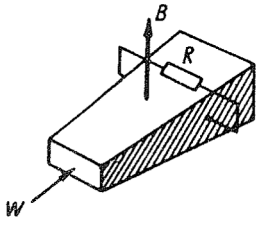
مولد های مغناطیس‌ئید رودینامیکی

Magneto Hydrodynamic Generators

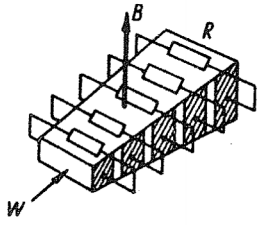
از : مهندس پرویز ذواشتیاق

یکی ازمسائل روزمره تولید مستقیم انرژی الکتریکی از انرژی حرارتی میباشد . تبدیل انرژی حرارتی به الکتریکی ازراه دیگ بخار ـ توربین ـ مولد برق چندان مقرون بصرفه نبوده وبازده این نوع مراکز برقی از (۴۲ ـ ۴۰) درصد تجاوز نمیکند . واگربخواهیم بازده راکمی بالا ببریم احتیاج به ازدیاد پارامترهای بخار داریم که عبارت از فشاروردجه حرارت میباشدو چنانکه میدانیم استقامت حرارتی دستگاهها حدی دارد واگربخواهیم مواد وفولادهای مقاوم حرارتی بکاربریم با تغییرات شرایط کارخیلی زیاد نه خواهدبود زیرا ازدیاد درجه حرارت اولیه توربینهای بخار از 600° سانتیگراد وتوربینهای گازی از 1000° سانتیگراد برای پره های توربین تقریباً غیرممکن بنظرمیرسد . بعلاوه بالابردن مشخصات فنی واقتصادی وازانجمله بازده نه تنها بستگی به ازدیاد پارامترهای بخار دارد بلکه این عمل شماهای تکنولوژی وحرارتی رامشکل تر ساخته ومصارف مالی رابیشترنموده وتجهیزات مراکزبرقی راگرانترمی‌نماید . بهمین علت مورد استعمال مولد های مغناطیس‌ئید رودینامیکی درآتیه نزدیك بیشترخواهد شد .

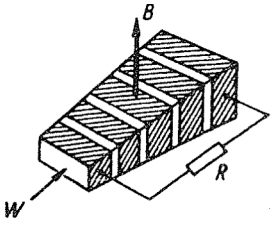
طرزکارمولد های مغناطیس‌ئید رودینامیکی خیلی ساده میباشد وازاصول القاء الکترومغناطیسی استفاده میشود . فرقی که این مولد بامولد های معمولی دارد عبارت ازاینست که درمولد های معمولی نیروی محرکه الکتریکی از القاء تغییرات حوزه مغناطیسی (چرخش حوزه) درسیمها بوجود میآید درصورتیکه درمولد های مغناطیسی وئید رودینامیکی جای سیم راگاز ایونیزه داغ که بنام پلاسما میباشد میگیرد و (ش ۱ ـ ۲ ـ ۳) قسمتهای متحرك رادرآن نداریم .



شکل ۱ ـ مولد مغناطیسی‌ئید رودینامیکی با الکترودهای یك تکه .



شکل ۲ ـ مولد مغناطیسی ئید رودینامیکی با الکترودهای منقسم .



شکل ۳ ـ مولد مغناطیسی ئید رودینامیکی با الکترودهای استوانه ای .

