

PROJETO DE UM SENSOR PARA DETECÇÃO DESCENTRALIZADA DE CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA

Júlio César Freitas de Almeida¹, Bruno Emmanuel de Oliveira Barros Luna²

Resumo: Formas de melhoramento do consumo de energia elétrica vem sendo um ponto importante em estudos na área de engenharia elétrica, um dos destaques deste estudo são as tecnologias voltadas para as redes inteligentes também conhecida como *Smart Grid* e formas de diminuir o custo de sua implementação. Esse artigo tem como objetivo base no estudo de um protótipo que usa os conceitos básicos dessa tecnologia, o equipamento construído detectaria a passagem de corrente em um circuito, levando em consideração um bloco de sala e por fim, o trabalho ainda sugere o envio desses dados via wifi utilizando o auxílio de um arduíno. Sendo essa detecção feita através de uma bobina de Rogowski, mostrando seu funcionamento e também a teoria por trás dele.

Palavras-chave: Smart Grid; Bobina de Rogowski, Detecção de Corrente.

1. INTRODUÇÃO

A energia elétrica hoje tornou-se algo indispensável para o homem como também para sua rotina, desse modo, as distribuidoras de energia elétrica sempre estão buscando novas formas de tecnologias tanto de geração como o melhoramento do seu uso. Essa crescente busca por uma melhor forma de monitorar o consumo de energia elétrica, é um assunto que as distribuidoras de energia no Brasil estão pesquisando, devido as grandes perdas existentes, sendo elas perdas técnicas, como também as não técnicas. Uma nova concepção de SEE (Sistemas de Energia Elétrica) atende pelo nome genérico de *Smart Grid*[1] ou [2] (Redes Inteligentes, como vem sendo traduzido para o Português) e vem como uma forma de reduzir essas perdas e melhorar a forma de como a energia pode ser usada.

A expressão Smart Grid deve ser entendida mais como um conceito do que uma tecnologia ou equipamento específico. Baseia-se na utilização intensiva de tecnologia de automação, computação e comunicações para monitoração e controle da rede elétrica, as quais permitirão a implantação de estratégias de controle e otimização da rede de forma muito mais eficiente que as atualmente em uso. A introdução do conceito de Smart Grid produzirá uma convergência acentuada entre a infraestrutura de geração, transmissão e distribuição de energia e a infraestrutura de comunicações digitais e processamento de dados. A transformação da rede de energia elétrica atual para a Smart Grid deverá acontecer de forma incremental, novas tecnologias de automação, computação e comunicações serão introduzidos em partes da rede, formando bolsões de sub-redes com as características da Smart Grid. Na medida em que esses bolsões aumentam em número e capacidade, a rede elétrica como um todo tenderá para uma rede dentro da nova visão. Algumas concessionárias no Brasil já estão tentando incrementar essa tecnologia em algumas áreas.

Neste artigo será estudado e proposto um protótipo usando os conceitos da bobina de Rogowski, que fará essa detecção e enviará os dados via wifi. Como objetivo de analisar o comportamento de consumo de energia de um bloco. A medição será feita de cada sala do bloco, de forma descentralizada, tendo como esperado uma melhor análise de como a energia é consumida e identificar eventuais perdas de energia nesse local. O artigo abordará, também, o conceito da bobina de Rogowski e como dar-se seu funcionamento.

O aparelho fará a detecção da corrente elétrica do circuito a qual será analisado. Podendo também ter a verificação previa dos equipamentos existentes no local, obtendo a potência entre outros parâmetros especificados, isso usado de forma a criar uma análise de como a energia está sendo consumida no local e verificar quais horários estão ocorrendo esse consumo. Assim tendo um maior controle do consumo e logo uma diminuição de gasto com energia.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Como foi descrito antes a *Smart Grid* é um conceito de monitoramento da rede elétrica, sendo esse monitoramento de grande (distribuição de energia elétrica de uma cidade ou país) ou pequena escala (um condomínio ou uma casa). Nesse estudo, vai ser utilizado para o monitoramento de um bloco de sala, como a distribuição da rede elétrica em geral é em CA (corrente alternada). O método que foi escolhido para isso foi usando a bobina de Rogowski, que possui algumas vantagens como: a linearidade da medida em toda a faixa de trabalho, a grande largura de banda de frequências em que a medida pode ser realizada, o alto grau de isolamento elétrico e a baixa relação peso/volume, devido à inexistência de núcleo ferromagnético.

