

Simulação de Pulsos de Descargas Parciais para Sistemas de Detecção Radiométricos

J. M. R. de Souza Neto, *Member IEEE*, Fabricio B. S. de Carvalho, *Senior Member IEEE*

Resumo—Medição de Descargas Parciais (DP) é uma ferramenta de monitoramento do isolamento de alta tensão estabelecida e usada para facilitar a detecção de falhas incipientes em equipamentos de alta tensão. Um sistema radiométrico de monitoramento de descargas parciais de baixo custo é descrito para aplicação de monitoramento em tempo real do estado de conservação, gestão de ativos e otimização de operações no futuro *Smart Grid*. O sistema de monitoramento de DP proposto baseia-se em uma nova abordagem para a localização de fontes de DP que utiliza proporções de energia removendo a necessidade de sincronização entre os sensores, melhorando assim sua escalabilidade. A exigência de alta taxa de amostragem é também evitada pelo uso de um detector de envoltória. Para a avaliação proposta de sinais de DP, medições foram realizadas utilizando uma antena *diskcone* e um sistema comercial baseado no padrão IEC 60270. Estas medições, aqui relatadas, foram utilizadas para a concepção de um modelo de propagação que foi utilizado para viabilizar o projeto de um nó sensor radiométrico, levando em consideração as características de propagação de um sinal de descarga parcial.

Index Terms—Propagação, Descargas Parciais, Radiômetro.

I. INTRODUÇÃO

As técnicas para detecção de faltas de isolamento em subestações comuns ou isoladas por gás (GIS - *Gas Insulated Substations*) [1] estão bem estabelecidas e o uso de sinais UHF (UHF - *Ultra High Frequency*) para localização e diagnóstico de faltas em transformadores já foram discutidos anteriormente [2]. A primeira subestação isolada a gás a ser equipada para monitoramento usando UHF (em 1986) foi a estação de energia nuclear de Torness, na Escócia. Desde então, o monitoramento usando UHF para subestações isoladas a gás tem se tornado um meio economicamente viável e uma forma de monitoramento *online* para medição de Descarga Parcial (DP) em todo o mundo [3], [4]. Shihab e Wong [5] investigaram a assinatura de frequência de radio em defeitos de isolamento em linhas de transmissão. O resultado dessa investigação sugere que a estrutura tempo-frequência de um sinal de DP contem informações sobre a natureza desse fenômeno. Se esta informação pode ser extraída, confiavelmente e associada com um item específico da planta, e propriamente interpretada, então uma rotina para monitoramento e análise de DP representaria um passo positivo na mudança do gerenciamento de plantas de subestações elétricas. Este tipo de monitoramento oferece não apenas benefício imediato

de identificação de equipamentos com severa degradação de isolamento (evitando potencialmente falhas catastróficas na planta), mas também as vantagens econômicas de reduzir a retirada prevista de equipamentos para a manutenção e a utilização confiante dos equipamentos envelhecidos sempre que tal se justifique pela integridade do isolamento e do estado operacional do equipamento. Com essa proposta, diferentes formas de monitorar DP podem ser aplicadas, incluindo formas onde o sistema pode realizar além da detecção, a localização das fontes geradoras de DP. Dentre estes métodos, o método radiométrico tira vantagem na natureza da descarga, no que diz respeito a sua emissão de um sinal eletromagnético referente ao pulso gerado.

Em um sistema radiométrico, cada radiômetro realiza a medição da potência total na sua largura de banda receptora usando um tempo de integração pré definido. Este tempo deve ser curto para armazenar mudanças na atividade da DP devido a mudanças no estado físico do isolamento, mas longo o suficiente para armazenar de forma confiável o nível de intensidade da DP. Um período de integração deve ser escolhido de modo que também permita suavizar transientes de alta potência, mas que possua curta duração.

