Salão UFRGS 2018 — CONHECIMENTO FORMAÇÃO INOVAÇÃO
SALÃO DE INICIACAO CIENTIFICA
XXX SIC
15 A 19 OUTUBRO
CAMPUS DO VALE
UFRGS PROPESQ

MEDIDOR REMOTO DE QUALIDADE DE ENERGIA ELÉTRICA, SEM CONTATO, AUTO AJUSTÁVEL EM CAMPO

Marina N. C. Schertel (ncs.marina@gmail.com)
Orientador: Roberto C. Leborgne, César D. P. Crovato

1. Cenário

A presente pesquisa estava inserida no projeto "Medidor remoto de Qualidade da Energia Elétrica, sem contato, auto ajustável em campo". Os objetivos dessa pesquisa foram a simulação eletromagnética do medidor e o projeto do protótipo para ser impresso em 3D. Os softwares utilizados para a prototipagem foram o Solidworks para o design da peça e o Altium para o projeto elétrico, já para as simulações eletromagnéticas do medidor foi utilizado o Maxwell. Esse trabalho apresenta os resultados obtidos nas simulações e o desenvolvimento do projeto do protótipo.

2. Princípio de Funcionamento

O medidor sem contato deve medir a tensão e a corrente de um cabo com múltiplos condutores simultaneamente. O artigo "Assessment on Contactless Device Measurement for of Voltage Harmonics Measure on Low Voltage Multi-conductor Conductor Cables" [1] foi utilizado como referência para a medição da tensão. Para a medição da corrente, foram utilizados dois arranjos de bobinas ao redor dos condutores, quatro bobinas em quadratura que fornecem quatro equações e o arranjo de bobinas de Rogowsky, que mede a corrente líquida, fornecendo a quinta equação. Assim, têm-se 5 equações e 4 incógnitas, sendo possível a solução desse sistema. A Figura 1 apresenta a aplicação do medidor sem contato e a Figura 2 esquematiza a medição de corrente.

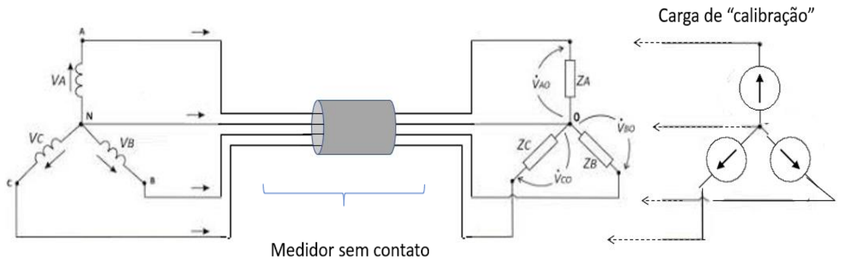

Figura 1 Aplicação do medidor sem contato

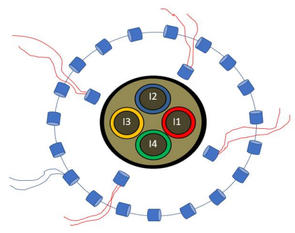

Figura 2 Medição de corrente

3. Simulação do Medidor

Para analisar eletromagneticamente o medidor no software Maxwell, foram realizadas duas simulações. O modelo simulado era composto por 4 bobinas em quadradura, por um arranjo de 24 bobinas de Rogowsky e por 32 capacitores ao redor dos condutores, como pode ser visto na Figura 3.

