

فرآیند واسنجی سیستم در آزمایش SURA

مصطفوی الحسینی، مریم^۱؛ سبوحی، محمد^۱؛ علیزاده، علی^۱؛ رستگارزاده، گوهر^۱^۱دانشکده فیزیک، دانشگاه سمنان، سمنان

چکیده

آرایه رادیویی دانشگاه سمنان، با هدف آشکارسازی پرتوهای کیهانی با انرژی بسیار بالا و ویژگیهای آنها با استفاده از تحلیل سیگنال رادیویی راه اندازی شده است. این آرایه به طور پیوسته و خودکار در حال ذخیره داده های مربوط به نامزد های احتمالی پرتو کیهانی است. از مزایای آشکار سازی رادیویی، امکان اندازه گیری مستقل و دقیق انرژی ذره اولیه می باشد. این کار نیازمند واسنجی دقیق تجهیزات مورد استفاده در کل آزمایش به منظور بازسازی مشخصه های پالس های رادیویی رسیده به آرایه و در نتیجه آن تعیین پارامتر های مهم بهمن گسترده هوایی از جمله انرژی اولیه ذرات اولیه می باشد. در این مطالعه، بخشی از فرآیند واسنجی مربوط به بخش های الکترونیکی آزمایش و همچنین شبیه سازی عملکرد آنتن های مورد استفاده در این مرحله مورد بررسی قرار گرفته است.

واژه های کلیدی: آرایه رادیویی دانشگاه سمنان (SURA)، پرتو های کیهانی، آشکار سازی رادیویی، واسنجی

System Calibration Process in SURA Experiment

Mostafavi Alhosseini, Maryam¹; Sabouhi, Mohammad¹; Alizadeh, Ali¹; Rastegarzadeh, Gohar¹¹ Department of Physics, University of Semnan, Semnan

Abstract

Semnan University Radio Array (SURA) is a radio array with the ultimate goal of detecting Ultra high energy cosmic rays and their properties using radio signal analyses. The array works in a self-trigger mode at the moment and stores possible cosmic ray candidates automatically. One of the advantages of radio detection techniques is the possibility of independent and precise measurement of the primary particle energy scale. This requires fine calibration of the devices used in the entire experiment in order to reconstruct the properties of the incident radio signals upon the array and measure important characteristics of extensive air showers including the primary particle. In this study, part of the calibration process related to the electronics and the expected performance of the current antennas based on their simulations are investigated.

Keywords: Semnan University Radio Array (SURA), Cosmic Rays, Radio Detection, Calibration

PACS No. 90.95

از تابش ها همچون چرنکوف و فلورسانس هم می گردد [۱]. میدان مغناطیسی زمین به عنوان اصلی ترین منبع، منجر به انتشار رادیویی پرتو های کیهانی می گردد که در سال ۱۹۶۰ مطرح و در دهه بعد به اثبات رسید [۲] و [۳].

آرایه رادیویی دانشگاه سمنان (SURA)

در حال حاضر سایت آرایه رادیویی دانشگاه سمنان شامل پنج آنتن رادیویی (۴ آنتن لوگ پریودیک و یک آنتن دایپل) است که در

مقدمه

پرتوهای کیهانی با انرژی بسیار بالا در برخورد با جو زمین، با ذرات موجود در جو اندرکنش انجام داده و بهمن های گسترده هوایی را به وجود می آورند. برای بررسی این پدیده، متناسب با انرژی ذره اولیه از اندازه گیری مستقیم و غیر مستقیم استفاده می شود. آشکار سازی در انرژی های بالاتر از $10^{14} eV$ با روش اندازه گیری غیر مستقیم انجام می شود که بر اساس ذرات ثانویه حاصل از اندرکنش ذره اولیه است. این اندرکنش باعث تولید انواع مختلفی

پشت بام دانشکده فیزیک دانشگاه سمنان مستقر شده اند [۴]. سیگنال های دریافتی توسط این آنتن ها توسط کابل کوکسیال با کیفیت بالا به منظور تحلیل به گیرنده مرکزی موجود در مرکز آرایه منتقل می شوند. گیرنده مرکزی داده ها را از حالت آنالوگ به دیجیتال تبدیل کرده و در نتیجه تحلیل داده های ثبت شده توسط برنامه ای که توسط تیم SURA توسعه داده شده است، فقط داده هایی که نامزدهای ممکن برای پرتو کیهانی هستند ذخیره شده و قابل بررسی در رایانه آزمایشگاه می باشد. به منظور تقویت سیگنال رادیویی و جلوگیری از تاثیرات ناشی از حضور سیگنال های ناخواسته، هر آنتن به یک تقویت کننده با نویز کم و یک فیلتر عبور دهنده میان گذر مجهز شده است. شماتیک حال حاضر آزمایش SURA و اطلاعات فنی واحد های مورد استفاده در آزمایش به طول مفصل در [۴] مورد بررسی قرار گرفته است.