O problema da contaminação por ruído externo e sinais de origem não-DP (incluindo interferências coerentes por comunicação, navegação e transmissões por radar) pode ser explicado em dois caminhos: primeiro, o largo comprimento de banda do radiômetro suaviza influências não devidas de sinais com alta densidade espectral na condição destes serem de banda estreita e o segundo, uma rede de radiômetros leva vantagem que o fenômeno das DP é local. Sinais de comunicação ou outros originados distantes da subestação afetarão todos os radiômetros igualmente. Um sinal de DP ocorrendo próximo de um radiômetro terá intensidade muito maior neste do que nos outros radiômetros da rede. A superposição do radiômetros como *'hot-spots'* no mapa da subestação terá, portanto, apenas sinais de origem da própria subestação. A densidade aproximadamente uniforme de nós radiômetros dá a rede uma capacidade inerente de localização. A localização de fontes de DP é refinada, por uma rotina de estimação de localização que usa inversão da lei de perdas de transmissão. A potência do sinal recebido pode ser modelada por:

$$P_R = \frac{kP_t}{r^n} \quad (1)$$

em que P_R é a potência recebida, P_t é a potência irradiada, r é a distância a partir da fonte de radiação do sinal, k é uma constante que depende de parâmetros do sistema (ganho da antena, frequência, etc), e n é o índice de perda do caminho. Se o valor de n é independente da distância, a Equação 1 é

José Maurício Ramos de Souza Neto, Fabricio Braga Soares de Carvalho, Departamento de Engenharia Elétrica, Centro de Energias Alternativas e Renováveis, Universidade Federal da Paraíba – Paraíba, Brazil, {mauricio.fabricio}@cear.ufpb.br, os autores agradecem o apoio do CNPq - Universal nº 423495/2016-0.

referenciada como lei do *single-slope*. (Para a propagação no espaço livre, por exemplo, o índice de perdas no caminho é 2, correspondendo a uma lei do *single-slope* de 6 dB/oitava) [6].

A lei das perdas de transmissão pode ser invertida [7] para dar uma estimativa da razão de distâncias a partir de uma fonte de DP para quaisquer outros dois radiômetros. Uma fonte de DP detectada por três ou mais radiômetros pode, portanto ser localizada a partir da intersecção de dois ou mais círculos de influência. Na prática essa localização será sujeita a erros determinados, principalmente, pela variabilidade espacial do índice de perdas do caminho. Desse modo, o trabalho aqui descrito contém informações sobre o processo de modelagem e simulação do processo de propagação de um pulso de descarga parcial real, bem como a proposta de um nó receptor para monitoramento radiométrico deste fenômeno.

II. MODELO DE CANAL

O meio de propagação ou caminho eletromagnético ligando o transmissor ao receptor é chamado canal. Em geral, um canal de comunicação pode consistir de fios, cabos coaxiais, cabos de fibra óptica, e, no caso de ligações de RF, guias de onda, a atmosfera, ou o espaço livre [8].

Muitas vezes, a complexidade e variabilidade do canal torna difícil a obtenção de um modelo de canal determinístico preciso. Para esses casos, modelos estatísticos são usados frequentemente [9]. Para um *link* RF, o modelo de canal mais simples assume uma propagação do sinal em um espaço livre. A complexidade desse modelo de canal aumenta quando a superfície da terra ou o meio ambiente são considerados.

A. Propagação no Espaço Livre e Plano de Terra

A fórmula básica para as perdas de transmissão em *Watts* no espaço livre é dada pela Equação 2 [6]:

$$C = P_t G_t \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 G_r \quad (2)$$

em que, P_t é a potência transmitida em dBm, G_t é o ganho da antena transmissora, λ é o comprimento de onda em m, R é a distância entre as antenas em m e G_r é o ganho da antena receptora. A quantidade $P_t G_t$ é chamada potência radiada isotrópica efetiva (EIRP - *Effective Isotropic Radiated Power*) e a quantidade $[\lambda/(4\pi R)]^2$ é chamada de perdas de caminho do espaço livre (FSPL - *Free Space Path Loss*). Deve-se observar que a FSPL é uma função do comprimento de onda [6]. Em aplicações mais gerais de RF o modelo de propagação pode ser de dois tipos: físico e empírico. O modelo físico, quando normalmente adotado, tem a vantagem de portabilidade, i.e. o modelo físico pode ser utilizado em uma variedade de ambientes sem requerer um trabalho extenso de coleta de informações de propagação em cada um dos ambientes. O modelo físico plausível mais simples para um terreno predominantemente plano esperado é um modelo de dois raios que considera o caminho direto entre os módulos e o sinal propagado no solo.