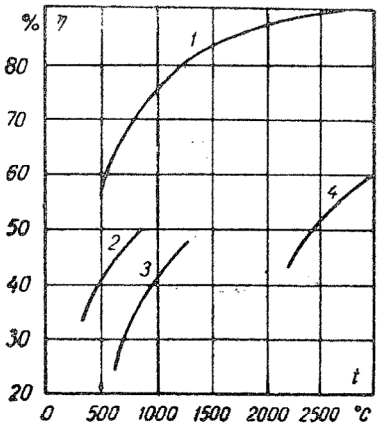
در شکلهای ۱ــ۲ــ۳ طرزکار مولدهای مغناطیس وئید رودینامیکی داده شده است . بطوریکه مولد ازمحفظه‌ای تشکیل یافته که دارای گازهای ایونیزه بوده ودرجه حرارت آن $^{\circ}K$ ۳۰۰۰ــ۲۸۰۰ وسرعت آن $^{m}/_{sec}$ ۱۰۰۰ میباشد . گاز درکانال درامتداد محور x حرکت نموده وحوزه مغناطیسی B راقطع میکند ودرآن نیروی محرکه الکتریکی القاء میشود . (مانند سیمی که دیواره‌های کناری آن هادی میباشند) جریان الکتریکی درمقاومت R ایجاد میشود . دیواره های کناری محفظه مولد هادی بوده وعینا مثل جاروبکهای ماشین الکتریکی میباشد درصورتیکه دیواره های بالا و پائین محفظه از ماده عایق تشکیل یافته است بدینطریق دیده میشود که درمحفظه مولد مغناطیس ئیدرودینامیکی انرژی حرارتی گاز تبدیل به انرژی جنبشی گشته ودراثر حوزه مغناطیسی این سیل گاز ترمزمیگردد درنتیجه انرژی سینتیک تبدیل به انرژی الکتریکی میشود چنانکه می‌بینیم دراینجا توربین ومولد یکجا بوده وقطعات متحرکی راندارایم وانرژی الکتریکی مستقیما از انرژی حرارتی بدست میاید . این نوع مولد ها بازده مراکزبرق راتا ۶۰ درصد بالا میبرندوبازده حرارتی دستگاه تا ۹۰ درصد میباشد . درش ٤ مقایسه بازده توربین بخار وگازی ومولد های مغناطیس‌ئیدرودینامیکی داده شده است .

منحنی ۱ــ سیکل کارنو

منحنی ۲ــ دستگاه توربین بخار

منحنی ۳ــ دستگاه توربین گازی

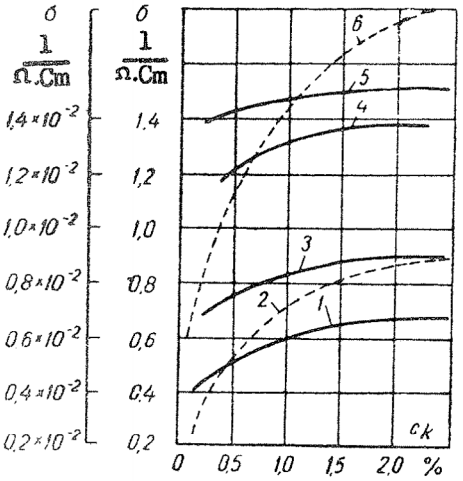
منحنی ٤ــ دستگاه مولد مغناطیس‌ئیدرودینامیکی



شکل ٤

یکی ازمسائل مهم این نوع مولد ها قابلیت هدایت گازمیباشد بطوریکه اگرمقاومت مخصوص گازبیشتر از 1Ω.Cm باشد تولید برق قطع میگردد هدایت گاز نسبت به ایونیزاسیون حرارتی تعیین میشود بیشترازگازها ازقبیل هوا ــ ازت ــ ئیدرژن ــ گازهای خنثی دردرجه حرارت خیلی زیادی ایونیزه میشوند ($^{\circ}$ ۶۰۰۰ تا $^{\circ}$ ۹۰۰۰ سانتیگراد) وفلزات ومواد فعلی تحمل‌چنین حرارتی رانمیتوانند بکنندولی اگربگازکمی ماده ایونیزه کننده اضافه کنیم که دارای پتانسیل کم ایونیزاسیون باشد (فلزات قلیائی) هدایت الکتریکی گاز یکمرتبه ازدیاد میابد وهمین هدایت رامکن است دردرجه حرارت $^{\circ}K$ ۲۰۰۰ بدست آورد معمولا نمك پتاسیم ــ سزیوم ویا سدیم رابشکل گرد وارد سیل گاز میکنند ــ ش ٥ تاثیرمقدارپتاسیم را در هدایت الکتریکی هوای ایونیزه گرم نشان میدهد . چنانکه دیده میشود ازدیادرجه حرارت تاثیر شدیدی درایونیزاسیون گاز دارد مثلاً اگردرجه حرارت گاز از $^{\circ}K$ ۲۰۰۰ به $^{\circ}K$ ۳۰۰۰ برسد (درفشار یك

اتمسفر) هدایت گاز (پلاسما) ۱۰۰ مرتبه زیاد ترمیشود وازدیاد فشارتقلیل هدایت را همراه دارد بطوریکه اگرفشارازیك آتمسفربه پنج آتمسفر برسد هدایت الکتریکی درحدود مرتبه میافتد ۰



