

Antena “N” de alto desempenho para aplicações NFC

H.R.D. Filgueiras, M. S. B. Cunha, P. H. F. Santos e Arismar Cerqueira S. Jr.

Resumo—O trabalho apresenta o desenvolvimento de uma antena “N” para aplicações NFC em 13,56 MHz. O projeto da antena baseou-se em uma distribuição de campo magnético uniforme ao longo da estrutura, a fim de aumentar o acoplamento entre antena e *tag* do sistema NFC. Comparou-se a antena “N” com modelo comercial e resultados experimentais demonstraram desempenho superior. Apresenta-se resultados numéricos e experimentais com ótima concordância e melhora de 21,8 dB no acoplamento.

Palavras chave—Antena, NFC e RFID.

Abstract— The work presents the development of an “N”-based antenna for NFC applications at 13.56 MHz. The antenna design aimed to a uniform distribution of the magnetic field along, with the purpose of increasing the coupling efficiency with the tag from NFC systems. The “N”-based antenna have been compared with commercial models and experimental results demonstrated an enhanced performance. Numerical and experimental results have been shown in excellent agreement and it is reported a 21.8-dB improvement in the antenna coupling.

Keywords— Antenna, NFC and RFID.

I. INTRODUÇÃO

Sistemas de comunicação de campo próximo (NFC – *Near-Field Communication*) operam na faixa de frequência de 13,56 MHz e possuem taxa de transmissão de dados de 106 a 424 kbit/s, de acordo com a ISO15693 [1]. Além de possuir uma relação complementar à tecnologia RFID (*Radio-Frequency Identification*), a tecnologia NFC é capaz de viabilizar a comunicação com dispositivos que usam redes sem fio *Bluetooth* e *Wi-Fi* [2][3]. Entretanto, pode-se dizer que as principais características desses sistemas são os altos níveis de segurança e qualidade sem um processo de emparelhamento, devido a uma limitação da distância de no máximo 10 cm [4]. Por isso, as aplicações em NFC, como sistemas de controle de acesso ou sistemas de transações bancárias com cartões, pulseiras e até mesmo *smartphones* têm se tornado cada vez mais populares [5].

A comunicação entre dois pontos em sistemas NFC é realizada por meio de acoplamento, diferente do processo de irradiação e captação de onda eletromagnética em

Hugo Rodrigues Dias Filgueiras, Matheus Sêda Borsato Cunha e Arismar Cerqueira Sodré Junior, Laboratório WOCA, Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), Avenida João de Camargo, 510, Santa Rita do Sapucaí-MG, Brasil, 37540-000.
E-mails: hugorodrigues@get.inatel.br; matheusseda@gee.inatel.br; arismar@inatel.br.

Pedro Henrique Fialho Santos, Laboratório WOCA, Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e Nowigo, Avenida João de Camargo, 510, Santa Rita do Sapucaí-MG, Brasil, 37540-000.
E-mail: java.pedro@gmail.com.

Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, processo Nº 422074/2017-9, sob o projeto Portfólio de Antenas Inovadoras para Aplicações RFID Baseadas em Tecnologia NFC e contou com apoio parcial da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

comunicações de campo distante. Com isso, são utilizadas antenas baseadas em espiras com múltiplas voltas (*loops*), análogas às bobinas de um transformador [4][6]. Na literatura, encontram-se diversos tipos de antenas, com distintos formatos, tamanho e composição estrutural, a fim de alcançar objetivos específicos. Com a proposta de diminuir os custos de fabricação, sem aumentar a deterioração do desempenho da antena, Byungje Lee *et al.* propuseram em [4] alterar a sequência de enrolamentos dos *loops* e modificar a estrutura do *loop* interno. Além disso, a lâmina de ferrite, comumente utilizada em antenas em *loop*, porém caras e frágeis, foi substituída por um polímero de ferrite com baixa permeabilidade magnética [4]. Outra proposta apresentada em [7], demonstra uma antena com seis espiras não convencionais, na forma de um hexágono irregular, projetada com espessuras e espaçamentos entre trilhas não uniforme. Com isso, as linhas de campo magnético são mais intensas em pontos específicos da antena [7].