III. O SISTEMA DE DETECÇÃO NÃO SINCRONIZADO

O sistema proposto e implementado usa sinais não correlacionados e não sincronizados para localização de descargas parciais. Essa alternativa proporciona a implementação de uma rede simples, em que os nós sensores são de complexidade tecnológica baixa, deixando-os baratos, e tornando a rede expansível de forma rápida e fácil. Tais pontos podem ser atingidos pelo uso de uma rotina de localização baseada na comparação de potências recebidas em diferentes posições.

Para implementar tal sistema, o processo para medir a potência irradiada a partir da fonte DP é um ponto-chave para sua confiabilidade. O pulso DP é um sinal de curta duração e com baixa amplitude (algumas dezenas de mV quando monitorado a curtas distâncias, inferior a 10 m), o que significa que um sistema de detecção com alta taxa de amostragem deve ser usado para monitorar tal atividade. Este dispositivo de aquisição, normalmente um osciloscópio de alta taxa de amostragem proporciona um aumento dos custos. Uma abordagem baseada em um detector de envoltória para reduzir a frequência de amostragem, pode ser uma solução razoável para a obtenção de resultados confiáveis.

A. Detector de Envoltória como um Mecanismo para Troca de Custos

Um possível compromisso entre um rápido ADC (centenas de MHz - GHz), capaz de detectar impulsos DP (com alta SNR) e com uma baixa taxa de amostragem para medição simples de energia (com baixa SNR e tempo de integração medido em segundos) pode ser a utilização de um detector de envoltória para assegurar aos impulsos um decaimento com uma constante de tempo, talvez, uma ordem de grandeza menor do que a média de intervalo esperado entre pulsos DP (ou seja, dezenas - centenas de ms). Isto permite que um conversor AD significativamente mais lento (dezenas - centenas de kHz) possa ser usado, o qual é capaz de capturar o sinal de saída do detector de envoltória com fidelidade suficiente. A probabilidade de detectar o sinal próximo de seu pico (e, assim, garantir uma medição de alta SNR) aumenta com a frequência de amostragem, assim como o custo (em R\$) do conversor AD e o custo (em *Watts*) da potência necessária. O detector de envoltória, por conseguinte, pode proporcionar um meio eficaz para reduzir a taxa de amostragem e, assim, compreender um baixo custo, ao sistema, com baixo consumo de energia.

B. Proposta de uma Arquitetura para o Receptor

O modelo de simulação proposto baseia-se nas características de transmissão do impulso, a partir da sua geração, até a sua medição por um sistema de monitoramento. O pulso DP é gerado usando um modelo de repetição, que é o modelo mais simples utilizado para fornecer informações para a atividade de DP. Este modelo usa experiências feitas anteriormente usando um gerador de DP composta por uma célula de acrílico e defeitos de isolamento criados para fins de simulação DP. O pulso radiométrico de DP gerado viaja através do sistema de alta tensão utilizando seus cabos e componentes metálicos

como antenas, o que torna o processo de definir uma antena simples para representar o sistema HV (*High Voltage*), quase impossível sem uma abordagem empírica.

Para resolver este problema, a antena usada é representada por um amplificador, que correlaciona a intensidade DP (baseado nos *pico Columbs, pC*, obtidos durante o experimento) com a potência transmitida, e um filtro passa-baixa, que tem um ganho fixo de 0 dB em sua banda de passagem e uma frequência de corte de 700 MHz, como definido por uma revisão de literatura. Após o estagio da antena, o pulso DP viaja ao ar livre, sujeito a perdas de caminho de espaço livre, ruído de fundo (inerente a partir do ambiente de subestação) interferência de operadoras de televisão, estações de rádio, celular, etc. A próxima etapa é a de recepção, que é representado pelo sistema de monitoramento, o foco deste trabalho. Esta fase está representada por uma antena receptora (representada por um filtro passa-banda), uma fonte de ruído simples (uma vez que o ruído dos componentes utilizados é negligenciado, isto é, ruído térmico e qualquer outra fonte de ruído estão incluídos nesta fonte), um amplificador de baixo ruído (LNA - *Low Noise Amplifier*), um filtro passa-alto, um detector de envoltória e o conversor analógico-digital (representado por um microcontrolador).

A fim de investigar a plausibilidade de tais argumentos uma simulação do processo de transmissão do sinal de DP de uma fonte até um sensor receptor foi implementada. O diagrama de blocos do sistema pode ser observado na Figura 1.