Ela é essencialmente um solenóide toroidal com núcleo de ar ou de material não ferromagnético que rodeia um condutor no qual circula a corrente que se pretende medir. Seu princípio de funcionamento está baseado na Lei de Faraday-Lenz [3],[4] e [5], a qual afirma que a *fem* induzida tem valor igual ao módulo da derivada temporal do fluxo magnético e sinal contrário ao da taxa de variação do fluxo e também na lei de indução magnética que relaciona a força eletromotriz induzida com a taxa de variação do fluxo magnético no tempo. A bobina está acoplada magneticamente ao condutor, devido a força eletromotriz do condutor ou barramento (de forma recíproca ele comporta-se como um indutor), que estar percorrido por uma corrente variável no tempo, para a bobina secundária e, por isso, se induz nela uma tensão proporcional à variação no tempo da corrente no condutor. A interação entre eles pode ser vista na Figura 1.

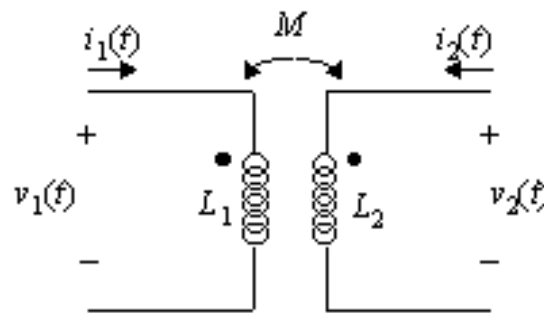


Figura 1. Modelo de acoplamento magnético(Silva e Santos)

Analisando o circuito na Figura 1, pode-se formar o sistema de equações lineares, relacionando a corrente, tensão, indutância e indutância mútua.

$$\begin{cases} v_1(t) = L_1 \frac{d}{dt} i_1(t) + M \frac{d}{dt} i_2(t) \\ v_2(t) = L_2 \frac{d}{dt} i_2(t) + M \frac{d}{dt} i_1(t) \end{cases} \quad (1)$$

Onde :

$V(t)$ é a tensão no enrolamento (o índice 1 se refere ao enrolamento, condutor ou barramento primário e o 2 ao secundário);

L é a indutância própria do enrolamento;

$\frac{d}{dt} i(t)$ é a taxa de variação no tempo da corrente no enrolamento; e

M é a indutância mútua entre o condutor e o enrolamento secundário;

Lembrando-se que a corrente no enrolamento secundário (bobina de Rogowski) não vai existir, pois este é mantido em aberto, conseqüentemente, $i_2(t) = 0$ e, observando também que M é invariável no tempo, da equação (1), chega-se a equação (2):

$$v_2(t) = M \frac{d}{dt} i_1(t) \quad (2)$$

Pela equação (2), vê-se que a *fem* induzida no enrolamento secundário da Bobina de Rogowski, $v_2(t)$, em volts (V), é proporcional a indutância mútua entre o condutor e o enrolamento, M , em Henry (H), e a taxa de variação no tempo da corrente elétrica no condutor, em $A.s^{-1}$. Dessa forma, tem-se duas alternativas de desenvolvimento para se encontrar o fluxo magnético que passa pela bobina. Uma delas é o desenvolvimento a partir da Lei Circuitual de Ampère, no qual é feita uma aproximação, considerando o condutor com um comprimento infinito e a outra é o desenvolvimento a partir da Lei de Biot-Savart, de onde se encontra uma expressão mais

genérica para o fluxo magnético no interior do enrolamento secundário da Bobina de Rogowski para qualquer comprimento de condutor (enrolamento primário), mas ao considera-se um condutor infinito o resultado será o mesmo que a demonstração anterior.

2.1 Desenvolvimento a partir da Lei Circuital de Ampère

Na forma integral, a Lei Circuital de Ampère descreve que a corrente elétrica que circula em um condutor forma um campo magnético com intensidade $\vec{H}(t)$, como explicitado pela equação (3):

$$\oint \vec{H}(t) \cdot d\vec{l} = \int_S \vec{J} \cdot d\vec{S} \quad (3)$$

Onde:

$\vec{H}(t)$ é o vetor intensidade de campo magnético;

$d\vec{l}$ é o vetor elemento diferencial de comprimento;

$\vec{J}$ é o vetor densidade de corrente elétrica no condutor; e

$d\vec{S}$ é o elemento diferencial de superfície transversal do condutor.