شکل ۵

منحنی ۱ ــ ۵ آتمسفر ۲۵۰۰۰ K

منحنی ۲ ــ ۵ آتمسفر ۲۰۰۰۰ K

منحنی ۳ ــ ۱ آتمسفر ۲۵۰۰۰ K

منحنی ۴ ــ ۵ آتمسفر ۲۰۰۰۰ K

منحنی ۵ ــ ۱ آتمسفر ۲۰۰۰۰ K

منحنی ۶ ــ ۱ آتمسفر ۲۰۰۰۰ K

مقیاس هدایت الکتریکی منحنی های ۲ و ۶ مقیاس کناری است ۰

اگرگازی بدرجه حرارت ۲۷۰۰°C بفشار ۱۰ kg/Cm^2 باشد با اضافه نمودن ۱ درصد سزیوم هدایت الکتریکی به $\frac{1}{\Omega Cm}$ ۲۰۰ میرسد. اگرهمان مقدار پتاسیم اضافه کنیم هدایت به $\frac{1}{\Omega Cm}$ ۶۰ رسیده واگرسدیم اضافه گردد به $\frac{1}{\Omega Cm}$ ۱۵ میرسد ۰

چگالی جریان درکانال مولد ازقانون اهم خواهد بود :

$$j = \sigma (Bv - E)$$

j ــ چگالی جریان درجهت محور y (مقطع کانال) $\frac{A}{Cm^2}$

σ ــ هدایت الکتریکی گاز $\frac{1}{\Omega Cm}$

v ــ سرعت حرکت گاز m/Sec

B ــ اندوکسیون حوزه مغناطیسی به تسلا

$E = \frac{V}{b}$ شدت حوزه الکتریکی V/m

V ــ ولتاژ بین الکترود ها به V

b ــ فاصله بین الکترود ها به m

اگر پارامتر بارا η بگیریم $\eta = \frac{E}{Bv}$

$j = \sigma [Bv(1 - \eta)]$ میشود

نیروئیکه برای واحدحجم گاز اثرمیکند (نیروی لورنس) خواهد بود ۰ $\vec{F} = j\vec{B}$

توان خروجی مولد مغناطیس ئید رودینامیکی برای حجم مفید خواهد بود $\vec{P} = j\vec{E} = jE$

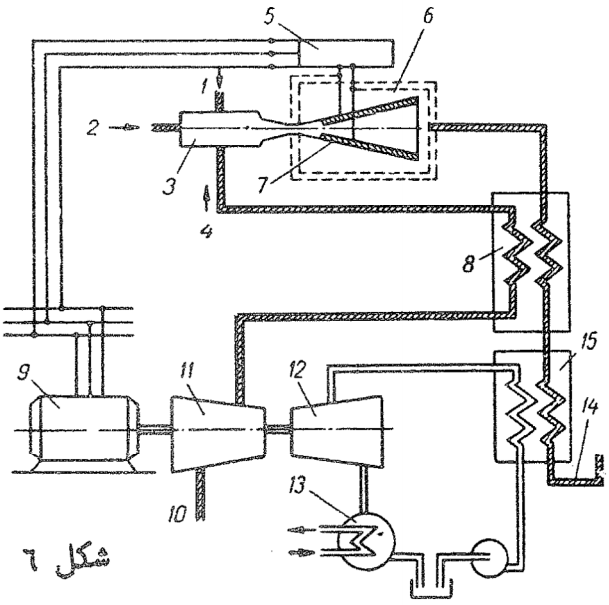
$$P = \sigma B^2 v^2 \eta (1 - \eta)$$

اگر $\eta < 1$ مولد مغناطیسی ئید رودینامیکی در رژیم مولد کارنموده وتوان خود رابه بارمید هد۰

اگر $\eta > 1$ توان ازخارج داخل محفظه گشته و نیروی لورنس سرعت گازرا میخواهد زیادترسازد ومحفظه دررژیم محرك مغناطیسی ئید رودینامیکی کارمیکند (تسریع کننده) شماهای مولد مغناطیسی ئید رودینامیکی ممکن است یا با سیکل بازویا با سیکل بسته کارنمایند درسیکل بازگاز محفظه مولد ازحاصل مواد سوختی است که هوا راگرم میکنداین مواد ازسوختهای طبیعی از قبیل ذغال درحالت گردگازاویل ویامتان می باشد که دراطاق سوخت حرارتی ۲۷۰۰° تا ۳۰۰۰° سانتیگراد بوجود میاورند ۰