IV. MODELO DE SIMULAÇÃO

O pulso simulado é gerado pela repetição do sinal de RF medido usando uma antena *diskcone* ligada ao osciloscópio de modelo Tektronix TDS 5104B com uma taxa de amostragem de 5 GS/s. Os pulsos de corrente simultâneos de DP também foram registrados em um canal separado do osciloscópio utilizando um transformador de corrente de alta frequência (HFCT). Os pulsos de DP pela norma IEC também foram gravados usando um sistema de medição de DP comercial, o Doble Lemke LDS- 6. O arranjo utilizado para as medições pode ser observado na Figura 2. O gerador de descarga parcial foi feita a partir de um cilindro de acrílico com dois eletrodos planos do tipo disco, em paralelo [10]. Dois parafusos de nylon são usados para definir a distância entre os eletrodos que estão ligados à fonte de alimentação de alta tensão. Detalhes do gerador DP são dados em [11], [12].

O SNR de pico da medição DP na Figura 4 (a) foi de 24,6 dB. O ruído inerente ao DP repetido é, portanto, considerado negligenciável (uma vez que o SNR do sinal DP em receptores numa rede é provavelmente muito menor do que isto). O primeiro amplificador 1 (Figura 1), na cadeia dos subsistemas da Figura 1 é utilizado para ajustar a potência do sinal DP. Esta potência é determinada a partir da intensidade de DP (em pC). Utiliza-se uma relação a ser determinada empiricamente por medição da potência do sinal recebido pela antena *diskcone* e um analisador de espectro a uma distância de 1 m a partir da fonte de DP. A intensidade em pC é medida usando a instrumentação do LDS-6 [13].

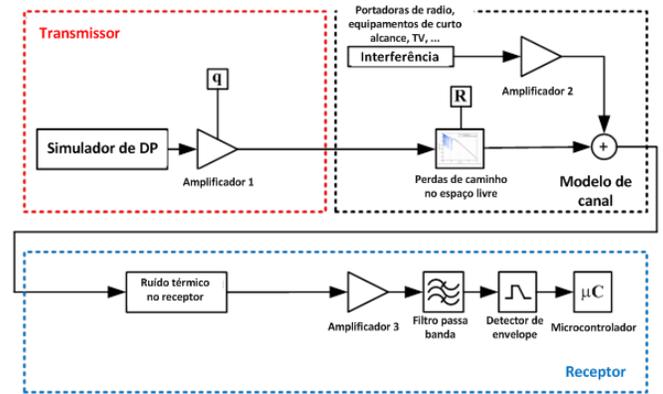


Figura 1: Diagrama de blocos do sistema simulado, onde q é a carga do pulso e R é a distância entre fonte e sensor.

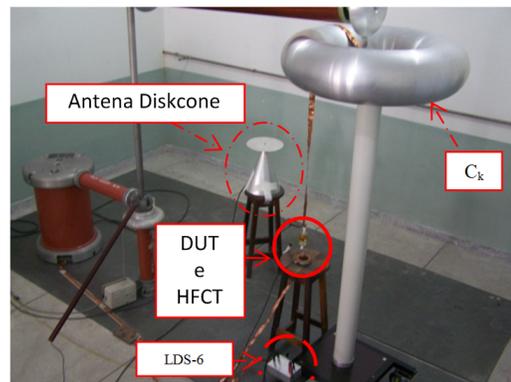


Figura 2: Esquema de medição usado.

A resposta em frequência da estrutura irradiante é, em geral, desconhecida e vai depender da geometria e dos materiais do local de geração da DP, bem como, da disposição dos condutores e isoladores que se conectam a esta estrutura. Uma vez que um modelo de repetição do sinal DP está sendo usado aqui, não é necessário nenhum modelo explícito da resposta de frequência da estrutura de radiação. Isso ocorre porque o efeito da resposta em frequência da estrutura de radiação já foi contabilizado na medição. Um argumento similar aplica-se à antena de recepção. Numa simulação em que o DP é gerado a partir de um modelo físico em vez de uma medida empírica, as respostas em frequência, tanto para a estrutura transmissora quanto para a receptora teriam de ser representadas explicitamente na simulação. O modelo de perda de percurso utilizado para esta simulação é o modelo para propagação no espaço livre [14].