O lado direito da igualdade da equação (3) constitui a corrente elétrica variando no tempo que circula no condutor, ou seja, $i_1(t)$. Do lado esquerdo da equação (3) vê-se que a intensidade do campo magnético também varia no tempo. Assim, da equação (3) obtêm-se a equação (4):

$$\oint \vec{H}(t) \cdot d\vec{l} = i_1(t) \quad (4)$$

A Figura 2, mostra o ângulo entre o vetor intensidade de campo magnético, $\vec{H}(t)$, e o vetor elemento diferencial de comprimento, $d\vec{l}$.

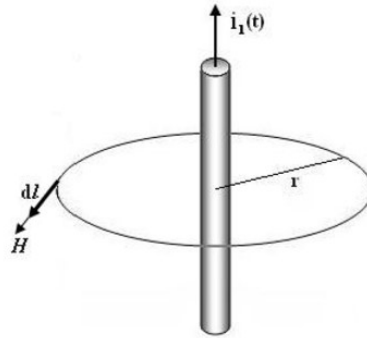


Figura 2. Ângulo entre $\vec{H}(t)$ e $d\vec{l}$. (Silva e Santos)

Na Figura 2, observa-se que o ângulo entre $\vec{H}(t)$ e $d\vec{l}$ é de 90° . Deste modo, resolvendo-se o produto escalar do integrando da equação (4), chega-se a equação (5):

$$\oint \vec{H}(t) \cdot d\vec{l} = i_1(t) \quad (5)$$

A intensidade de campo magnético pode ser encontrada somando-se todas as contribuições dos elementos diferenciais $d\vec{l}$ da Equação (5). Mas o vetor elemento diferencial de comprimento pode ser dado por $d\vec{l} = r d\theta$. Assim, tem-se que, fora do condutor, $\vec{H}(t)$ é calculada pela equação (6):

$$\vec{H}(t) = \frac{1}{2\pi r} i_1(t) \quad (6)$$

Sendo r é a distância do ponto no qual se calcula a intensidade de campo magnético (interior do enrolamento secundário) ao condutor primário, novamente, a ausência de um núcleo ferromagnético na Bobina de Rogowski

permite a manutenção de sua linearidade, visto que seu núcleo é formado por um meio linear, como o ar, que possui permeabilidade $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} [\frac{T}{Am}]$, que é permeabilidade magnética do espaço livre. O módulo da densidade de fluxo magnético, $B(t)$, pode ser encontrado pela equação (7):

$$B(t) = \mu_0 H(t) \quad (7)$$

Substituindo a equação (6) na equação (7), o módulo da densidade de fluxo magnético também pode ser obtido pela equação (8):

$$B(t) = \frac{\mu_0}{2\pi \cdot r} i_1(t) \quad (8)$$

O fluxo magnético pode ser calculado pela equação (9):

$$\Phi(t) = B(t) \cdot S \quad (9)$$

Onde:

S é a área, em m^2 , que envolve a densidade de fluxo magnético.

Considerando que o enrolamento secundário da Bobina de Rogowski tem formato circular, possui um raio r_s , e que seu centro está a uma distância r do condutor primário, como mostrado na Figura 3, a área do enrolamento secundário que envolve a densidade de fluxo magnético é igual à área de um círculo e é dada pela equação (10):

$$S = \pi r_s^2 \quad (10)$$

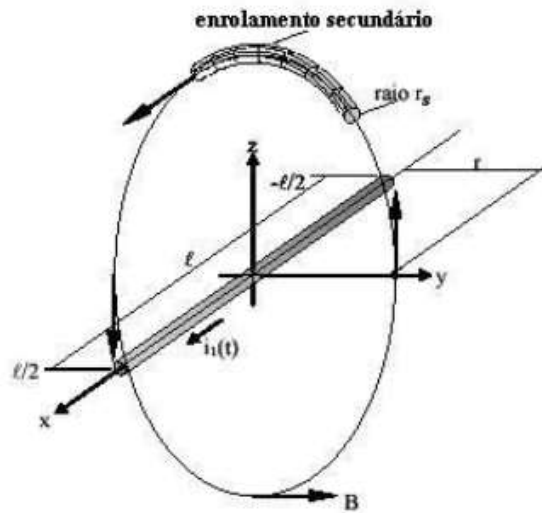


Figura 3. Condutor e enrolamento secundário. (Silva e Santos)

Substituindo a equação (8) e a equação (10) na equação (11), o fluxo magnético pode ser obtido pela equação (11):

$$\Phi(t) = \frac{\mu_0 r_s^2}{2 \cdot r} i_1(t) \quad (11)$$

O valor do fluxo magnético encontrado pela equação (11) não representa um valor prático, uma vez que se baseia no fato de que o condutor no qual circula a corrente que se quer medir (enrolamento primário da Bobina de Rogowski) tem comprimento infinito.