No mercado, as antenas são padronizadas em modelos de seis *loops* com formato quadrado ou circular [4][6]. Sendo assim, o problema encontrado nessas estruturas é a existência de um nulo de campo magnético no centro da antena, prejudicando o acoplamento magnético com a *tag* NFC. O artigo apresenta o desenvolvimento de uma antena com campo magnético uniformemente distribuído ao longo de toda estrutura, a fim de melhorar a eficiência de acoplamento entre antena e *tag* de sistemas NFC. Trata-se de um projeto nomeado “Portfólio de Antenas Inovadoras para Aplicações RFID Baseadas em Tecnologia NFC”, de parceria entre o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel) e a empresa Nowigo, de Santa Rita do Sapucaí-MG, financiado pelo CNPq. A empresa Nowigo é especializada em soluções completas de controle e gerenciamento de acesso e consumo de pessoas.

O trabalho está dividido em quatro seções. A Seção II apresenta uma breve teoria e os requisitos de projeto de antenas para NFC, assim como resultados simulados comparando o modelo de estrutura comercial com a antena proposta. Os resultados experimentais são relatados na Seção III e, finalmente, a Seção IV aborda as conclusões e trabalhos futuros do artigo.

II. DESENVOLVIMENTO DA ANTENA “N”

Tipicamente, as antenas utilizadas em aplicações NFC consistem de bobinas ou *loop* para acoplamento indutivo [4]. As antenas *loop* concentram campo magnético (H) em seu interior, permitindo o acoplamento em campo próximo com as *tags* de identificação de um sistema NFC [8]. As principais métricas de antenas *loop* são a impedância (Z), indutância (L) e o fator de qualidade (Q) [4]. Busca-se a redução da resistência e o aumento da indutância no projeto de antenas NFC e, conseqüentemente, aumentar o fator Q a fim de melhorar a eficiência de acoplamento [8][9].

Esse trabalho propõe o desenvolvimento de uma antena em *loop* para aplicações NFC em 13,56 MHz. Grande parte das antenas utilizadas no mercado atualmente consistem em *loops* circulares ou retangulares [8]; a Fig. 1 apresenta o modelo numérico de uma antena comercial baseada em espira circular. É possível perceber a presença de um nulo do campo H no centro da antena, que prejudica a leitura de *tags* com dimensões menores. A antena apresenta as seguintes métricas de desempenho: impedância $Z = 7,48 + i287,73 \Omega$, indutância $L = 3,37 \mu\text{H}$ e fator $Q = 38,4$.

Propõe-se o conceito de uma antena retangular baseada em uma estrutura central em formato de “N” (Fig. 2) utilizada para mitigar o ponto de nulo do campo H na região central da estrutura. A antena consiste em uma espira quadrada (4x4 cm) com 8 *loops* e um elemento em “N” em seu interior. A utilização do “N” para distribuição do campo H no centro da placa visa melhorar o acoplamento entre antena e *tag* sem a necessidade de alinhamento. Optou-se pela estrutura retangular e o elemento em “N” devido à quantidade de vértices, que são capazes de concentrar ainda mais o campo H [10]. A antena foi projetada com substrato FR4 com permissividade elétrica relativa $\epsilon = 4,4$ e tangente de perdas $\text{tg}\delta = 0,02$.

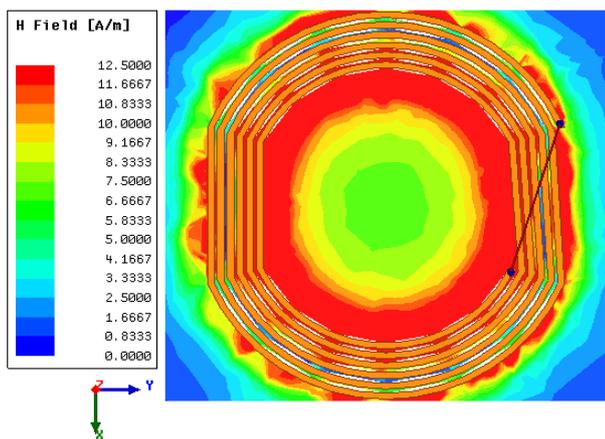


Fig. 1. Distribuição do campo magnético de uma antena *loop* comercial circular.