A interferência estreita, coerente, é representada por um conjunto de senoides (não moduladas). O número, frequência e potência dessas interferências irão variar de local para local e de tempo em tempo. Um conjunto de medições foi realizado sobre uma banda de 10 MHz à 2000 MHz, utilizando uma antena de *diskcone* e um analisador de espectro. Pelos dados apresentados na Tabela I pode-se observar as frequências das portadoras e potências extraídas das medidas e utilizadas na simulação relatada aqui.

O amplificador 2 (Figura 1), seguindo o gerador de interfe-

Tabela I: Frequência e potência das portadoras usadas na simulação.

Frequência (MHz)	Potência (dBm)
29,9	-39,69
69,7	-53,70
94,58	-45,27
158,3	-52,52
189,1	-56,52
209	-57,63
228,9	-58,53
253,8	-58,27
293,6	-59,64
477,75	-59,67
527,4	-60,2
880,6	-56,81
1750	-17,00

rência coerente permite que a potência bruta da interferência seja alterada. As frequências e as potências dos suportes individuais serão específicas para um determinado local e para um determinado momento, mas, desde que existem (pelo menos) várias operadoras independentes que não são dominadas por um pequeno subconjunto (um ou dois), então provavelmente é a potência da interferência que é importante na avaliação da plausibilidade do sistema de detecção a ser considerada. Esta potencia bruta também será dependentes do local e hora considerado, assim um modelo das estatísticas espaciais e temporais desta potência dentro de uma determinada região geográfica seria útil para avaliar a proporção de sensores que operam de forma eficaz para uma determinada proporção de tempo (isto é equivalente a determinar a proporção de acontecimentos de DP de uma intensidade particular, que seria detectado com sucesso).

O ruído aditivo gaussiano branco (AWGN - *Additive White Gaussian Noise*) é adicionado à entrada do receptor assumindo uma temperatura de antena de 300 K. O amplificador 3 é incluído, principalmente, para permitir que o ruído do receptor interno seja adicionado. A figura de ruído deste amplificador para os resultados aqui apresentados foi escolhido para ser 3.0 dB. O ganho foi escolhido no valor de 0 dB, uma vez que o detector de envoltória simulado é ideal. Em uma aplicação prática do receptor o amplificador vai precisar ter ganho suficiente para que o sinal resultante conduza um detector de envoltória prático. A largura de banda do receptor é limitada por um filtro passa-banda de sexta ordem com frequência de corte inferior de 50 MHz e uma frequência de corte superior de 600 MHz. O detector de envoltória é um demodulador de amplitude ideal, compreendendo um filtro passa-baixa, como observado na Figura 3. O filtro passa-baixa no detector de envoltória é de quarta ordem com frequência de corte de 50 MHz.

A. Resultados da Simulação

Um exemplo de pulso DP medido experimentalmente pode ser observado na Figura 4 (a). Na Figura 4 (b), pode-se

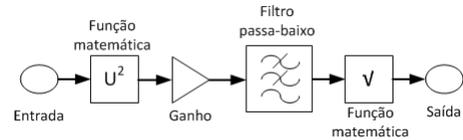


Figura 3: Diagrama de blocos da estrutura do detector de envoltória.

observar a relação sinal/ruído de pico do sinal pré detectado como função da distância entre sensor e fonte. Pela análise desta figura, pode-se concluir que a relação sinal/ruído é adequada até distâncias de pelo menos 50 m.

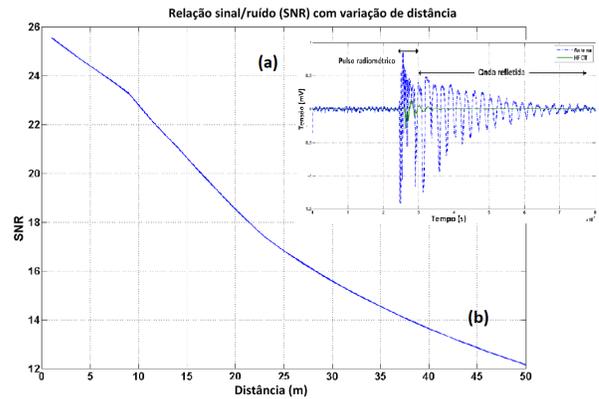


Figura 4: (a) Pulso de DP com componente devido a uma antena não casada propriamente com o sistema de medição, (b) Relação sinal/ruído de pico para uma variação de distância de 50 m.