2.2 Desenvolvimento a partir da Lei de Biot-Savart

A Lei de Biot-Savart permite calcular, em qualquer ponto do espaço, a densidade do campo magnético originado por uma corrente elétrica que passa em um condutor. A Bobina de Rogowski não possui núcleo ferromagnético. Assim, no espaço livre, a corrente elétrica $i_1(t)$ que circula em um comprimento elementar dl do

condutor (enrolamento primário) orientado no sentido da corrente, origina, no ponto P_2 do enrolamento secundário, que está a uma distância R de dl , uma densidade de campo magnético elementar $dB(t)$ que é dada pela equação (12):

$$dB(t) = \frac{\mu_0 i_1(t) dl \times a_R}{4\pi |R|^2} \quad (12)$$

Onde:

a_R é o vetor unitário na direção do vetor R .

Observando-se a Figura 4, tem-se que as coordenadas dos pontos P_1 e P_2 são $(x,0,0)$ e $(0,y,0)$, respectivamente. Assim, o vetor R é dado pela equação (13):

$$R = -xi + yj \quad (13)$$

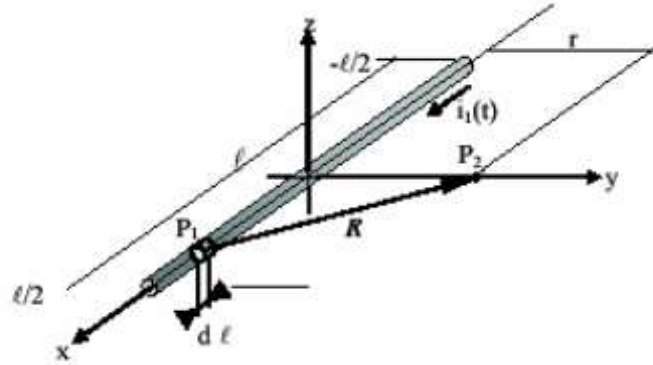


Figura 4. Condutor no espaço. (Silva e Santos)

E, do mesmo modo, o vetor unitário a_R pode ser dado pela equação (14):

$$a_R = \frac{-xi+yj}{\sqrt{x^2+y^2}} \quad (14)$$

O comprimento elementar dl pode ser expresso por $dl = dx$ em função de x na forma vetorial, logo a densidade de campo magnético elementar $dB(t)$ modifica-se para equação (15):

$$dB(t) = \frac{\mu_0 i_1(t) dx \times -xi+yj}{4\pi(x^2+y^2)^{3/2}} \quad (15)$$

Resolvendo-se o produto vetorial, a equação (15) toma a forma da equação (16):

$$dB(t) = \frac{\mu_0 i_1(t) y dx}{4\pi(x^2+y^2)^{3/2}} k \quad (16)$$

Define-se agora uma transformação de coordenadas, de coordenadas retangulares (x,y,z) para coordenadas cilíndricas (h,r,θ) segundo a relação definida pelo conjunto de equações (17):

$$\begin{cases} x = h \\ y = r \cos \theta \\ z = r \sin \theta \\ r^2 = y^2 + z^2 \\ \tan \theta = \frac{z}{y}, \text{ se } y \neq 0 \end{cases} \quad (17)$$

Aplicando a transformação de coordenadas definida pelo conjunto de equações (17) na equação (16), tem-se a densidade de campo magnético elementar em termos de coordenadas cilíndricas expresso pela equação (18):

$$d\mathbf{B}(\mathbf{t}) = \frac{\mu_0 i_1(\mathbf{t}) r dh}{4\pi(h^2 + r^2)^{3/2}} \mathbf{a}_\theta \quad (18)$$

Da equação (18), conclui-se que a densidade de campo magnético, ao longo de circunferências concêntricas ao condutor no qual circula a corrente elétrica, tem módulo constante. Somando-se cada contribuição elementar $d\mathbf{B}(\mathbf{t})$ ao longo do comprimento l , ou seja, integrando-se a equação (18), tem-se a equação (19):

$$\mathbf{B}_{a\theta}(\mathbf{t}) = \frac{\mu_0 i_1(\mathbf{t})}{4\pi} \int_{-1/2}^{1/2} \frac{r dh}{(h^2 + r^2)^{3/2}} \quad (19)$$