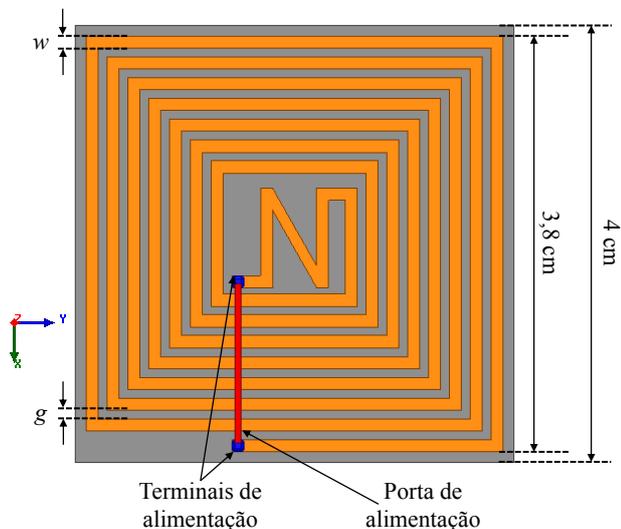


Fig. 2. Antena “N”.

A primeira etapa de projeto consistiu na análise da quantidade de *loops* da espira (T). A Tabela I apresenta os resultados de Z , L e Q para 6, 7 e 8 *loops*. Percebe-se que aumentar T acarreta em um decaimento no fator Q . Os valores obtidos são considerados altos, garantindo uma boa eficiência de acoplamento. Optou-se por $T = 8$ *loops* por apresentar uma boa relação de compromisso entre resistência e indutância. Não foram analisados valores de T maior que 8 por limitações de espaço na placa, restrito a 4x4 cm.

TABELA I. IMPEDÂNCIA, INDUTÂNCIA E FATOR Q PARA DIFERENTES NÚMERO DE LOOPS.

T	$Z(\Omega)$	$L(\mu\text{H})$	Q
6	$1,36 + i102$	1,2	75
7	$1,66 + i117$	1,37	70
8	$1,99 + i126$	1,48	63

Analisou-se a influência da espessura da trilha (w) e do espaçamento entre os *loops* (g). As Tabelas II e III apresentam os resultados de Z , L e Q para diferentes valores de w e g , respectivamente. Percebe-se que ao aumentar os valores de w e g , a impedância diminui nas partes real e imaginária, acarretando em uma queda de indutância. Utilizou-se $w = 1,1$ mm e $g = 0,8$ mm, por se tratar de uma boa relação de compromisso entre indutância, fator Q e resistência. Buscou-se valores intermediários de L , sem degradação considerável de Q e com resistência minimizada. Adicionalmente, a utilização de w e g maiores garantem o preenchimento de maior área da placa, melhorando a distribuição de campo H .

TABELA II. IMPEDÂNCIA, INDUTÂNCIA E FATOR Q PARA DIFERENTES ESPESURAS DE TRILHA.

