.

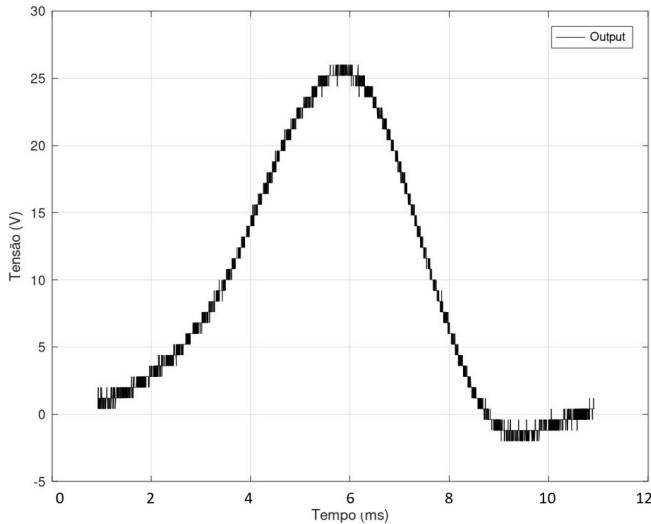


Fig. 14. Open circuit voltage (opening)

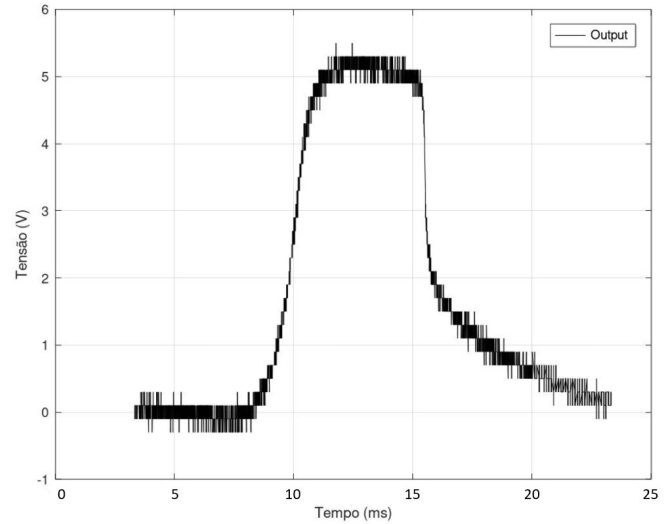


Fig. 16. Rectified voltage

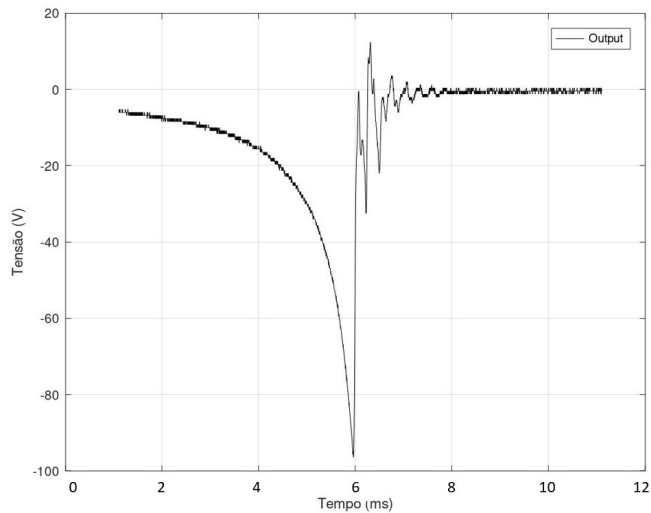


Fig. 15. Open circuit voltage (closing)

The voltage measured on oscilloscope was close as the calculated in equation 13, with a difference of just 3.1%, this difference can be caused for approximations in values like area and magnetic flux density on the equation. Since the radiofrequency transmitter needs only 5V to function correctly, it does not present a problem, though. At first a linear voltage regulator was used, but it didn't work correctly because this component, LM3940, needs an input well-regulated and supports the maximum value of 7.5V.

To process the open voltage of 25V to the 5V needed on the transmitter, it was used a full bridge rectifier with a Zener diode 5339, with an output voltage of 5.6V. The result can be seen on figure 16, and the circuit can provide 5V for 5ms. This time interval can be used for a 4-bit code, but for a code with more resolution, as 12 or 24-bit, a wider time window is needed. Hence a 4-bit code was used.