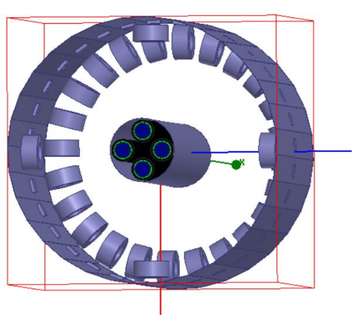

Figura 3 Modelo proposto para simulação do medidor

3.1. Simulação Eletroestática

A simulação no "Solver Electrostatic" foi realizada para determinar o posicionamento das bobinas. Usando o solver eletroestático, que não tem circulação de corrente, consegue-se aplicar uma tensão nas geometrias definindo diferenças de potenciais entre as placas do capacitor e a bobina de modo que um campo elétrico seja estabelecido. Assim, consegue-se medir a capacitância que surge entre uma placa de capacitor e uma bobina e determinar se uma bobina deve ser posicionada mais longe ou mais perto. A Figura 4 apresenta o modelo simulado. A resposta fornecida pela simulação é uma Matriz de Capacitâncias de Maxwell, que fornece uma relação entre as tensões (V) e as cargas (Q) nos condutores. Foi realizada uma comparação entre os resultados obtidos pelo solver eletroestático e a teoria da Matriz de Maxwell. Os resultados estão apresentados abaixo e nota-se que os resultados obtidos estão coerentes com os apresentados pela teoria.

$$\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_N \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^{N} C_{m,1i} & -C_{m,12} & \cdots & -C_{m,1N} \\ -C_{m,21} & \sum_{i=1}^{N} C_{m,2i} & \cdots & -C_{m,2N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -C_{m,N1} & -C_{m,N2} & \cdots & \sum_{i=1}^{N} C_{m,Ni} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ \vdots \\ Q_N \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1.7279 & -0.0053763 & -0.00048485 & -0.00014147 \\ -0.0053763 & 1.7282 & -0.0053402 & -0.00048214 \\ -0.00048485 & -0.0053402 & 1.7284 & -0.0053615 \\ -0.00014147 & -0.00048214 & -0.0053615 & 1.728 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_N \end{pmatrix}$$

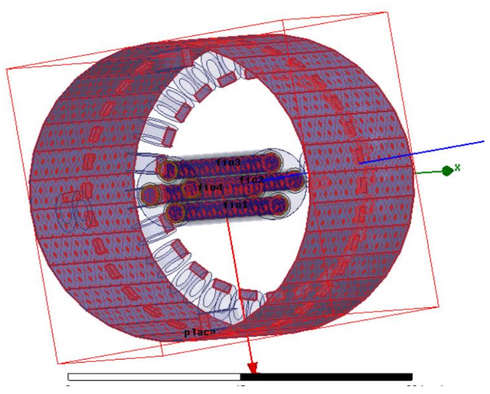

Figura 4 Simulação Eletroestática

3.2. Simulação Eddy Current (correntes parasitas)

A simulação no "Solver Eddy Current" foi realizada para medir a indutância que se forma entre o indutor e o capacitor. Para isso, inseriu-se corrente no indutor e nos capacitores, modelando no "Solver Eddy Current" para obter uma matriz RL que fornece a indutância. Essa matriz de impedâncias apresenta a relação entre as tensões CA (V) e as correntes CA (I) nos condutores do sistema. Esse solver calcula o campo magnético para uma determinada frequência. A lei de Faraday diz que quando aplica-se uma corrente variável em uma bobina, um campo magnético variável é produzido e induz uma tensão na outra bobina, assim potência pode ser transferida entre duas bobinas através de um campo magnético sem necessidade de uma conexão metálica entre elas. Os resultados dessa análise foram incoerentes, pois foram obtidas resistências negativas na matriz. A Figura 5 apresenta o modelo simulado.

$$\begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{12} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