W (mm)	$Z(\Omega)$	$L(\mu\text{H})$	Q
0,7	$2,77 + i179$	2,10	64,62
0,8	$2,48 + i164$	1,92	66,12
0,9	$2,19 + i151$	1,77	68,95
1,0	$2,03 + i138$	1,62	67,98
1,1	$1,99 + i126$	1,48	63,31
1,2	$1,86 + i109$	1,28	58,60
1,3	$1,72 + i93$	1,09	54,06
1,4	$1,59 + i87$	1,02	54,71
1,5	$1,49 + i77$	0,90	51,67

TABELA III. IMPEDÂNCIA, INDUTÂNCIA E FATOR Q PARA DIFERENTES ESPAÇAMENTOS ENTRE LOOPS.

g (mm)	$Z(\Omega)$	$L(\mu\text{H})$	Q
0,5	$2,59 + i157$	1,84	60,62
0,6	$2,35 + i146$	1,71	62,13
0,7	$2,08 + i136$	1,59	65,38
0,8	$1,99 + i126$	1,48	63,31
0,9	$1,78 + i111$	1,30	62,36
1,0	$1,60 + i105$	1,23	65,63
1,1	$1,42 + i93$	1,09	65,49
1,2	$1,35 + i88$	1,03	65,19
1,3	$1,24 + i79$	0,93	63,71
1,4	$1,20 + i76$	0,89	63,33

A Fig. 3 apresenta o campo magnético do modelo numérico final da antena “N”. Percebe-se que a utilização da estrutura em “N” e de *loops* que vão até o centro da antena

melhoram a distribuição de campo H em toda a estrutura, apresentando-se como uma solução potencial para melhoria de acoplamento. O modelo numérico final provê: $Z = 1,99 + i126 \Omega$; $L = 1,48 \mu\text{H}$; $Q = 63,31$.

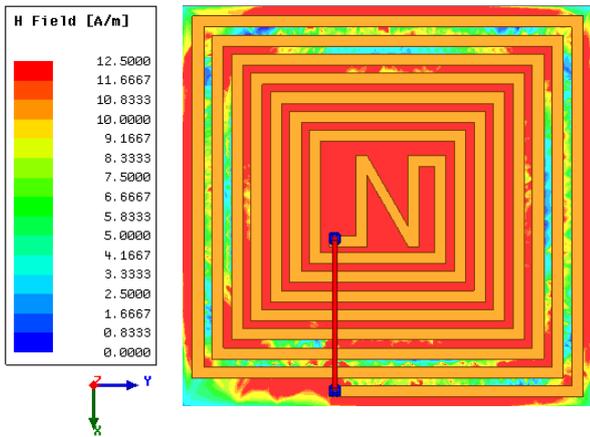


Fig. 3. Distribuição de campo magnético da antena “N”.

III. PROTOTIPAGEM E RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A antena foi construída e caracterizada no Laboratório WOCA (*Wireless and Optical Convergent Access*) do Inatel (Instituto Nacional de Telecomunicações). Uma vez que o protótipo não é conectorizado, mas possui fios soldados diretamente em seus terminais, foi necessária a calibração do equipamento com resistor de precisão de 50 ohms. A Fig. 4 apresenta como foram consideradas as situações de aberto (*open*), curto (*short*) e carga (*load*). A calibração foi realizada de 10 a 20 MHz, obtendo-se os seguintes valores de impedância em 13,56 MHz: $Z_{open} = 13681 - i73389 \Omega$; $Z_{short} = 0,2 + i0,42 \Omega$; $Z_{load} = 50,5 - i0,9 \Omega$.

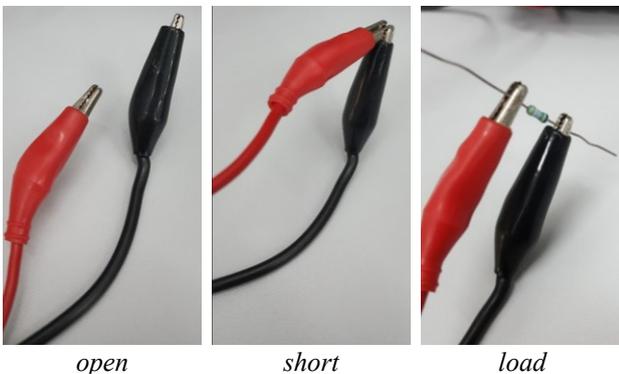


Fig. 4. Metodologia proposta para calibração do analisador de rede vetorial.

