電子スピン共鳴用 L-band 共振器の自動整合制御機構の開発

Development of an Automatic Matching Control System of an L-band Resonator for EPR Measurements

阪大院基礎工　○(M1)濱垣　研太，　宮戸　祐治，　赤羽　英夫

Graduate School of Engineering Science, Osaka Univ.,

○(M1)Kenta Hamagaki, Yuji Miyato, Hideo Sato-Akaba

E-mail : u727953b@ecs.osaka-u.ac.jp

【はじめに】　電子スピン共鳴（EPR)は、静磁場中の電子スピンに対し、共鳴周波数の交流磁場を照射することで生じる磁気共鳴現象の一種である。我々は、EPR により生体中のラジカル分布を可視化し、酸化還元過程による代謝等をイメージングする装置の開発を行っている[1]。生体内のラジカルが引き起こす様々な疾患の診断法や治療法、医薬品の開発において、EPR によるイメージングは重要である。EPR による生体計測では、主に測定対象の生理動作により、共振器の共振周波数および整合がずれ、RF 送信波の反射を引き起こすという問題がある。そのため、安定計測には自動整合制御が必要不可欠である。そこで本研究では、外部からの直流電圧により容量を可変できる可変容量コンデンサを用いた整合回路およびそれを自動で制御する機構を開発した。また、開発機構を模擬し、解析を行うためのシミュレーターの開発も行った。

【開発】　開発した整合回路および共振器の外観と等価回路を Fig.1 に示す。実際の共振器は、長さ 30 mm、内径 22 mm の Multi coil parallel gap resonator (MCPGR)から成り、内部コンデンサとして CuFlon (CF-A-20-28-28)の銅箔部を加工して形成した。Cm、Ct にはそれぞれ BST 可変容量コンデンサの STPTIC-82G2、STPTIC-47G2 を用いた。この回路は外部からの直流電圧を Cm および Ct に印加し、その容量を可変することで、送信周波数において整合を取ることが可能である。Fig.2 に自動整合制御システムの概略を示す。不整合時に発生する反射波を送信周波数の 4/7 倍の周波数でバンドパスサンプリングし、FPGA 内で I 成分および Q 成分に分解する。その後、I-Q 成分の位相を調整した制御信号を生成して、整合回路の可変コンデンサに入力する。このフィードバック制御により反射波を抑制することで、整合を取ることができる。一方、開発したシミュレーターは Fig.2 の各要素をモデリングして、LabVIEW 上に再現した。これを用いて、制御電圧の初期値を与えることで制御電圧と反射波の I-Q 成分の時間変化を模擬計算することができる。

【実験および結果】　送信電力 17.7 dBm 周波数 754 MHz において、整合制御下の反射強度をスペクトラムアナライザ(N9340B, Agilent Technologies)を用いて測定した。Fig.3 にその結果を示す。反射波の最大強度が-100 dBm 程度に抑えられている。これより自動整合制御が有効に働いていると言える。また、シミュレーターにより安定的に制御できる条件についても検討した。今度、EPR 信号の SNR 改善には、反射強度をさらに抑える必要があり、開発したシミュレーターを活用し、改善する予定である。

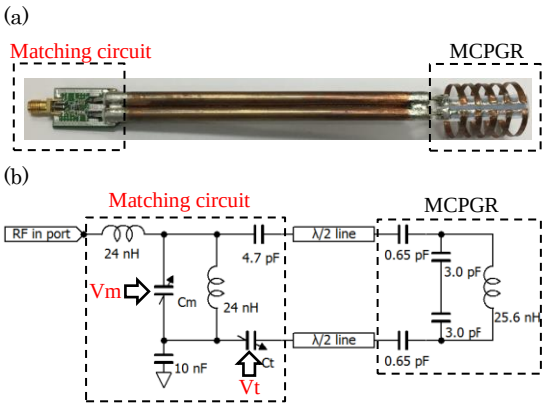

Fig.1 Matching circuit and MCPGR. (a) Appearance, and (b) its equivalent circuits.

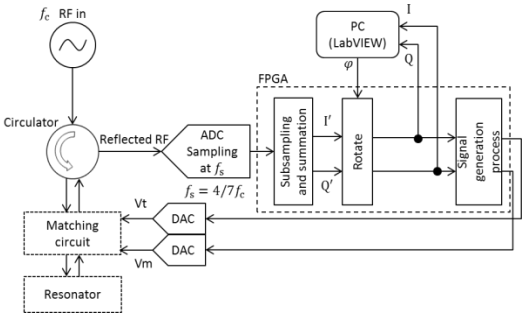

Fig.2　Automatic matching control loop in EPR system.

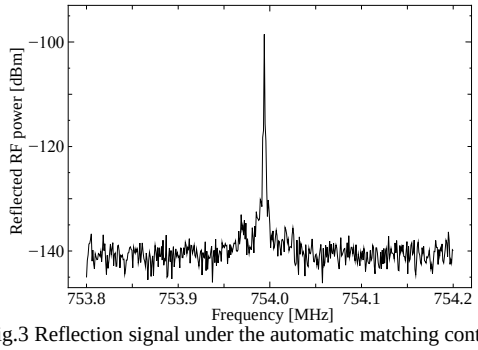

Fig.3 Reflection signal under the automatic matching control.

[1] H. Sato-Akaba, *et al*., J. Magn. Reson.**284**(2017) 48-45

謝辞：本研究は JSPS 科研費 18K04164 の助成を受けたものです。

© 2018年 応用物理学会