ش۶ شمای مولد مغناطیس ئید رودینامیکی را

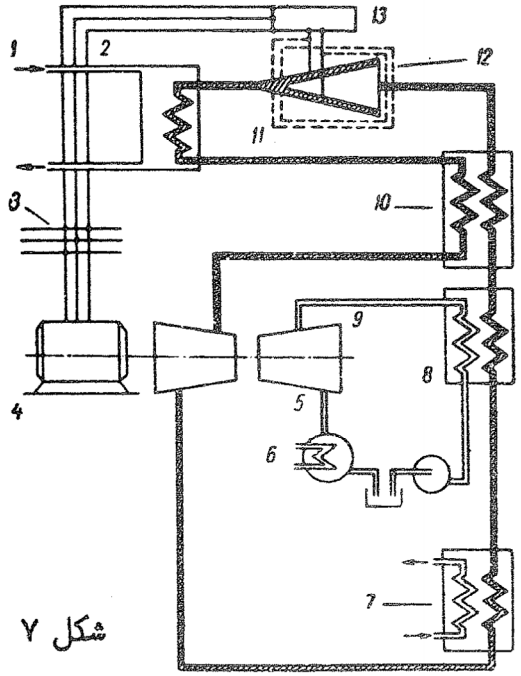
که با سیکل بازکار میکند نشان میدهد در این شکل



شکل ٦

۱ــ تزریق ۲ــ سوخت مایع یا گاز طبیعی ۳ــ اطاق سوخت ٤ــ هوای گرم شده ٥ــ انورتور ٦ــ بوبین تحریک مدار مغناطیسی مولد ۷ــ مولد مغناطیس هیدرودینامیکی ۸ــ گرم کننده ۹ــ مولد هوای [illegible] ۱۰ــ هوا ۱۱ــ کمپرسور ۱۲ــ توربین بخار ۱۳ــ کند انساتور ۱٤ــ خروج مواد سوخته شده ۱٥ــ تولید کننده بخار ۰ پلاسمائی که ازمحفظه خارج میشود دارای درجه حرارت زیاد میباشد ازاین حرارت استفاده نموده و دستگاه های توربین بخارمعمولی را از آن تغذیه میکنند ۰ برای حرارت ابتدائی ازحرارت گاز های متصاعده استفاده میشود بطوریکه هوا را ازگرم کننده عبورداده ودرجه حرارت آن راتا ۱٤۰۰ــ ۹۰۰ سانتیگراد بالا برده وسپس این هوای گرم راداخل اطاق سوخت مینمایند ۰ درسیکل باز گازهای خروجی که ازسیستم های گرم کننده میگذرند به هوافرستاده میشوند

درسیکل بسته (ش ۷) گازهای اینرت



شکل ۷

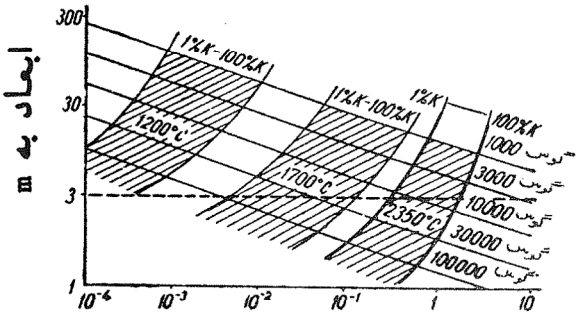
(آرگون ــ هلیوم) درمداربسته ای بحرکت درمیآیند دراین شکل : ۱ــ گازگرم شده ۲ــ مبدل حرارتی ۳ــ شبکه مدار ۳ فاز [illegible] ۵ــ کمپرسور [illegible] ۸ــ توربین بخار [illegible] ۱۰ــ گرم کننده ۱۱ــ مولد مغناطیس هیدرودینامیکی ۱۲ــ بوبین تحریک مولد ۱۳ــ انورتور

درمولدهائی باسیکل بازافت زیاد میباشد فلزات ارزانتری ازقبیل پتاسیم وسدیم استعمال میشود که درمحلهای نمای خورندگی ایجاد میکند ۰ درصورتیکه درمولدهای سیکل بسته گازمرتباً در گردش بوده وماده ایونیزه کننده بخارج فرستاده نمی شود واستعمال مادهٔ گران قیمت (سزیوم) یاپتانسیل کم ایونیزاسیون دردرجه حرارت پائین تری هدایت بهتری رابرای گازبوجود می آورد ودرمحیط گازهای اینرت اثرخورندگی کمتر