Resolvendo-se a integral definida dada pela equação (19), encontra-se como resultado a equação (20), que é a densidade de campo magnético, a uma distância r , no enrolamento secundário da Bobina de Rogowski devido à corrente elétrica $i_1(\mathbf{t})$ que circula pelo condutor de comprimento l .

$$\mathbf{B}_{a\theta}(\mathbf{t}) = \frac{\mu_0 i_1(\mathbf{t})}{4\pi r} \left(\frac{l}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + r^2}} \right) \quad (20)$$

Substituindo a equação (20) e a equação (10) na equação (9), o fluxo magnético pode ser calculado pela utilização da equação (21):

$$\Phi_{a\theta}(\mathbf{t}) = \frac{\mu_{0r_s^2} i_1(\mathbf{t})}{4r} \left(\frac{l}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + r^2}} \right) \quad (21)$$

A equação (21) representa uma expressão genérica para o fluxo magnético no interior do enrolamento secundário da Bobina de Rogowski para qualquer comprimento l de condutor (enrolamento primário). Para $r \gg l$, o condutor pode ser considerado de comprimento infinito. Deste modo, tomando-se o limite da equação (21) com l tendendo ao infinito, observa-se que a equação (21) toma a forma da equação (11), como pode ser visto na equação (22):

$$\lim_{l \rightarrow \infty} \Phi_{a\theta}(\mathbf{t}) = \lim_{l \rightarrow \infty} \frac{\mu_{0r_s^2} i_1(\mathbf{t})}{4r} \left(\frac{l}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + r^2}} \right) = \frac{\mu_{0r_s^2}}{2r} i_1(\mathbf{t}) \quad (22)$$

2.3 A relação entre a tensão no enrolamento secundário da Bobina de Rogowski e a corrente elétrica no enrolamento primário

Como foi visto, utilizando o desenvolvimento a partir da Lei de Biot-Savart, encontrou-se uma expressão genérica para o fluxo magnético no interior do enrolamento secundário do transdutor e, aplicando-se a aproximação do condutor ter comprimento infinito, chegou-se ao mesmo resultado do desenvolvimento a partir da Lei Circuital de Ampère. A partir da determinação do fluxo magnético no interior do enrolamento secundário da Bobina de Rogowski utilizando a Lei de Biot-Savart, pode-se encontrar a relação entre a tensão no secundário do transdutor, $v_2(\mathbf{t})$, e a corrente elétrica no condutor $i_1(\mathbf{t})$. O fluxo concatenado no enrolamento secundário da Bobina de Rogowski, considerando-se que este tenha N espiras, pode ser determinado pela equação (23):

$$\lambda_{a\theta}(\mathbf{t}) = N \cdot \Phi_{a\theta}(\mathbf{t}) \quad (23)$$

Substituindo-se a equação (21) na equação (23), o fluxo concatenado no secundário do transdutor toma a forma da equação (24):

$$\lambda_{a\theta}(\mathbf{t}) = N \frac{\mu_{0r_s^2} i_1(\mathbf{t})}{4r} \left(\frac{l}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + r^2}} \right) \quad (24)$$

A indutância mútua M entre o enrolamento secundário do transdutor e o condutor é definida como a relação entre o fluxo concatenado e a corrente $i_1(t)$ que circula pelo condutor, como dado pela equação (25):

$$M = \frac{\lambda_{a\theta}(t)}{i_1(t)} \quad (25)$$

Isolando $i_1(t)$ na equação (25) e substituindo na equação (2), obtém-se a tensão induzida no enrolamento secundário do transdutor, dado pela equação (26):

$$v_2(t) = \frac{d}{dt} \lambda_{a\theta}(t) \quad (26)$$

Substituindo-se a equação (24) na equação (26), a tensão induzida no secundário da Bobina de Rogowski toma a forma da equação (27):

$$v_2(t) = N \frac{\mu_{orS}^2}{4r} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + r^2}} \right) \frac{d}{dt} i_1(t) \quad (27)$$

Resolvendo-se a equação (27) para $i_1(t)$, a corrente elétrica no condutor será dada pela equação (28):

$$i_1(t) = \left[N \frac{\mu_{orS}^2}{4r} \left(\frac{1}{\sqrt{\left(\frac{l}{2}\right)^2 + r^2}} \right) \right]^{-1} \cdot \int v_2(t) dt \quad (28)$$

De forma alternativa, para $l \gg r$ na equação (28), chega-se ao mesmo resultado se for utilizado o fluxo magnético encontrado pelo desenvolvimento a partir da Lei Circuital de Ampère, considerando o condutor com comprimento infinito.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