آزمایشات انجام شده و نتایج به دست آمده

۱- کابل

ایستگاه های رادیویی در یک آرایه می توانند به صورت بی سیم یا با سیم با مرکز داده گیری و ذخیره اطلاعات در ارتباط باشند. تقریباً تمام آزمایشهای رادیویی فعلی، نمونه اولیه خود را در مجموعه ای که با استفاده از کابل های کوکسیال به مرکز داده متصل شده بود آغاز کرده و با گسترش آزمایش، از پیکربندی بی سیم استفاده کرده اند. در طرح فعلی آزمایش SURA از حالت سیم کشی استفاده شده و طبق برنامه ریزی در مرحله بعد، با گسترش آرایه و افزایش فواصل، ارتباط بین خوشه های آرایه به صورت بی سیم خواهد بود. در طرح فعلی آزمایش، حداکثر فاصله هر ایستگاه رادیویی از واحد گیرنده مرکزی که در آن سیگنال های رادیویی از چهار آنتن لوگ پررودیک دریافت و آنالیز می شود، ۳۰ متر است. این فاصله با دقت اندازه گیری شده تا از طول کابل های یکسان برای همه ایستگاه های رادیویی اطمینان حاصل شود. به منظور حفظ داده های رادیویی در هنگام انتقال، از کابل کوکسیال RG-213 استفاده کردیم. این کابل دارای میزان ضریب تضعیف اسمی حدود 2 dB در ۷۰ مگاهرتز در ۳۰ متر است. ما تصمیم گرفتیم برای بالا بردن دقت کار، این ضریب را برای آزمایش SURA بطور دقیق اندازه گیری کنیم. در

روش واسنجی^۱

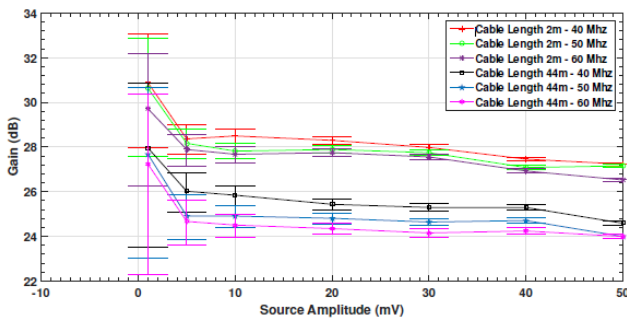
دو روش اصلی برای واسنجی وجود دارد:

الف) روش End to end: در این روش از یک منبع خارجی برای کالیبره کردن سیستم استفاده می شود که این منبع می تواند نجومی یا یک آنتن کالیبره شده باشد. روش کار به این صورت است که توان دریافتی کلی الکترونیک با توان منتقل شده از منبع خارجی مقایسه می شود و در نهایت عملکرد سیستم الکترونیکی به صورت یکباره مورد بررسی قرار می گیرد. این روش در آزمایش های بزرگ مورد استفاده قرار گرفته است اما متأسفانه هزینه بالا و قطعات ویژه مورد نیاز، امکان انجام این روش توسط تیم SURA را بسیار مشکل نمود.

ب) کالیبراسیون مرحله ای: نحوه کار در این روش به این صورت است که تک تک اجزاء تشکیل دهنده سیستم در آزمایش تا حد امکان کالیبره شده و در نهایت، تاثیر کل الکترونیک مورد استفاده بر روی سیگنال های دریافتی، مورد بررسی قرار می گیرد.

- 1 Calibration
- 2 Low Noise Amplifier (LNA)
- 3 Band Pass Filter
- 4 Analog to Digital Converter

کمتر از ۱۰۰ مگا هرتز می باشد. به منظور اندازه گیری این ضریب، از شرایط ذکر شده برای دو طول متفاوت کابل یعنی ۲ و ۴۴ متر استفاده کردیم. همانگونه که در شکل ۲ مشاهده می شود، برای پالس های رادیویی کم دامنه که موارد مطالعه در آزمایش SURA نیز به شمار می روند، شاهد تقویت قابل ملاحظه ای هستیم. مقدار ضریب تقویت این دستگاه نیز برای طول ۴۴ متر برابر با $25 \pm 1 \text{ dB}$ اندازه گیری شده است.



