

مدولاتور راه انداز لامپ کلاسترون با توان خروجی پالسی ۲۵ مگاوات و توان متوسط ۲۵ کیلووات

صنایع الکترونیکی و مخابراتی

مشخصات فناوری	
دسته فناوری	ماشین آلات و تجهیزات پیشرفته
زیردسته فناوری	تجهیزات پیشرفته سایر حوزه ها
توضیحات	ساخت مدولاتور (منبع پالسی) راه انداز لامپ

اطلاعات مسئله	
نوع مسئله	توسعه محصول جدید
دلایل ایجاد مسئله	مشکل تامین کالا (وجود تحریم و ...)
شیوه همکاری	قابل مذاکره

شرح مسئله

• محصول (محصولات) تولیدی متقاضی

یکی از دلایل توجیه پذیری یک فناوری توجه به کاربردهای آن فناوری در عرصه های مختلف است. نفوذ کاربردهای یک فناوری در زمینه های مختلف پزشکی، صنعتی، امنیتی و ... سبب می شود توسعه فناوری از اهمیت بالایی برخوردار گردد. توسعه فناوری شتابدهنده ها با توجه به کاربردهای فراوان آنها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این راستا، طی چندین سال اخیر در پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای، طراحی و ساخت شتابدهنده های ذرات آغاز شده است. در این سال ها شتابدهنده رودوترون، شتابدهنده الکترواستاتیک ۲۰۰ کیلو الکترون ولت و شتابدهنده داینامیترون ساخته شده است و در حال حاضر ساخت شتابدهنده خطی الکترون در حال انجام است. شتابدهنده ها زیرسیستم های مختلفی دارند و هر یک از این زیرسیستم ها به تنهایی شامل فناوری خاص خود می باشند و همچنین هر یک از زیرسیستم ها می تواند در فناوری ها یا صنایع دیگر نیز کاربرد داشته باشد. برای مثال زیرسیستم مولد RF شتابدهنده های خطی علاوه بر کاربرد در حوزه شتابدهنده، در صنعت دفاعی، در صنعت مخابرات و در حوزه گداخت کاربرد دارد.

- **روش تولید محصول**

در این مرکز بر اساس نیاز و پتانسیل کشور، شتابدهنده‌های الکترواستاتیک و رادیوفرکانسی در کاربردهای مختلف ساخته می‌شود و سعی می‌شود تا حد امکان زیرسیستم‌های شتابدهنده‌های ساخته شده درون کشور بومی‌سازی شود. اما با توجه به محدودیت نیروی انسانی و محدودیت زمانی، سیاست این مرکز مبتنی بر طراحی و ساخت همه‌ی زیرسیستم‌های شتابدهنده توسط کارشناسان مجموعه نمی‌باشد. در این راستا با توجه به توانمندی‌های موجود در کشور، برخی از زیرسیستم‌ها (بطور کلی یا جزئی) به شرکت‌ها، پژوهشکده‌ها، دانشگاه‌ها یا موسسات تحقیقاتی داخل کشور برون‌سپاری می‌شود. در این طرح نیز طراحی و ساخت یکی از زیرسیستم‌های مهم شتابدهنده‌های رادیوفرکانسی پرتوان ارائه شده است تا بررسی ساخت آن درون کشور انجام شود.

- **مواد اولیه مصرفی**

در این طرح هدف ساخت تجهیز است و مواد اولیه مصرفی معنای خاصی ندارد.