O prototipo da bobina de Rogowski que está sendo proposto, é totalmente diferente do encontrado para compra ou montagem tradicional. Foi utilizado o programa *AutoCad* em 2D e 3D para o desenvolvimento de um esquema de como fica o circuito, como mostra a Figura 5:

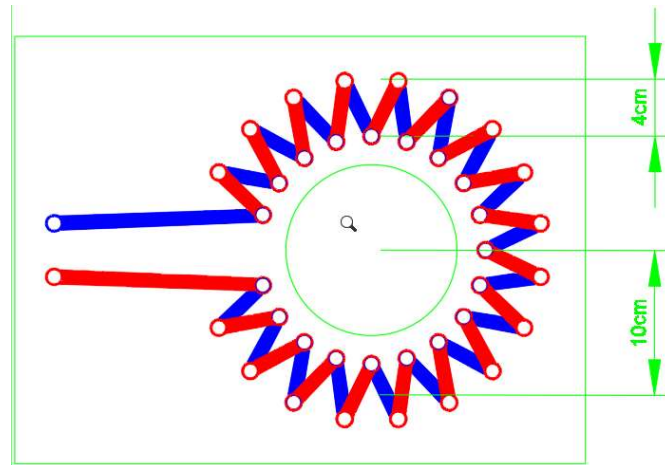


Figura 5. PCB bobina de Rogowski. (Autoria própria)

Nesse modelo o núcleo da bobina de Rogowski é constituído pelo material que é feito a placa eletrônica, que pode ser feita de, fibra de vidro, composite e outros materiais plásticos ou fibrosos. Sendo que para esse projeto é necessário uma placa dupla-face, para ser possível a construção da bobina. As linhas representam como estão dispostas as espiras da bobina na placa de circuito impresso, sendo que as com cor vermelha passam pela parte superior da placa, enquanto as de cor azul passam pela face inferior. Como relação ao formato das espiras dessa bobina de Rogowski, elas não são circulares, como é mostrado nos cálculos teóricos, logo ocorrerá uma diferença

nos valores finais (tensão, fluxo magnético e corrente), na Figura 6 e Figura 7 mostra a placa em 3D, em uma visão isométrica da parte superior e inferior, respectivamente.

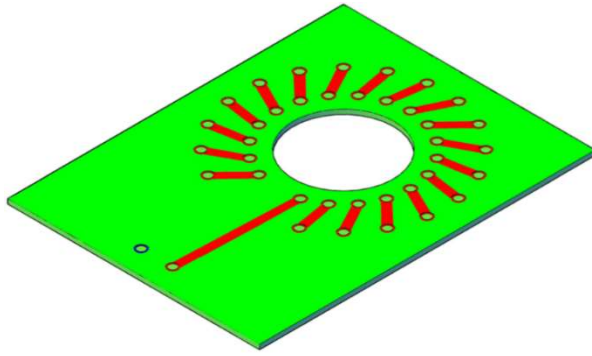


Figura 6. PCB em 3D parte superior. (Autoria própria)

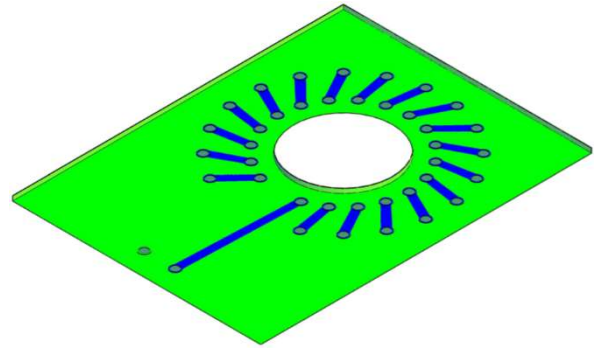


Figura 7. PCB em 3D parte inferior. (Autoria própria)

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Utilizando a Equação (21), mas agora considerando não a permeabilidade magnética do ar ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{T/A.m}$), mais sim a permeabilidade do material da placa de circuito impresso, que neste caso será de fibra de vidro, sendo $\mu_r = 4,4$ a permeabilidade relativa do material, logo:

$$\mu = \mu_r \times \mu_0 \quad (29)$$

Para esse cálculo foi considerado o valores da bobina de Rogowski, logo:

$r_s = 0,02\text{m}$, é o raio da circunferência da bobina (secundário);

$i_1(t)$, é a corrente no primário (condutor);

$r = 0,1\text{m}$, é a distância entre o centro da bobina e o centro secundário; e

$l = 0,4\text{m}$, é o comprimento do condutor.

