

氏 名 Andrei Lounine

学位（専攻分野） 博士(学術)

学位記番号 総研大乙第102号

学位授与の日付 平成14年9月30日

学位授与の要件 学位規則第4条第2項該当

学位論文題目 Evaluation of TE_{01} - TE_{02} Multimoded DLDS System

論文審査委員 主 査 教授 高田 耕治
教授 伊澤 正陽
助教授 陳 榮浩
助教授 野口 修一
教授 小早川 久 (名古屋大学)
主任研究 山崎 良成 (日本原子力研究所)
員

論文内容の要旨

Recent efforts to develop an electro-positron linear collider at TeV region highlighted a need for power sources capable of delivering the peak RF power of hundred megawatts at X-band frequency. Even the state of the art microwave tubes cannot produce such power. However, these tubes generally can produce pulses with length several times longer than the required duration. This situation has driven works on pulse compression, which enhances the peak power from klystrons by compressing their output pulses in time into shorter pulses. KEK has proposed DLDS (Delay Line Distribution System) as the pulse compression system for JLC. The original DLDS (the single-mode DLDS) uses a single propagation mode (TE_{01}) to deliver the pulsed power through circular delay lines to each RF structure sector. This scheme provides the highest efficiency, but needs a large amount of waveguides in return. A conceptual improvement was proposed by SLAC to further reduce the length of waveguide system by multiplexing several low-loss RF propagation modes in the same waveguide (thus, it is called the multimoded DLDS). Taking advantages of both the single-mode and the multi-mode DLDS, we proposed the dual-mode DLDS in which only two modes are used in the same waveguide to transport pulses to two different RF structure sectors. Through a series of experiments at KEK, we conclude that the best choice of the propagation modes is TE_{01} and TE_{02} modes. In this thesis, we present the details of these experiments and analysis results to determine the characteristics of the TE_{02} mode experimentally. We also describe the component design to realize the experimental set-up. Finally, a new and improved scheme of the dual mode DLDS, so-called the mixed “2+1” DLDS scheme is proposed and its detail layout is described. The total efficiency of this system is also evaluated and is shown to satisfy the requirement of JLC pulse compression system.

論文の審査結果の要旨

Andrei Lounine氏の博士論文の内容は、電子・陽電子リニアコライダーにおいてクライストロンからの大電力高周波パルスをもつDLDS(Delay-Line-Distribution-System)によって合成・分配する方法についての研究をまとめたものである。リニアコライダーの主加速器であるリニアック加速管で要求される電力パルスは、実用的なクライストロンが発生するものより、そのピーク値が数倍高く、幅は数分の1という大きなギャップがある。従ってリニアコライダーなどでのように高電界加速が要求されるリニアックでは、何らかの大電力高周波パルスの圧縮・分配技術がどうしても必要となる。

DLDSはその一つとして高エネルギー加速器研究機構で発明されたもので、現在最も高周波減衰率が小さい方法として米国でも盛んに研究されている。それは数十m以上に及ぶ長い円筒導波管から構成される立体回路でのパルス遅延時間と加速されるビームの走行時間の関係を利用したものである。

申請者は長年にわたりこの研究に携わってきたが、その過程でいくつかの独創的な貢献を行った。その第1は、伝送モードの選択についてである。SLAC(Stanford Linear Accelerator Center)で提唱されていたのは理論減衰率が最低値をとるものから順次選んでゆく方法であった。しかし申請者は実際の円筒導波管がもつ歪の影響を避けるという観点から、同じ円筒対称性をもつモード群から選ぶことを提唱した。長距離導波管が避けられない変形、接続部等を起因とするモード混合を極小にしようとしたものであるが、それは高エネルギー加速器研究機構のATF施設での日、米、ロシア合同の低電力試験で申請者により見事に証明された。その際、各伝搬モードの小さい減衰率を正確に測定、評価することは誤差の混入で極めて難しいものであるが、申請者は離散フーリエ解析法を駆使して、多数のスプリアスモードからの寄与を除去し、正確な数値を得ることに成功したことは特筆に値する。

第2は、いわゆる(2+1)方式DLDSの発明である。高エネルギー加速器研究機構では導波管総延長を短縮するために2つのモードを送る導波管を2本使う(2+2)方式DLDSを検討していた。しかし申請者は1本を単モードにする巧妙な立体回路構成の(2+1)方式を発明し、モード変換、合成に必要な特殊導波管部品数の低減によるシステム簡素化を行った。

第3は導波管部品設計への貢献である。申請者はHFSSコードを駆使して優れた特性をもつモード変換器を発明している。それは導波管内の電磁場の対称性を活用した巧妙なもので、申請者の電磁気学への深い理解と電磁場モデリング能力の高さを十分に示すものである。また600 MWのピーク電力に耐え、しかもモード純粋性を失わない各種導波管についての設計とモデル試験結果も論じられている。

第4は、これらの基礎的研究をもとにリニアコライダー計画の最新の設計仕様に適合したDLDSの精密な3次元設計を行ったことである。特に重要な工学的貢献は、すべての導波管部品個々の伝送率を綿密に計算し、総合的な高周波効率を決めるうえで重要なパラメータである総合的合成・分配効率を正確に85%と求めたことである。これはリニアコライダーの具体設計にとって極めて貴重な情報となるものであるが、SLACでも未だ手がつけられていない初めての仕事である。

審査委員会では申請者による上記のような極めて独創性に富むDLDS方式の提唱、その実験的研究、リニアコライダーのための具体的設計研究等が極めて高い学問的価値を有するものとして、全員一致で学位に値すると判定した。