- **تعریف دقیق مشکل یا نیاز**

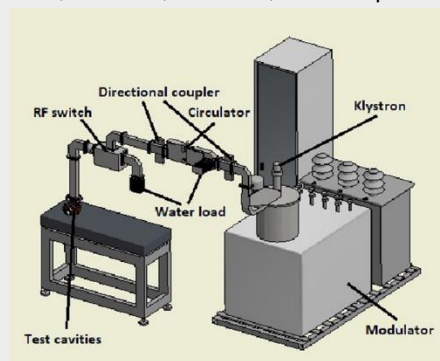
همانطور که اشاره شد، شتابدهنده‌ها شامل زیرسیستم‌های مختلف می‌شوند. یکی از این زیرسیستم‌های اساسی در شتابدهنده‌های رادیوفرکانسی، سیستم تأمین توان RF مورد نیاز شتابدهنده است. سیستم‌های تأمین توان RF در بازه‌های فرکانسی مختلف در توان‌های خروجی مختلف ساخته و بکار برده می‌شوند. درون کشور طراحی و ساخت سیستم‌های تأمین توان RF در چندین باند فرکانسی در توان‌های عموماً پایین (نسبت به توان مورد نیاز در این طرح) برای حوزه‌های مختلف از جمله حوزه شتابدهنده ساخته شده است. در این طرح هدف ساخت سیستم تأمین توان RF در محدوده باند S به عنوان منبع تغذیه برای شتابدهنده خطی الکترون پرتوان است. در حال حاضر در کشور سیستم تأمین توان RF باند S تا توان ۶/۵ مگاوات ساخته شده است. دستیابی به شتابدهنده‌های خطی پرتوان نیازمند به منابع RF با توان بالاتر است. در نتیجه ساخت منابع RF با توان بالاتر یکی از نیازهای اساسی برای دستیابی به شتابدهنده‌های خطی پرتوان برای کاربردهای مختلف است.

- **هدف و محدوده طرح**

سیستم تأمین توان RF به عنوان یکی از زیرسیستم‌های شتابدهنده، به نوبه‌ی خود شامل زیرسیستم‌هایی است که برای تبدیل برق خط AC به توان RF و همچنین رساندن توان RF به تجهیز مدنظر (به عنوان مثال کاواک‌های شتابدهنده) است. بطور کلی می‌توان گفت این سیستم شامل سه زیرسیستم اصلی می‌شود. ۱- لامپ رادیوفرکانسی (مانند لامپ کلایسترون) ۲- مدولاتور راه انداز لامپ ۳- سیستم انتقال توان.

مدولاتور، برق AC را به توان پالسی ولتاژ بالا تبدیل می‌کند. قطعات اصلی آن یک منبع تغذیه ولتاژ بالا، یک مولد پالس ولتاژ بالا و یک ترانسفورماتور پالس است. سپس لامپ کلایسترون توان RF پالسی را از توان پالسی ولتاژ بالا تولید می‌کند و سپس سیستم انتقال توان، توان RF را به تجهیز مورد نظر می‌رساند و همچنین لامپ کلایسترون را از توان برگشتی محافظت می‌کند. سیستم LLRF نیز شکل، دامنه و فاز RF را کنترل می‌کند. زیرسیستم‌های جانبی مختلفی (مانند سیستم خلاء و سیستم کنترل) برای لامپ کلایسترون

و مدولاتور مورد نیاز است. برای مثال سیستم کنترل و اینترلاک، سیستم تأمین توان RF را کنترل می کند و از خط انتقال، لامپ و مدولاتور در صورت خرابی محافظت می کند. در شکل زیر طرح واره ای از سیستم تأمین توان RF به همراه زیرسیستم های اصلی آن نشان داده شده است. در این شکل سیرکولاتور، کوپلر جهتی، بار و سوئیچ RF زیرسیستم های سیستم انتقال توان محسوب می شوند.



با توجه به متفاوت بودن ماهیت ساخت زیرسیستم های مختلف سیستم تأمین توان RF، هر یک از زیرسیستم های اصلی در طرح های جداگانه ارائه شده است. در این طرح هدف طراحی و ساخت قسمت مدولاتور برای این سیستم است. این مدولاتور باید بتواند لامپ کلايسترون با توان پالسی خروجی ۱۵ مگاوات و توان متوسط ۱۵ کیلووات را راه اندازی کند. در جدول زیر حدود پارامترهای مورد نظر برای مدولاتور آورده شده است. همچنین مدولاتور باید شامل زیرسیستم های زیر باشد:

- Control System
- Remote Control
- Local Control Panel
- Mains Power Distribution
- Cooling System
- Filament PS
- Klystron Socket
- Pulse Sensors
- Hard Wired Interlock System