As medidas foram realizadas no analisador de rede vetorial, PNA N5224A, conforme apresenta a Fig. 5. As curvas de calibração e a comparação entre os resultados medidos e simulados de coeficiente de reflexão (S_{11}) da antena “N” são apresentados na Fig. 6. Percebe-se uma excelente concordância entre as curvas medidas e simuladas. O protótipo da antena “N” apresentou em 13,56 MHz: $Z = 3,89 + i137,64 \Omega$; $L = 1,62 \mu\text{H}$; $Q = 35$. As diferenças entre os valores medidos e simulados foram consideradas pequenas e aceitáveis.

Por fim, foi analisado o acoplamento da antena com a *tag* utilizada nas pulseiras de controle de acesso da empresa

Nowigo. Foram realizadas medidas de S_{11} da antena em contato com a *tag*, conforme apresenta a Fig. 5. Realizou-se também as medidas com a antena comercial em espira circular para fins de comparação. Os resultados de acoplamento são apresentados na Fig. 7 e 8 em função da Carta de *Smith* e magnitude do coeficiente de reflexão. Todas as medidas foram realizadas em um *setup* constituído apenas pela antena e *tag*, sem nenhum circuito de casamento de impedância adicional. Dessa forma, pôde-se avaliar o aumento de desempenho provido pela antena “N” proposta em relação à comercial.

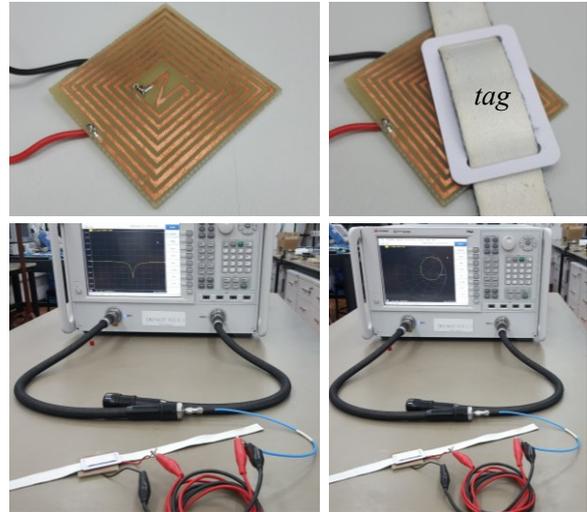


Fig. 5. Setup de medida e caracterização da antena “N”.

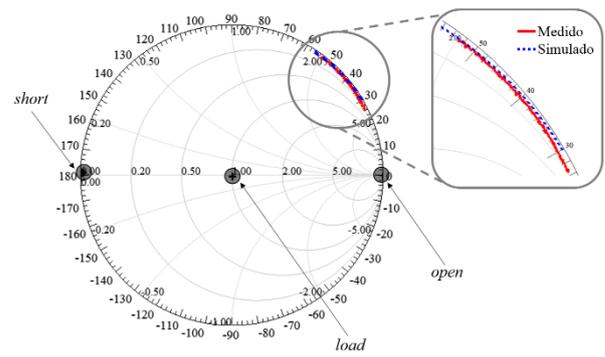


Fig. 6. Curvas de calibração e comparação de resultados de S_{11} da antena “N” simulada e medida.

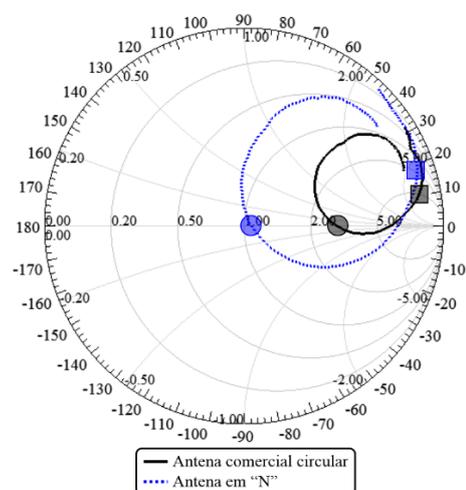


Fig. 7. Carta de *Smith* do S_{11} medido das antenas circular e em “N” acopladas à *tag*.