Na Figura 5 (a e b) pode-se observar os pulsos retificados em diferentes distâncias (10 e 50 m em relação à fonte).

Na Figura 6 (a e b) pode-se observar os pulsos na saída do detector de envoltória sobrepostos aos pulsos retificados.

B. Otimização dos Parâmetros do Receptor

A viabilidade do receptor depende do detector de envoltória, uma vez que as fases anteriores do sistema já foram testadas com componentes reais. Sua sensibilidade permite medições dentro de um alcance de até 12 m, a partir de fontes de DP de 600 pC, com -30,45 dB a 12 m. Este é apenas um exemplo,

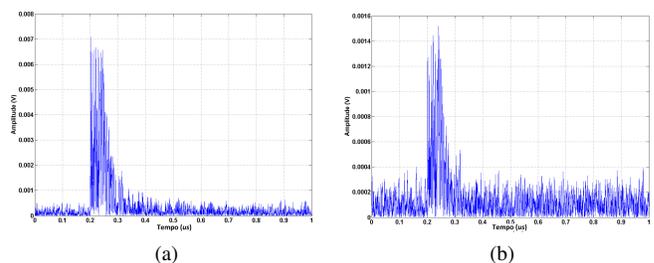


Figura 5: Simulação dos pulsos medidos em diferentes distâncias (a) 10 m e (b) 50m.

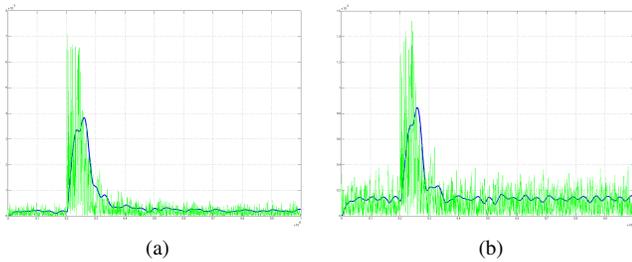


Figura 6: Sinal de DP (curva tracejada verde) e sinal do detector de envoltória (curva sólida azul) para diferentes alcances: (a) 10 m e (b) 50 m.

mas para medições em um ambiente real deve ser utilizado um receptor mais sensível, pela utilização de um amplificador antes do detector de envoltória. No entanto, esses resultados comprovam a eficácia do sistema para justificar a continuação do desenvolvimento da abordagem detector de envoltória para detecção DP radiométrica.

V. CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE DETECÇÃO

O sistema implementado usa medidas apenas de amplitude de sinais de DP através de uma antena que leva a uma abordagem mais barata e mais escalável. Quanto mais próximo o sensor está de uma fonte de DP, maior a amplitude do sinal esperado. Tal sistema de forma clara, portanto, tem o potencial de ambos, monitorar mudanças temporais em DP (dando assim aviso de possível falha de equipamento) e localizar fontes de DP (identificando, assim, que item do equipamento está em risco de falha). A localização de fontes de DP poderia (em sua forma mais básica) ser associada aos itens de equipamento mais próximos do nó sensor que recebe o maior sinal de DP. Algoritmos de localização mais complexos, podem usar métodos de *finger-print* para comparar a distribuição espacial das amplitudes de sinal DP com o registro de um gerador de sinal DP calibrado e movido sistematicamente através da área para o qual o sistema com sensores é projetado para monitorar.

Para implementar tal sistema, pelo menos, um sensor, deve estar suficientemente perto de cada fonte potencial de DP para ser capaz de detectar com segurança sinais DP significativos (sinais que são grandes o suficiente para sugerir degradação do isolamento que pode levar a uma falha catastrófica). Se a distribuição espacial dos sensores é suficientemente densa, considera-se que esta condição pode sempre ser atendida. O custo da rede de sensores proposto, no entanto, deve ser aproximadamente proporcional ao número de nós. Redes arbitrariamente densas não são, portanto, práticas.