Modulator specification	
Modulator Peak Power	۲۵ MW
Modulator Average Power	۲۵ kW
Pulse width	۶ μs
Flat-top duration	۵ μs
Precision at flat-top	< ۰,۵ %
Modulator Voltage Stability, RMS	۰'۱۵%
Repetition rate	۲۰۰ Hz
Nominal voltage	۱۷۰ kV
Nominal current	۱۵۰ A
Rise/fall times	۱ μs
efficiency	< ۷۵ %
Cooling	water
Water Cooling Interface In/Out	ISO G' ۱ ۱/۲"
Maximum energy in case of arc	< ۲۰ J
lifetime	> ۴۰۰۰۰ h

• عوامل محیطی و محدود کننده ، موثر بر نیاز

- تأمین خارجی مدولاتور به راحتی امکان پذیر نیست و ساخت این تجهیز به لحاظ فنی پیچیدگی دارد و اولین نمونه ساخته شده (با این مشخصات) در کشور خواهد بود.
- مشخصات گفته شده در جدول بالا حدودی است و با توجه به مشخصات لامپ ممکن است بعضی پارامترها تغییر کند.
- در رک مدولاتور بهتر است مکانی برای قرارگیری لامپ تعبیه شده باشد. ابعاد حدودی رک از ۱۵۰ cm × ۱۵۰ cm × ۱۵۰ cm بیشتر نشود.

• چرا شرکت باید این مشکل را حل کند؟

- ۱- خرید این محصول از خارج به راحتی امکان پذیر نیست.
- ۲- تا کنون این محصول (با مشخصات مذکور) توسط هیچ شرکت یا موسسه‌ای در کشور ساخته نشده است.
- ۳- با ساخت این محصول یکی از زیر سیستم‌های مهم شتابدهنده‌های پرتوان در کشور بومی سازی شده است.
- ۴- این محصول در صنایع دیگر (جنگال، لیزرهای الکترون آزاد و پلاسما) کاربرد دارد و می‌تواند نیاز آنها را نیز برطرف کند
- ۵- ساخت این محصول زیرساخت فناوری کشور را در حوزه‌های کاربردی آن به طرز چشمگیری افزایش می‌دهد.

• حل مشکل چه ارزشی برای شرکت ایجاد می‌کند (عدم حل مشکل چه هزینه‌هایی دارد)؟

به عنوان شرکت سازنده در کشور شناخته می‌شود و می‌تواند به سایر صنایع نیز محصول خود را ارائه دهد. همچنین شرکت می‌تواند صادرات این محصول را در دستور کار خود داشته باشد. در صورت عدم موفقیت در ساخت چنین تجهیزاتی نیاز به تأمین خارجی آن برای صنایع گفته شده وجود دارد که به راحتی نیز خریداری نخواهد شد و در صورت امکان نیز هزینه‌ی ارزی زیادی به همراه خواهد داشت.

• تحلیل دلایل ریشه‌ای مسئله و عوامل ایجاد

با توجه به پیشرفت کشور در صنایع مختلف از جمله شتابدهنده‌ها نیاز به تجهیزات جدید و حتی المقدور بومی سازی آن‌ها می‌باشد. ساخت این محصول نیز با توجه به پیشرفت صنعت ساخت شتابدهنده در کشور احساس شده است و در آینده نزدیک در صنعت دفاعی (به عنوان ابزاری در جنگ الکترونیکی) اهمیت این محصول بیشتر و بیشتر خواهد شد. در حوزه پلاسما، گداخت و لیزرهای الکترون آزاد نیز اهمیت بومی سازی این محصول در آینده‌ای نزدیک بیشتر خواهد شد.