O *chip* utilizado nas *tags* é o PN544 da NXP. De acordo com o fabricante, o *chip* opera em 13,56 MHz no modo de leitura e gravação. Entretanto, ao ser retirado do circuito (*card mode*), possui a ressonância entre 14,5 e 16 MHz [9][11]. Na caracterização utilizada, foram utilizadas apenas as antenas e a *tag*, operando dessa forma em *card mode*. Na Fig. 7, percebe-se um ponto de ressonância mais intenso na antena “N” do que na antena circular, com uma melhoria significativa da impedância. Os pontos destacados com círculos são os de melhor ressonância, ocorrendo em 14,7 e 15,45 MHz para as antenas circular e “N” respectivamente. Os valores de impedância medido foram: $Z_{circular} = 125,56 + i7,33 \Omega$; $Z_N = 52,46 + i1,96 \Omega$. Percebe-se uma melhoria, no ponto de melhor ressonância de cada antena, em ambas as partes real e imaginária da impedância.

O fabricante da *tag* também estabelece que o valor da resistência (R) medida em *card mode* na frequência de gravação/leitura (13,56 MHz) de ser de aproximadamente $R = 80 \text{ ohms}$ [9]. Os quadrados destacados na Carta de *Smith* (Fig. 7) apresentam os pontos de medida em 13,56 MHz em ambas as antenas. A antena baseada em espira circular apresentou $R_{circular} = 160,31 \Omega$, já a antena em “N” apresentou $R_N = 84 \Omega$, ou seja, a antena proposta apresenta as características de impedância de acordo com o estabelecido pelo fabricante do *chip*.

A antena NFC não acoplada não apresenta ressonância, dada sua característica de concentração de campo magnético, intrínseca de dispositivos NFC. No entanto, ao acoplada com uma *tag*, a transferência de energia entre os dispositivos em uma determinada frequência acarreta em uma ressonância que pode ser identificada com uma medida de magnitude de S_{11} . Ou seja, o valor da magnitude do S_{11} , ao acoplar a antena com uma *tag*, representa a transferência de energia entre os dispositivos NFC.

A Fig. 8 apresenta a magnitude do S_{11} medido das antenas acopladas à *tag*. Percebe-se que a antena em “N” apresenta um acoplamento muito mais intenso do que a antena espira circular comercial. O ponto de ressonância da antena em “N” apresenta magnitude do coeficiente de reflexão de -30,4 dB, enquanto a antena espira circular apresenta a magnitude de apenas -8,6 dB, ou seja, uma melhora de 21,8 dB no acoplamento da antena com a *tag*, o que acarretará em uma melhora significativa na eficiência do sistema NFC. Ainda pode-se perceber uma banda na qual a magnitude do S_{11} é inferior à -10 dB, de 15,17 a 15,87 MHz, acarretando em 700 kHz.

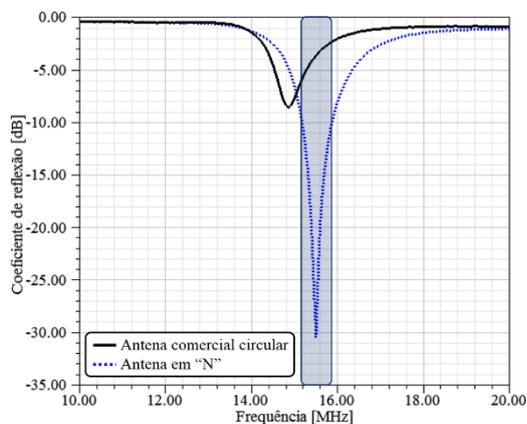


Fig. 8. Magnitude do S_{11} medido das antenas circular e em “N” acopladas à *tag*.