onde

$$Z11 = R_{11} + j\omega L_{11}$$

$$Z12 = R_{12} + j\omega L_{12}$$

$$Z22 = R_{22} + j\omega L_{22}$$

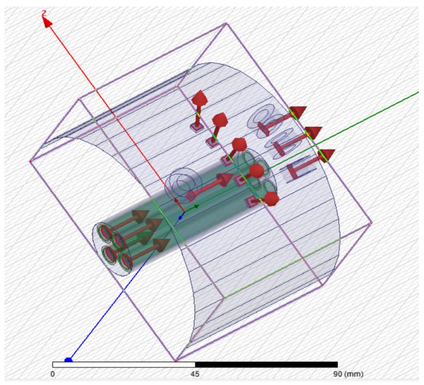

Figura 5 Simulação Eddy Current

4. Projeto do Protótipo do Medidor

O primeiro modelo desenvolvido para o protótipo do medidor no Solidworks tinha o formato de um alicate, o que provocava dificuldade na passagem das trilhas e no posicionamento da placa flexível com os capacitores. Para solucioná-las, foi necessário o desenvolvimento de uma nova abordagem, que pode ser observada nas Figuras 6 e 7. O formato do medidor foi alterado do alicate para um formato mais simples que encaixa-se ao redor do cabo com os condutores. Os 32 capacitores foram substituídos por 32 furos metalizados, que funcionam como placas que formam capacitores com os fios do cabo. Nesse novo modelo, o circuito seria todo soldado direto na placa impressa 3D. As bobinas em quadratura continuariam sendo 4, porém as bobinas do arranjo de Rogowski diminuiriam de 24 para 8. A nova placa foi desenhada no Solidworks para ser importada para o Altium para a inclusão dos componentes elétricos. Até o final da pesquisa, os componentes elétricos haviam sido alocados na placa com o novo modelo do protótipo implementado. A placa PCB e o modelo do medidor foram enviados para serem otimizados e impressos em 3D, assim o medidor poderia ser montado e testado experimentalmente.

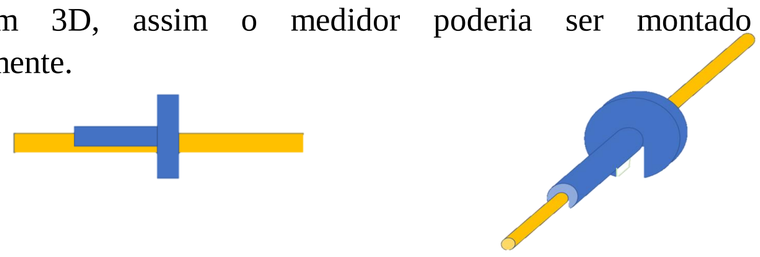

Figura 6 Medidor sendo colocado no cabo com múltiplos condutores para realizar medições

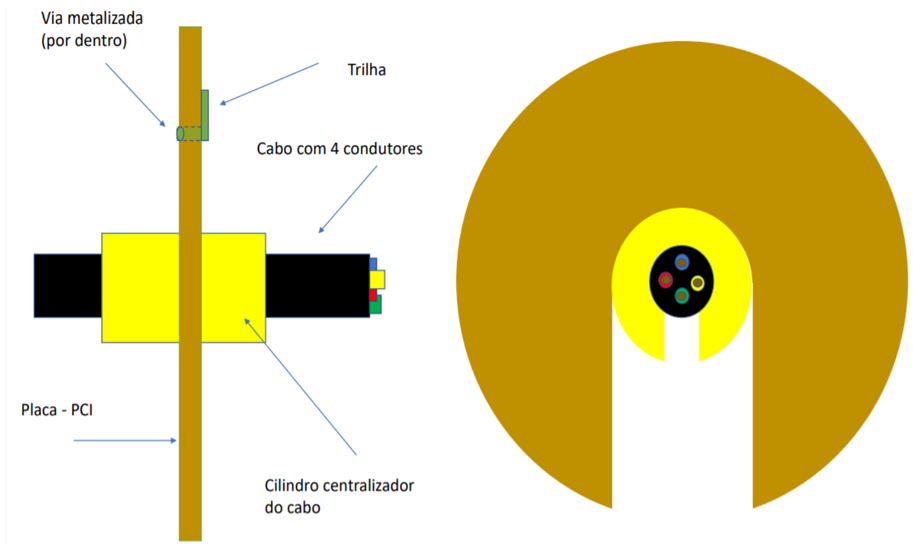

Figura 7 Esquema do protótipo do medidor

[1] César D.P. Crovato, Cristian F. Santos, Tiago A. Pereira. "Assessment on Contactless Device Measurement for of Voltage Harmonics Measure on Low Voltage Multi-conductor Conductor Cables".