پیشینه مسئله و مفاهیم علمی مرتبط

• جایگاه، اهمیت و وضعیت صنعت مسئله و محصولات آن

شتابدهنده‌های پرتوان کاربردهای فراوانی دارند و دستیابی به آن‌ها می‌تواند در حوزه‌های مختلف بسیار حائز اهمیت باشد. مهمترین انگیزه برای ساخت شتابدهنده‌های خطی پرتوان، اهمیت کاربردی آن است. از جمله‌ی این کاربردها می‌توان به

- ۱- تولید نوترون بر مبنای شتابدهنده‌های خطی الکترون برای کاربردهای رادیوگرافی و درمان سرطان با گیراندازی نوترون- بور (BNCT) اشاره نمود.
- ۲- تولید تکنسیوم ۹۹ (پرکاربردترین رادیوایزوتوپ در پزشکی هسته‌ای) از کاربردهای نوظهور شتابدهنده‌های خطی الکترون می‌باشد.
- ۳- بخش قابل توجهی از مطالعات فیزیک شتابدهنده در دنیا معطوف به بررسی اثرات ناشی از جریان بالای باریکه در شتابدهنده‌های پرتوان است.
- ۴- در کاربردهای صنعتی نیز، صنایع پلیمر بزرگترین سهم استفاده از شتابدهنده‌های خطی پرتوان را به خود اختصاص داده است.
- ۵- شتابدهنده‌های خطی الکترون پرتوان حتی در انرژی‌های پایین نقش بسزایی در تولید علم دارند.

• جایگاه و اهمیت فناوری مسئله در صنعت

همانطور که اشاره شد این سیستم یکی از زیر سیستم‌های اساسی در شتابدهنده‌های خطی پرتوان است و بدون این زیرسیستم دستیابی به چنین شتابدهنده‌ای غیر ممکن است.

• کارکرد (وظیفه) و نحوه عملکرد فناوری مسئله

مدولاتور پالس توان بالا وظیفه ایجاد پالس رادیوفرکانسی با توان بالا و پهنای چند میکروثانیه را برعهده دارد تا بتوان از آن به عنوان راه‌انداز لامپ تقویت‌کننده رادیوفرکانسی استفاده کرد.

• محصولات (خروجی) مورد انتظار

مدولاتور ساخته شده باید قابلیت راه‌اندازی لامپ کلایسترون با بیشینه توان خروجی ۱۵ مگاوات و توان متوسط ۱۵ کیلووات را داشته باشد.

• تجهیزاتی که در فرآیند تولید مستقیم با فناوری مسئله در ارتباط هستند

- Charging PS
- Switches
- Pulse Transformer
- Control System
- Cooling System
- Filament PS
- Power Distribution
- Low-level RF Amplifier
- RF Diagnostics

بررسی ویژگی‌های عملکردی خروجی موردنظر

ردیف	ویژگی عملکردی	واحد	مقدار کنونی	مقدار مطلوب	توضیحات
------	---------------	------	-------------	-------------	---------

۱	توان خروجی	مگاوات	۴/۵	۲۵	-
۲	توان متوسط	کیلووات	۴/۵	۲۵	-

الزامات و ملاحظات حل مسئله

این مدولاتور به منظور راه اندازی لامپ کلایسترون با بیشینه توان خروجی ۱۵ مگاوات ساخته خواهد شد، در نتیجه باید خروجی این محصول تطبیق کامل با مشخصات ورودی لامپ داشته باشد.

الزامات مأموریتی

- از پروتکل ارتباطی استاندارد برای ارتباط بین سنسورها و ماژول های کنترلی اسفاده شود.

الزامات کارکردی

- سیستم کنترلی و کالیبراسیون user-friendly داشته باشد.

- قابلیت کنترل از راه دور را داشته باشد.

- قابلیت اطمینان بالا داشته باشد (پایداری پالس به پالس در حد ppm).