شکل ۲: رابطه میان دامنه سیگنال های رادیویی شده و ضریب تقویت آن توسط واحد تقویت کننده برای دو طول سیم متفاوت ۲ و ۴۴ متر.

۳- فیلتر میان گذر

به منظور از بین بردن انتشار های رادیویی خارج از محدوده مورد مطالعه در آزمایش SURA، به هر آنتن یک فیلتر میان گذر نیز متصل شده است. وظیفه این قطعه حذف فرکانس های خارج از محدوده ۴۴ تا ۷۹ مگاهرتز می باشد. که این محدوده برای آزمایش SURA ایده آل محسوب می شود. عملکرد این واحد در دست بررسی می باشد.

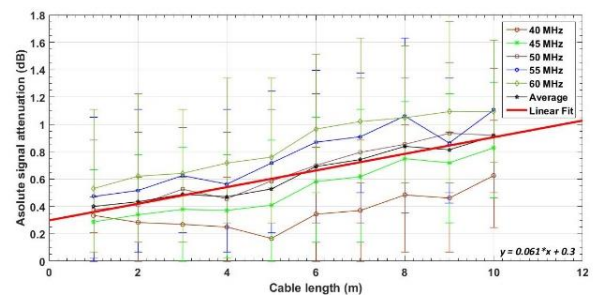
۴- مبدل آنالوگ به دیجیتال

فرآیند تبدیل پالس رادیویی آنالوگ به دیجیتال توسط یک واحد مبدل آنالوگ به دیجیتال که دارای ۴ کانال ۱۴ بیتی می باشد انجام می شود. این بخش دارای سرعت نمونه برداری 160 MSPS است که داده های نمونه برداری را همراه با زمان رویداد ذخیره می کند و برای تحلیل به بخش آرایه دریاچه ی برنامه پذیر میدانی^۵ منتقل می نماید. مراحل کالیبره کردن این واحد در حال انجام می باشد.

⁵ Field Programmable Gate Array

این آزمایش از طول های مختلف کابل از ۱ تا ۱۰ متر استفاده شده است. پالس های رادیویی تولید شده نیز در محدوده فرکانس ۴۰ تا ۶۰ مگاهرتز با فاصله ۵ مگاهرتز ایجاد شده اند. در نهایت برای سیگنال های رادیویی با دامنه ۵ میلی ولت تا ۲ ولت، ضریب افت کابل برای هر فرکانس و طول اندازه گیری شد. در شکل ۱، نمودار رابطه میان طول کابل و میزان تضعیف سیگنال تولید شده برای فرکانس های مختلف حاصل از نتایج این آزمایش نشان داده شده است.

با توجه به طیف خطی فرکانسی پالس های رادیویی پرتو های کیهانی در بازه فرکانسی مورد مطالعه، از یک تابع خطی برای محاسبه میزان تضعیف میانگین در شکل ۱ استفاده شده است. معادله حاصل از برازش نمودارهای رسم شده در شکل ۱ نشان می دهد میزان افت سیگنال در ۳۰ متر برای کابل های استفاده شده در آزمایش برابر با $1.83 \pm 0.2 \text{ dB}$ خواهد بود.



شکل ۱: رابطه میان تضعیف سیگنال های رادیویی و طول کابل مورد استفاده در آزمایش SURA برای فرکانس های مختلف.

۲- تقویت کننده سیگنال

به علت ماهیت سیگنال های رادیویی پرتو های کیهانی که از نظر زمان و دامنه بسیار کوچک هستند، شکار این نوع از انتشار یک چالش دشوار به حساب می آید. به منظور حذف ویژگی های سیگنال های رادیویی در مسیر انتقال از آنتن رادیویی به گیرنده مرکزی از یک تقویت کننده سیگنال بهره برده ایم. این قطعه بطور مستقیم به آنتن متصل شده و با توجه به مشخصات درج شده توسط شرکت سازنده آن، دارای یک ضریب افزایش اسمی ثابت بین 24.17 تا $25.15 \pm 0/03 \text{ dB}$ به ازای ولتاژ ۱۲ تا ۱۵ ولت در فرکانس