After the test using the protoboard, the PCB version of the rectifier circuit was developed in EasyEDA and the circuit was corroded on a phenolite board. Then, the transmitter circuit was welded together with the rectifier circuit, as figure 17.

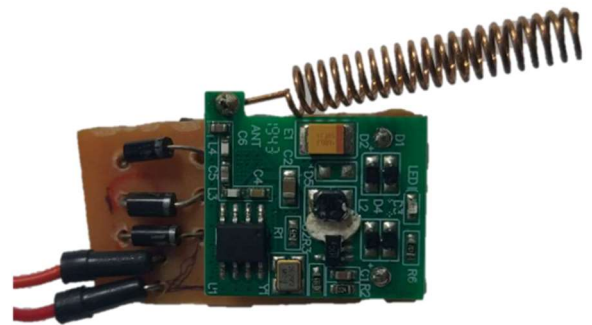


Fig. 17. RF transmitter circuit

So, the resulting circuit is showed in figure 18, where V_{eh} is the generated voltage by the process of pressing the button. After the generator converts the mechanical energy of the movement in electrical energy, the full bridge rectifier transforms this on a CC voltage. The Zener diode has the function of supplying a constant CC voltage to the transmitter, given that the generated voltage of figure 16 is more than what can be supported by the transmitter. So, the Zener diode supplies only the value needed for the transmitter.

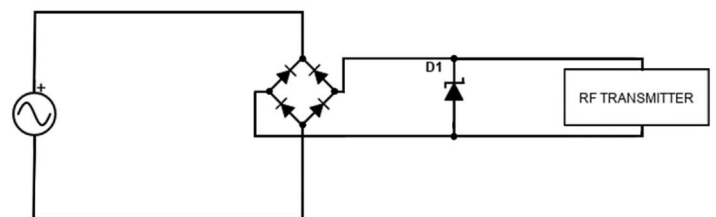


Fig. 18. Circuit schematic

With the construction of the electromagnetic generator and the RF transmitter, the plastic casing was designed on SolidWorks to be impressed on a 3D printer, as shown in

figure 19. Besides the protection of the circuit, this casing has the aim to facilitate the actuation of the circuit.

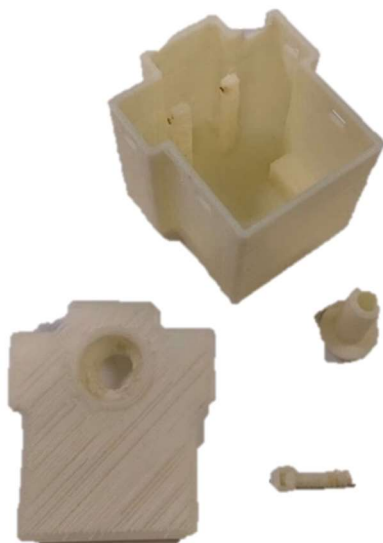


Fig. 19. 3D printed sample

With the final assemble of prototype, as shown in image 20, practical tests showed that the maximum range of transmission was 2 meters. The receiver and transmitter were positioned on a table and the transmitter was dislocated in a straight line, with steps of 25cm, until the receiver stopped working.



Fig. 20. Final product assembled

IV. CONCLUSIONS

This project showed that a simple electromagnetic generator can be used to power a radiofrequency transmitter. Instead of using a linear voltage regulator for the rectification of the signal of the generator, as in previous works [8] [9], the use of a Zener diode proved to be effective, and looking through the costs, it is cheaper.

Dimensionally, the prototype met the minimum internal height and width size established by the Brazilian standard [12]. However, it's important that the final product is reduced to fit with cables and other products inside a built-in box. In that sense, there is room for improvement, for which we suggest two possible alternatives: reducing the size of the

coil/core part and integrating the electronic circuit on the generator.

With the radiofrequency transceiver used, the capacitor was not needed, because it generates a 4-bit code. WEG's smart relay, instead, uses a 24-bit code, and this signal needs at least 20 ms to be transmitted. The used circuit makes it possible to generate enough energy to transmit a 4-bit code, but for a 24-bit code the duration of the voltage generated needs to be wider. Therefore, for that kind of application, a capacitor is needed, being able accumulate energy and release it slowly.