مشخصات خروجی مدولاتور:

Modulator specification	
Modulator Peak Power	۲۵ MW
Modulator Average Power	۲۵ kW
Pulse width	۶ μs
Flat-top duration	۵ μs
Precision at flat-top	< ۰,۵ %
Modulator Voltage Stability, RMS	۰'۱۵%
Repetition rate	۲۰۰ Hz
Nominal voltage	۱۷۰ kV
Nominal current	۱۵۰ A
Rise/fall times	۱ μs
efficiency	< ۷۵ %
Cooling	water
Water Cooling Interface In/Out	ISO G ۱ ۱/۲"
Maximum energy in case of arc	< ۲۰ J
lifetime	> ۴۰۰۰۰ h
Operating temprature	۵-۴۵ °C

الزامات عملکردی

این محصول در محیط های کارگاهی و صنعتی (رطوبت بین ۱۰ تا ۹۰ درصد، دمای بین ۲۰- تا ۵۰ درجه) مورد استفاده قرار می گیرد، بیشترین ایمنی نسبت به آسیب های پرتویی، تغییرات ولتاژی، تغییرات دمایی و آب و هوایی مورد نیاز است.

الزامات محیطی

دوره گارانتی و وارانتی مناسب داشته باشد. هزینه نگهداری زیادی برای کاربر نداشته باشد. دفترچه کاربری و نگهداری همراه محصول ارائه شود.

الزامات پشتیبانی

ابعاد حدودی رک از ۱۵۰ cm×۱۵۰ cm×۱۵۰ cm بیشتر نشود.

الزامات فیزیکی

بازده: بهتر از ۷۵ درصد

الزامات مصرف انرژی

منبع ورودی AC: VAC $380 \pm 10\%$ در فرکانس: $50 \pm 2\%$ Hz / $60 \pm 2\%$ Hz	
حداقل ساعت کاری مفید دستگاه ۶۰۰۰۰ ساعت	الزامات طول عمر عملیاتی
استانداردهای کار با تجهیزات توان بالا چه به لحاظ الکترومغناطیسی و چه به لحاظ پرتویی رعایت شود.	الزامات ایمنی
در رک مدولاتور بهتر است مکانی برای قرارگیری لامپ تعبیه شده باشد.	الزامات پیکربندی
قبل از طراحی، استانداردهای طراحی و ساخت از طرف شرکت متقاضی تأیید شود. از جمله استانداردهای مورد نظر کارفرما عبارتند از: IEC ۶۱۰۱۰-۱ IPC ۶۱۰A IPC ۶۰۰ IPC ۶۲۰	الزامات طراحی
در ساخت محصول از تجهیزات مستعمل استفاده نشود.	الزامات ساخت
در صورت عملکرد مناسب نمونه اول تعداد ۴ مدولاتور دیگر طی ۴ سال سفارش داده می شود.	الزامات نمونه اولیه

حداقل سفارش (مواد/دستگاه) مورد نیاز متقاضی (با فرض ملاحظات مالی)					
ردیف	عنوان	تعداد / مقدار	واحد	مقیاس زمانی	توضیحات
۱	مدولاتور توان بالا	۵	دستگاه	۵ سال	-

خدماتی که برای اجرای پروژه در اختیار فناوری قرار می‌گیرد

پژوهشگاه علوم و فنون هسته ای می‌تواند در زمینه‌های زیر با شرکت همکاری کند:
مشاوره در طراحی
مشاوره در ساخت
همکاری و مشاوره در تست، اندازه‌گیری و راه‌اندازی

شماره ۱

نمونه مشابه محصول/ فناوری یا راه‌حل‌های طی شده

ScandiNova	نام شرکت	K ₂₀₀ - system RF ۷,۰-۳۰ MW	نام محصول
https://scandinovasystems.co/m/pulse-modulator/k-series	آدرس سایت	سوئد	کشور سازنده



	FULL RF UNIT	BASE CONFIGURATION
Charging PS	•	•
Switches	•	•
Pulse Transformer	•	•
Control System	•	•
Cooling System	•	•
Filament PS	•	•
Power Distribution	•	•
Klystron	•	
Solenoid PS	•	
Vacuum PS	•	
Low-level RF Amplifier	•	
RF Diagnostics	•	
Circulator	•	