VI. CONCLUSÕES

Uma simulação foi utilizada para investigar a plausibilidade e sensibilidade de um receptor radiométrico no espaço livre empregando detecção da envoltória do sinal medido. Dados medidos foram usados para modelar uma fonte de DP. Um modelo de perda de percurso em espaço livre foi utilizado para simular a perda de transmissão e interferência coerente

de banda estreita foi modelada por meio da extração de um conjunto de portadoras do espectro de fundo medido. A largura de banda de pré detecção do receptor é de 550 MHz. A largura de banda de pós detecção é de 50 MHz. Isto produz uma SNR satisfatória até um alcance de, pelo menos, 10 m com alcance máximo de 50 m. O detector de envoltória permite uma frequência de amostragem a ser reduzida à custa da SNR e, portanto, proporciona um mecanismo conveniente para negociação destas quantidades. A partir de uma taxa de amostragem mínima desejável (consistente com o SNR mínimo necessário) uma vez que isto reduz o custo do ADC, pode-se afirmar que a redução da taxa também reduz a potência necessária para (i) conduzir o ADC e (ii) processar dados localmente e/ou transmitir os dados para um nó base. Isto é importante se formas de reaproveitamento de energia são implementadas no nó sensor.

REFERÊNCIAS

- [1] B. Hampton. UHF diagnostics for gas insulated substations. In *High Voltage Engineering, 1999. Eleventh International Symposium on (Conf. Publ. No. 467)*, volume 5, pages 6–16 vol.5, 1999.
- [2] P.J. Moore, I.E. Portugues, and I.A. Glover. Partial discharge investigation of a power transformer using wireless wideband radio-frequency measurements. *Power Delivery, IEEE Transactions on*, 21(1):528–530, January 2006.
- [3] M.D. Judd, L. Yang, and I.B.B. Hunter. Partial discharge monitoring of power transformers using UHF sensors. part i: sensors and signal interpretation. *Electrical Insulation Magazine, IEEE*, 21(2):5–14, April 2005.
- [4] B.F. Hampton and R.J. Meats. Diagnostic measurements at UHF in gas insulated substations. *Generation, Transmission and Distribution, IEE Proceedings C*, 135(2):137–145, March 1988.
- [5] S. Shihab and K.L. Wong. Detection of faulty components on power lines using radio frequency signatures and signal processing techniques. In *Power Engineering Society Winter Meeting, 2000. IEEE*, volume 4, pages 2449–2452 vol.4, 2000.
- [6] I. A. Glover and P. M. Grant. *Digital Communications*, volume 1. Prentice Hall, second edition edition, 2004.
- [7] J.M.R. de Souza Neto, J.J.C. Silva, T.C.M. Cavalcanti, D.P. Rodrigues, J.S. da Rocha Neto, and I.A. Glover. Propagation measurements and modeling for monitoring and tracking in animal husbandry applications. In *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2010 IEEE*, pages 1181–1185, May 2010.
- [8] B. Sklar. *Digital communications: fundamentals and applications*. Prentice-Hall PTR, Upper Saddle River, N.J., 2001.
- [9] A. Goldsmith. *Wireless communications*. Cambridge University Press, Cambridge; New York, 2005.
- [10] J.M.R. de Souza Neto, E. Macedo, M. Batista, T.C.M. Cavalcanti, E. C. Guedes, J.S. da Rocha Neto, and I.A. Glover. Development of a partial discharge emulator for calibration of a radiometric PD detection system. In *International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2012)*, Graz, Austria, May 2012.
- [11] E. Macedo, J.M.R. de Souza Neto, J. M. Villanueva, E. C. Guedes, R. Freire, and I. A. Glover. Partial discharge estimation based on radiometric and classical measurements. In *International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2012)*, Graz, Austria, May 2012.
- [12] J.M.R. de Souza Neto, E. Macedo, M. Batista, T.C.M. Cavalcanti, E. C. Guedes, J.S. da Rocha Neto, and I.A. Glover. Early progress in the development of a radiometric PD location system. In *International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC 2012)*, Graz, Austria, May 2012.
- [13] Doble Lemke. *Prospect PDS-100*. http://www.doble-lemke.eu/en/Products/Partial_Discharge/PDS_100.html, 2011.
- [14] J.G. Proakis. *Digital communications*. McGraw-Hill, isbn: 0072321113 9780072321111 0071181830 9780071181839, Boston, 2001.