Hence, the present paper paves the way for future work that carries on suggested improvements: 1) reducing the size of the coil/core part; 2) integrating the electronic circuit on the generator and 3) utilizing a capacitor to generate voltage for a wider period of time. In that sense, it can be considered that the prototype supports the use of energy harvesting as a pertinent technique to improve energy seizing, which is an important guideline for engineering research everywhere, and shows that it is also compatible to smart solutions.

ACKNOWLEDGMENTS

I would like to thank Brazilian people who financed my studies in a public institution with their taxes over the years. The WEG company, represented by Leonardo Vetore, that helped me during my entire graduation with time flexibility and resources.

I am grateful for all the teachers at IFSC who taught me all the magic of electricity and showed me how to learn something new and to achieve my dreams. Specially for my guiding teacher for this project, Pablo Silva, and for Jens Passoke, from Hannover University, who gladly accepted the task of helping on this project.

Last but not least, to Sarah Orthmann who all these years listened and helped me get through all the challenges. I know that without her I would not be finishing this bachelor.

REFERENCES

- [1] REBOUÇAS, Eduardo P.. Análise do Mercado de Casas Inteligentes no Brasil: Uma pesquisa exploratória por meio de *Surveys*. Dissertação de Mestrado, Centro Universitário SENAI CIMATEC, Salvador, Brasil, 2020.
- [2] KILNER, John A., SKINNER, Stephen J., et al. *Functional materials for sustainable energy applications*. Woodhead Publishing, 2012.
- [3] WEG, "Manual de produto: relé inteligente WEG Home", 2021. [Online]: Available: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h45/hcc/weg-whome-manual-rele-interruptor-wi-fi-rf-pt.pdf>
- [4] SWINGLER, Jonathan. *Piezoelectric Energy Harvesting: Methods, Progress and Challenges*. Momentum Press Engineering, 2018.
- [5] SAZONOV, Edward. *Wearable Sensors: Fundamentals, Implementation and Applications*. 2 ed, editora.

- [6] J. C. C. Pereira, Fundamentos da Análise de Sistemas Dinâmicos, Edufsc, 1º Edição, Florianópolis, 2018.
- [7] UMANS, Stephen D. Máquinas Elétricas de Fitzgerald e Kingsley. 7 ed. Porto Alegre : AMGH, 2014.
- [8] Y. K. Tan, K. Y. Hoe and S. K. Panda, "Energy Harvesting using Piezoelectric Igniter for Self-Powered Radio Frequency (RF) Wireless Sensors," *2006 IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2006, pp. 1711-1716, doi: 10.1109/ICIT.2006.372517.
- [9] J. A. Paradiso, M. Feldmeier, "A Compact, Wireless, Self-Powered Pushbutton Controller" Abowd, G.D., Brumitt, B., Shafer, S. (eds) Ubicomp 2001: Ubiquitous Computing. UbiComp 2001. Lecture Notes in Computer Science, vol 2201. Springer, Berlin, Heidelberg.
- [10] Instituto Newton Braga, "Como funciona os LDOs (ART767), 2012. [Online]. Available: <https://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/6102-art767.html>
- [12] SUELA, Faiossander. Medição de Ruídos Eletromagnéticos Irradiados em Sistemas de Geração Fotovoltaica. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil 2016.
- [12] ABNT NBR 5431:2008 Caixas e invólucros para acessórios elétricos para instalações elétricas fixas e domésticas e análogas – Dimensões.
- [13] SCHERZ, Paul., MONK Simon. *Practical Electronics for Inventors*. McGraw Hill TAB, 4th edition, 2016.
- [14] FARNELL, "HT12A/HT12E 2¹² Series of Encoders". Available: <https://www.farnell.com/datasheets/1899539.pdf>
- [15] M. Saqib, N. S. Francis and N. J. Francis, "Design and Development of Helmholtz Coils for Magnetic Field" *2020 International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE)*, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/REEPE49198.2020.9059109.



MARCOS FELIPE DANNA

UTILIZATION OF ENERGY HARVESTING ON THE ACTUATION OF A RADIOFREQUENCY TRANSMITTER FOR RESIDENTIAL APPLICATIONS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em Bacharel em Engenharia Elétrica, pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.

Jaraguá do Sul, 04 de julho de 2022.

Prof. MSc. Pablo Dutra da Silva
Orientador
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau

Eng. Esp. Leonardo Luiz Vetore
WEG

Prof. MSc. Anna Karolina Baasch Raizer
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau

Prof. MSc. Pablo Dutra da Silva
IFSC – Campus Jaraguá do Sul – Rau