Para esse cálculo foi considerado que a bobina secundária é uma circunferência, deste modo substituindo os valores e calculando temos:

$$\Phi_{a\theta}(t) = \frac{(17,6\pi \times 10^{-7} \text{T/A.m})(0,02\text{m})^2 i_1(t)}{4(0,1\text{m})} \left(\frac{0,4\text{m}}{\sqrt{\left(\frac{0,4\text{m}}{2}\right)^2 + (0,1\text{m})^2}} \right) \quad (30)$$

$$\Phi_{a\theta}(t) = 9,891 \times 10^{-9} i_1(t) \text{ Wb} \quad (31)$$

Usando a equação (23), com os valores da equação (31) e considerando que $N = 18$ espiras, temos:

$$\lambda_{a\theta}(t) = 18 \times 9,891 \times 10^{-9} i_1(t) \text{ Wb. espiras} \quad (32)$$

$$\lambda_{a\theta}(t) = 1,7804 \times 10^{-7} i_1(t) \text{ Wb. espiras} \quad (33)$$

Sabendo que a derivada do fluxo concatenado em função do tempo é igual a tensão na bobina secundaria (Bobinade Rogowski), os valores de corrente utilizados para esse cálculo serão entre 0,5 A e 40 A, considerando a faixa de trabalho desse projeto, sendo que $i_1(t) = I \cdot \text{sen}(\omega t)$, onde $\omega = 2\pi f$ e frequência $f = 60 \text{ Hz}$. Considerando o primeiro caso com uma $I = 0,5 \text{ A}$, utilizando a equação, logo:

$$\lambda_{a\theta}(t) = 1,7804 \times 10^{-7} \cdot I \cdot \sin(377t) \text{ Wb. espiras} \quad (34)$$

$$\frac{d\lambda_{a\theta}(t)}{dt} = 1,7804 \times 10^{-7} \cdot (0,5 \text{ A})(377) \cos(377t) \text{ V} \quad (35)$$

$$v_2(t) = 33,563 \cos(377t) \mu\text{V} \quad (36)$$

Como pode ser visto na equação (36) o valor encontrado da tensão na bobina relativamente baixo, se tornando de difícil medição, logo, uma maneira de aumentar a tensão na bobina é aumentando o número de espiras, visto que N é proporcional ao valor de $v_2(t)$, ao observar a equação (23). Desta forma, aumentando o número de espiras, a tensão também se elevará. Diante do exposto, foi realizando um novo cálculo, agora considerando uma bobina de 100 espiras, logo:

$$\lambda_{a\theta}(t) = 100 \times 9,891 \times 10^{-9} i_1(t) \text{ Wb. espiras} \quad (37)$$

$$\lambda_{a\theta}(t) = 9,891 \times 10^{-7} i_1(t) \text{ Wb. espiras} \quad (38)$$

$$\frac{d\lambda_{a\theta}(t)}{dt} = 9,891 \times 10^{-7} \cdot (0,5 \text{ A})(377) \cos(377t) \text{ V} \quad (39)$$

$$v_2(t) = 0,186 \cos(377t) \text{ mV} \quad (40)$$

Como pode ser visto na Tabela 1, foi substituído os valores de corrente do condutor na equação (38), para descobrir qual a tensão será encontrada na bobina teoricamente, logo, como pode ser visto, umas das vantagens ao utilizar a bobina de Rogowski, como foi falado antes, é que ele se comporta de forma linear, como é mostrado na Figura 8.

V (mV)	I (A)
0,186	0,5
1,864	5
3,729	10
7,458	20
14,916	40

Tabela 1. Relação entre a corrente no conduto e a tensão da bobina(Autoria Propria)