شرح کاربردهای حل مسئله/ فناوری/ محصول در صنعت مورد نظر

سابقه ساخت مدولاتور لامپ در داخل کشور با توجه به کاربرد آنها در تجهیزات ردیابی و رادار، به صنایع دفاعی کشور برمی‌گردد. پس از آن نیز در صنعت شتابدهنده‌ها برای تغذیه لامپ‌های رادیوفرکانسی مورد استفاده قرار گرفتند و برای این کاربرد نیز سیستم‌های توان RF بهینه‌سازی و ساخته شدند. ساخت مدولاتور برای راه‌اندازی لامپ‌های مختلف در بازه فرکانسی و توانی مختلف قبلاً در ایران انجام شده است که بسیاری از آنها در حوزه رادار مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

مراکزی مانند:

- گروه دانشکده برق دانشگاه صنعتی شریف
- شرکت الکتروسامان پالس نیرو
- مرکز تحقیقات خودکفایی قرارگاه پدافند هوایی ارتش
- شرکت بهیار صنعت سپاهان

سابقه ساخت مدولاتور در توان‌های پایین‌تر برای باند S را دارند. تاکنون پرتوان‌ترین مدولاتور ساخته شده قادر به راه‌اندازی لامپ ۴/۵ مگاواتی است.

کاربردهای دیگر حل مسئله/فناوری/محصول در صنایع مختلف

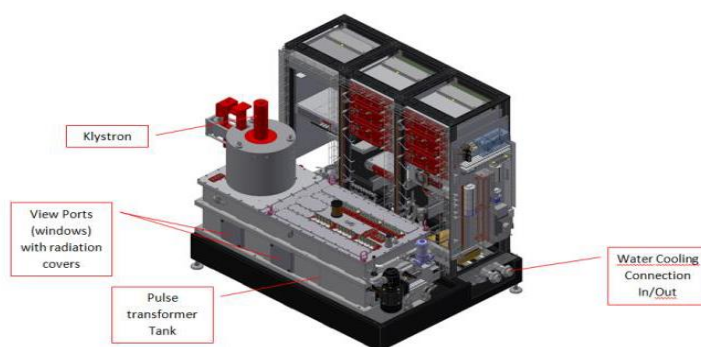
- حوزه دفاعی (جنگال- جنگ الکترونیکی)
- حوزه گداخت (گرمایش پلاسمای توکامک)
- حوزه لیزرهای الکترون آزاد
- حوزه پزشکی- بطور غیر مستقیم (تولید رادیو دارو و درمان سرطان به روش BNCT با استفاده از شتابدهنده‌های خطی پرتوان)

کارخانجات و تولیدکنندگان مطرح مرتبط با کاربردهای دیگر حل مسئله/فناوری/محصول

ردیف	نام شرکت	سایت	محل استقرار
۱	صنایع دفاع	-	-
۲	سازندگان شتابدهنده خطی برای تولید رادیو دارو	-	-
۳	مراکز تحقیقاتی در حوزه ساخت شتابدهنده پرتوان	-	-
۴	مراکز تحقیقاتی در حوزه گداخت	-	-

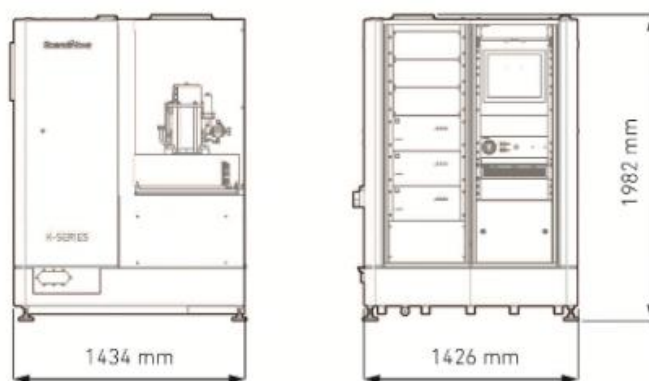
تصاویر

در این تصویر یک سیستم تأمین توان RF شامل مدولاتور، لامپ و سیستم انتقال موجبری نشان داده شده است.



تصویر ۱

ابعاد مدولاتور ساخت شرکت
ScandiNova با وزن حدود ۱۴۰۰
کیلوگرم



مانیتور کنترل مدولاتور ساخت
شرکت ScandiNova