Pode-se estimar o fator Q do protótipo de duas maneiras distintas: dividindo o valor da reatância pelo da resistência (X_e/R); dividindo a banda de operação pela frequência central (B/f_c). Analisando-se a impedância da antena apresentada na Fig. 6, pode-se extrair para 15,5 MHz o valor $Z = 4,27 + i158,77 \Omega$, o que resulta em $Q = 37,2$. Por meio da Fig. 8, pode-se calcular Q dividindo 700 kHz por 15,5 MHz, resultando em $Q = 22$. Percebe-se uma pequena variação nas estimativas do fator de qualidade devido às imprecisões de calibração e, conseqüentemente, das medidas de impedância. No entanto, os valores são considerados próximos o suficiente, uma vez que o fator Q é uma métrica muito sensível à medida.

IV. CONCLUSÕES

O artigo apresentou o desenvolvimento e a aplicação de uma nova antena baseada em elemento central com formato em “N” para leitores NFC. A antena baseada em “N” permite distribuição de campo magnético ao longo de toda a estrutura, implicando em uma melhoria da eficiência de acoplamento magnético entre antena e *tag* NFC. Comparou-se a antena “N” com modelo comercial e resultados experimentais demonstraram desempenho superior. Apresentou-se resultados numéricos e experimentais com ótima concordância e melhoria de 21,8 dB no acoplamento. A antena proposta é uma solução potencial para aumento de performance de leitura/gravação em sistemas NFC. Como trabalhos futuros, propõe-se a implementação da antena na máquina de leitura utilizada pelo Nowigo para testes sistêmicos em condições reais.

REFERÊNCIAS

- [1] International Organization for Standardization, “Identification cards - Contactless integrated circuit cards - Vicinity cards - Part 2: Air interface and initialization,” ISO/IEC 15693-2, 2006.
- [2] Y. Tanabe, T. Chang, A. J. Yeh and A. S. Y. Poon, “A Small Dual-Band Asymmetric Dipole Antenna for 13.56 MHz Power and 2.45 GHz Data Transmission,” in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 13, pp. 1120-1123, 2014.
- [3] F. Paredes, I. Cairó, S. Zuffanelli, G. Zamora, J. Bonache and F. Martin, “Compact design of UHF RFID and NFC antennas for mobile phones,” in IET Microwaves, Antennas & Propagation, vol. 11, no. 7, pp. 1016-1019, 2 6 2017.
- [4] B. Lee, B. Kim, F. J. Harackiewicz, B. Mun and H. Lee, “NFC Antenna Design for Low-Permeability Ferromagnetic Material,” in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 13, pp. 59-62, 2014.
- [5] J. Fischer, “Near-field communications: NFC in cell phones: The new paradigm for an interactive world,” IEEE Commun. Mag., vol. 47, no. 6, pp. 22-28, Jun. 2009.
- [6] T. Bauernfeind, K. Preis, W. Renhart, O. Bíró and M. Gebhart, “Finite Element Simulation of Impedance Measurement Effects of NFC Antennas,” in IEEE Transactions on Magnetics, vol. 51, no. 3, pp. 1-4, March 2015, Art no. 7400804.
- [7] J. Zhu, Y. Ban, C. Sim and G. Wu, “NFC Antenna With Nonuniform Meandering Line and Partial Coverage Ferrite Sheet for Metal Cover Smartphone Applications,” in IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 65, no. 6, pp. 2827-2835, June 2017.
- [8] Dominique Paret, “Antennas Designs for NFC Devices,” ISTE Ltd and John Wiley & Sons, 2016.
- [9] NXP Semiconductors, “AN 190810: PN544 C2 antenna design guide,” Application note, Rev. 1.0, Apr. 2010.
- [10] C. Balanis, Antenna theory: analysis and design. 4th edn, Hoboken, NJ: Wiley, 2016.
- [11] M. Chung and C. Yang, “Miniaturized NFC Antenna Design for a Tablet PC With a Narrow Border and Metal Back-Cover,” in IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, vol. 15, pp. 1470-1474, 2016.