۵- آنتن

نتیجه گیری

در این پژوهش فرآیند کلی کالیبره کردن آرایه رادیوی دانشگاه سمنان مورد بررسی قرار گرفت. همچنین نتایج حاصل از اقدامات انجام شده برای کالیبره کردن بخشی از الکترونیک مورد استفاده نیز ارائه گردید. میزان تضعیف پالس های رادیویی در کابل های مورد استفاده مطابق با نتایج مورد انتظار بوده و مقدار تضعیف به طور مشخص محاسبه گردید. همچنین ضریب تقویت سیگنال های رادیوی نیز برای فرکانس های مختلف و دو طول سیم متفاوت محاسبه گردید. بخشی از مراحل کالیبره کردن آزمایش SURA هم اکنون در حال انجام است. در نهایت با شبیه سازی دقیق آنتن رادیویی مورد استفاده و با بهره گیری از برنامه توسعه داده شده توسط تیم SURA برای تعیین جهت پالس های رسیده به آرایه، امکان بررسی مشخصات سیگنال های رسیده به آنتن رادیویی به وجود آمده است.

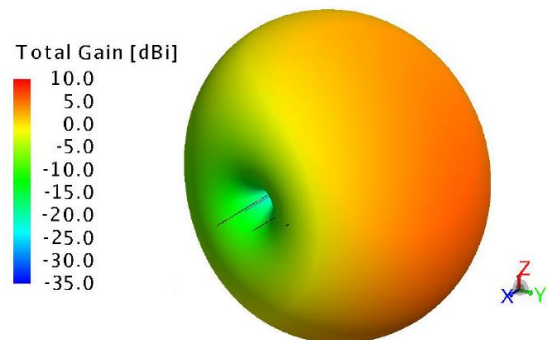
مرجع ها

- [۱] Kampert, K., Unger M.: Measurements of the cosmic ray composition with air shower experiments. *Astropart.Phys.* 35, Issue 10, 660 (2012)
- [۲] Jelley, J. V., et al.: Radio pulses from extensive cosmic-ray air showers. *Nature* 205, Issue 4969, 327 (۱۹۶۵)
- [۳] Wilson, J.G., Wouthuysen S.A.: **Progress in Elementary Particles and Cosmic Ray Physics**. Amsterdam (Netherlands): North-Holland Publishing Company. 10, 325 (1971)
- [۴] Rastegarzadeh, G., and M. Sabouhi. "SURA: Semnan University Radio Array." *Experimental Astronomy* 49.1 (2020): 21-41.

در طرح فعلی آزمایش SURA، از ۴ آنتن لوگ پرئودیک بهره برده ایم که به طور اختصاصی برای آزمایشگاه SURA طراحی شده اند. این آنتن ها در محدوده 40 تا 80 MHz حساس هستند. با توجه به اینکه در حال حاضر امکان کالیبراسیون میدانی آنتن ها برای ما مقدور نمی باشد، کالیبراسیون آنتن بر اساس شبیه سازی های رایانه ای انجام شده است.

در نتیجه شبیه سازی های انجام شده امکان بررسی عملکرد مورد انتظار آنتن در فرکانس های مختلف وجود دارد. یکی از مهم ترین پارامترهای یک آنتن رادیویی، الگوی تابشی در فرکانس های مختلف می باشد. در حال حاضر امکان محاسبه الگوی تابشی آنتن مورد استفاده در آزمایشگاه SURA به طور دقیق و با دقت کم تر از ۱ درجه وجود دارد.

این امر سبب می شود تا بتوان با بهره گیری از مقادیر شبیه سازی شده برای ضریب تقویت آنتن در زوایای سمتی و سرسویی خاص، و با بهره گیری از برنامه توسعه داده شده توسط تیم SURA برای تعیین جهت پالس رسیده به آنتن رادیویی، شدت پالس رادیویی رسیده به آنتن را مورد محاسبه قرار داد و با توجه به مقادیر آن، به بررسی ویژگی های بهمن گسترده هوایی پرداخت. شکل ۳ شبیه سازی سه بعدی الگوی تابشی آنتن رادیویی SURA در فرکانس ۴۰ مگاهرتز را نشان می دهد.



شکل ۳. الگوی تابشی سه بعدی آنتن رادیویی SURA در فرکانس ۴۰ مگاهرتز که به وسیله شبیه سازی رایانه ای ترسیم شده است.