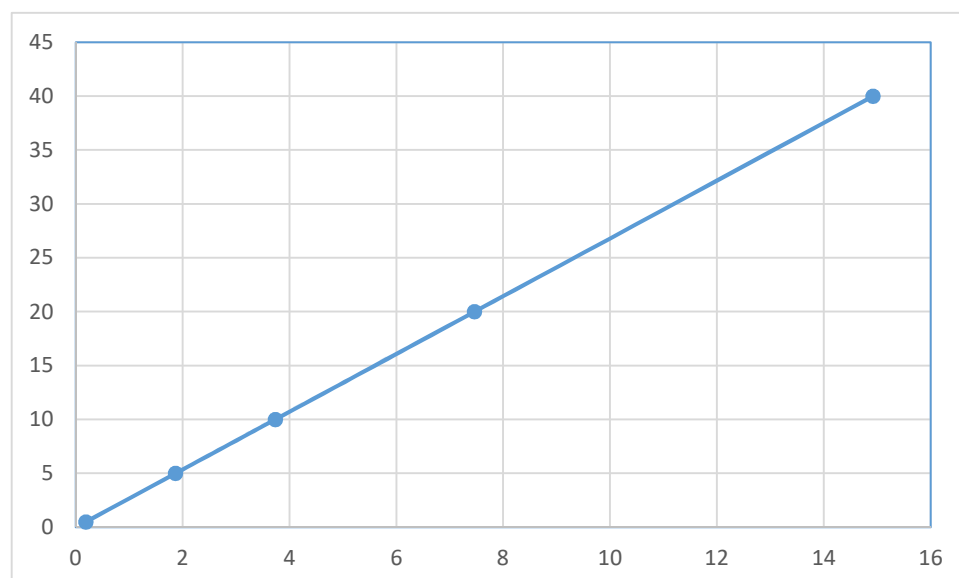


Figura 8. Relação entre a corrente no condutor e a tensão da bobina(Autoria Propria)

Analisando como se comporta esse novo modelo de bobina de Rogowski (N = 100 espiras), sendo considerado

uma corrente mínima de projeto, para esse caso, foi estimado a corrente de 0,5A, que seria a corrente mínima que passaria no condutor no QD (Quadro de Distribuição) do bloco, pode ser visto também que a tensão entre os terminais estão alta suficiente para ser medidas com precisão, mesmo possuindo alguns fatores que possam causar erros, como os ruídos.

Neste projeto também é necessário a instalação de um amplificador de sinal e um meio de enviar os dados coletados do sensor, para isso foi pensado a utilização de um arduíno com um transmissor de sinal wifi, que seria um equipamento de fácil manuseio e baixo custo. Com esses componetes, pode ser colocado em prática um dos conceitos da rede inteligente.

Esse projeto não está visando uma medição do consumo de energia elétrica, mas sim, a forma de detectar esse consumo e quando ele ocorre, uma forma a obter um parâmetro do possíveis equipamentos em funcionamento, assim tendo um controle simples, e mas eficiente do consumo do local.

5. CONCLUSÕES

Esse artigo mostrou o conceito de redes inteligentes e uma forma de utiliza-lo de forma simples, através da Bobina de Rogowski como feramenta para criar o protótipo para a detecção de corrente elétrica. Foi visto que o primeiro protótipo não possui um resultado satisfatório para alcançar o objetivo esperado, logo, para conseguir isso, foi necessário o aumento do número de espiras, para obter uma tensão mais elevada e assim um melhor sinal. Sendo esse é ponto de partida para outros projetos, como a construção da bobina, instalação e também a comparação como os valores teóricos mostrado.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BACCAN, Denise de Souza; DOARTE, Sergio da Silva. **Smart-grid: Aplicação da medição inteligente para a redução de perdas técnicas e não técnicas na distribuição de energia elétrica**. 2015. 51 p. monografia (Bacharel em engenharia elétrica)- Americana, São Paulo, 2015. Disponível em: <<http://faculdadedeamericana.com.br/revista/index.php/TCC/article/view/96>>. Acesso em: 10 mar. 2018.

[2] ZORTÉA, Jeffeson Moro. **Medidos de consumo de energia elétrica descentralizado e com interface web**. 2013. 80 p. Dissertação (Mestre em engenharia Eletrica)- Faculdade de Engenharia elétrica e computação, universidade estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258977>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

[3] J. D. KRAUS. Eletromagnetismo - McGraw-Hill. 4a edição. 1992

[4] FERNANDES, Claudionor Chaves. **Transfomador de corrente eletrônica utilizando bobina de Rogowski e interface óptica com pof para aplicação em sistemas de potência**. 2008. 110 p. Dissertação (Mestre em engenharia Eletrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://pee.ufirj.br/teses/?Resumo=2008093003>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

[5] SADIKU, Matthew N. O. **Elementro de eletromagnetismo**. 5. ed. [S.l.]: Bookman, 2010. 678 p.

[6] SILVA, Bruno Xavier; DOS SANTOS, Fábio Silva. **Projeto, construção e ensaios de um protótipo de transdutor de corrente do tipo bobina de Rogowski**. 2006. 85 p. monografia (Graduação em Engenharia Eletrica)- Faculdade de tecnologia, universidade de Brasília, Brasília, 2006. Disponível em: <http://bdm.unb.br/bitstream/10483/822/1/2006_BrunoXavierFábioSilva.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2018.