

位相検出型インピーダンス・プローブにおける応答速度の改良

若林 誠 [1]; 小野 高幸 [2]; 鈴木 朋憲 [3]

[1] 新居浜高専 電気情報工学科; [2] 東北大・理; [3] 東北大・理・地球物理

Improvement in response speed of phase detection type impedance probe

Makoto Wakabayashi[1]; Takayuki Ono[2]; Tomonori Suzuki[3]

[1] Niihama N.C.T.; [2] Department of Astronomy and Geophysics, Tohoku Univ.; [3] Dep. of Geophys, Graduate School of Sci., Tohoku Univ.

The impedance probe has been used for over 40 years, to obtain the absolute value of electron density in space plasma with high accuracy (Oya, 1966). In association with recent rocket campaigns, in-situ measurements of electron density by using impedance probe have been successfully carried out.

Recently, a phase detection type impedance probe has been developed to realize a continuous observation of the plasma density. In the previous instrumentation for the in-situ observations such as SEEK-2 in 2002 and DELTA in 2004 (namely, ordinary type impedance probe), the impedance probe showed an observation limit that it could not detect the fine structure of plasma irregularity due to the plasma instabilities. Detection of fine structure of the plasma density becomes very much important to understand the physical processes generated in the ionosphere. So, accurate observation of fine structure of plasma distribution with absolute value is essential to study the electro-dynamics in the ionosphere.

We tried to develop the phase detection type impedance probe by using PLL (Phase Locked Loop) method. The methodology of phase detection type was examined by numerical calculations and experiments in laboratory.

In the laboratory experiments, high time resolution of 6.25 ms was successfully obtained. However, response speed of the PLL circuit was too slow to track the steep gradient of electron density in the ionosphere. To improve the response speed, we provided two solutions. Firstly, we adopted crystal oscillator with 40MHz frequency for micro-controller. Secondly, we used the fast analog-to-digital converter IC (AD876) as a substitute for internal analog-to-digital converter of micro-controller. As a result, the response speed was improved obviously.

In the presentation, we will discuss about the property of present circuit and the application of rocket observations.

インピーダンス・プローブは、観測ロケット軌道上及び衛星軌道上の電子密度を3%の高精度で計測できる手法として、これまで頻りに用いられてきた。その草分けとなったのはOya[1966]による開発であり、2002年以降では電子回路部に最近のデバイスを積極的に採用する等の改良が施され、装置の安定性・信頼性は更なる向上を見せている。我々は2006年度よりインピーダンス・プローブの時間分解能の大幅な向上に向けた改良を行っており、これまで原理的な実証に加えて、電子密度の測定精度(現状では約11%)および高い時間分解能(約6.25ms)の見積もりが得られたが、回路の応答速度が不十分であり、急激な電子密度変化に追従できないという問題点があった。そこで、インピーダンス・プローブにおける高周波発振回路を改良し、回路の応答速度を向上させることに成功した。本発表では開発の現状と今後の展望について議論を行う。

インピーダンス・プローブはプラズマ中に伸展した導体プローブの等価容量を広帯域で計測し、周辺プラズマのUHR周波数を決定することで、電子密度の絶対値を得る装置である。この手法は、電子温度やプローブの形状、ポテンシャルなどの影響を受けずに、電子の絶対密度を計測でき、衛星観測 [Oya et al., 1979 等] やロケット観測 [Yamamoto et al., 1998; Wakabayashi et al., 2005 等] で多く用いられてきた実績がある。2002年のS310-31,32号機搭載インピーダンス・プローブにおいては、プローブに印加する高周波電界の周波数をDDS(Direct Digital Synthesizer)およびMicro-controllerによるデジタル制御とする等の改良が施され、回路の安定性及び調整作業の能率を向上させることに成功した [Wakabayashi et al., 2005]。インピーダンス・プローブは回路内部で広帯域にわたり周波数掃引を行う必要があるため、1掃引に要する時間がインピーダンス・プローブの時間分解能を決定している。掃引に要する時間は電子回路の時定数などによって制限されるため、従来の時間分解能は500ms程度が限界値であった。この時間分解能は観測ロケット搭載時では約500mの高度分解能に相当し、sporadic-E層の様に厚さ1kmスケールの構造を計測するには不足となる場合が生じる。また、sporadic-E層の内部には数mスケールの電子密度微細構造が存在する事が示されているが、そういった微細構造はこれまで固定バイアスプローブによってのみ検出されており [Mori and Oyama, 1998]、インピーダンス・プローブによる電子の絶対密度計測で検出した例はほとんど存在しない。インピーダンス・プローブによる計測の応用範囲を更に拡張してゆく上で、時間分解能の大幅な向上は必要不可欠な技術であると考えられる。

こういった背景を踏まえ、インピーダンス・プローブによる電子密度計測は2006年以降、高時間分解能化を目指しており、具体的な方法としてはPhase Locked Loop(PLL)をMicro-controllerとDDSを用いて構成し、UHR周波数の値のみを連続的に出力させる仕組みを考えている。UHR周波数の検出自体は、時間分解能6.25ms程度が実現できているものの、急激なUHR周波数の変化に追従するような高速応答は実現できていない。回路の応答速度を低下させる原因として、高周波発振回路における時間遅延(150us-200us)を減少させる必要がある。この問題に対し、「(1)DDSを制御するMicro-controllerのクロックを、従来の20MHzから40MHzに向上させる」「(2)A/D変換を、従来のMicro-controller内蔵A/Dコンバータから、高速A/D変換IC(AD876)に変更する」の2つの解決策を施した。これによって、高周波発振回路における時間遅延は80us-125usまで減少し、より高速な応答が可能となったばかりでなく、Laplace変換を用いた数値

計算による設計がより簡単に行えるようになった。

本発表では、今回作成した回路の特性や、電子密度の計測性能について詳細に議論する。