میباشد . اندوکسیون حوزه مغناطیسی B توسط الکترومغناطیس قوی ایجاد میشود ۱۵۰۰۰-۲۰۰۰۰ گوس (۱/۵-۲تسلا) وحوزه مغناطیسی دائم میباشد وازشماهای بالا مولد مغناطیسی وئید رودینامیکی جریان دائم تولید میکند وبرای تبدیل جریان دائم به متناوب از انورتور استفاده میشود . پس از پیدایش مواد مقاوم حرارتی درصنعت موشك سازی بفکر استفاده از مولدهای مغناطیسی وئید رودینامیکی افتادند ودرحال حاضر درامریکا ـ انگلستان وشوروی مطالعات وتحقیقاتی دربارهٔ این مولدها چه با سیکل بازوچه با سیکل بسته ادامه دارد . از سال ۱۹۵۹ مدلهای مختلفی ازاین مولدها ساخته شده اند. درسال ۱۹۶۲ درامریکا مولدی بقدرت ۱/۵ MW ساختند که با ایجاد دیواره های موزائیکی مخصوص درجه حرارت کانال راتوانستند درعرض ۱۴۰ ساعت به ۳۰۰۰ °K برسانند درساختمان بعضی از این مولدها قسمت های عایق (دیوارها) محفظه را ازاکسید سیرکونیوم بضخامت ۳ سانتیمتر بر میدارند و دردیوارهای هادی ازالکترودهای گرافیتی استفاده میکنند وبرای تبرید دیوارهای هادی بعضاً آب بکاربرده والکترودها راازمس برمیدارند .

نیتریدها ـ کاربیدها وبعضی ازفلزات خالص ازقبیل ولفرام (W) تانتال (Ta) نیوبیوم (Nb) مولیبدن (Mo) وغیره در ساختمان مولدهای مغناطیسی وئید رودینامیکی بکار میروند .

برای تحریك قطبهای مغناطیس مولد مغناطیسی وئید رودینامیکی که دارای قدرت بیشتری باشد ۵ ـ ۴ درصد انرژی حاصله مولد مصرف می شود . ازمطالعاتی که دراین زمینه شده است نتیجه میشود که میتوان مولدهای بتوان ۵۰۰-۱۰۰ مگاوات ساخت وابعاد عملی مولد باگاز (پلاسما) به هدایت ($1\ \frac{1}{\Omega.Cm}$) خواهد بود



شکل ۸ هدایت گاز $\frac{1}{\Omega.Cm}$

درشکل ۸ ابعاد مولد مغناطیسی وئید رودینامیکی بتوان ۱۰۰ MW نسبت به حوزهٔ مغناطیسی وهدایت گاز داده شده است. اگر اندوکسیون مغناطیسی ۱۰۰۰۰ گوس ودرجه حرارت ۲۰۰۰ °K باشد طول مولد ۱۰۰ MW درحدود ۵ m میشود واگر اندوکسیون رازیادتر سازیم این ابعاد کمترخواهند شد. درامریکا پروژهٔ مولد مغناطیس وئید رودینامیکی بتوان ۲۴۰ MW رادادهاند که درآن برای گرم کردن گاز هلیوم ازرآکتور استفاده میشود که حرارت گاز راتا ۱۴۵۰ °C سانتیگراد بالا میبرد .

حوزه مغناطیسی مولد ۵۰۰ MW که بدون هستهٔ آهنی میباشد ۸ درصد توان خروجی مولد را مصرف خواهد نمود درصورت استعمال سیم پیچی باهدایت های مافوق (Supraconducter) این مصرف به ۱ درصد خواهد رسید .

سیم پیچی های مافوق هدایت از آلیاژهای نیوبیوم ـ قلع وتیتان وسرکونیوم میباشد که در داخل هلیوم مایع قرارمیگیرند K (°۵/ ۱-۲/۴) و دراینحالت چگالی جریان راتا ۲×۱۰^{۸} A/Cm^2 رسانده وحوزه مغناطیسی به ۸۰۰۰۰ ـ ۵۰۰۰۰ گوس (۸ـ۵ تسلا) میرسد برای تحریک مولد های ۵۰۰MW ازهدایتهای مافوق به ترکیب Nb_3Sn که باهلیوم مایع خنك میشود استفاده میکنند ودرنتیجه اندوکسیون مغناطیسی از ۲ به ۱۰ تسلا (گوس $۱۰^{۵}$)بالا رفته وطول مولد از ۲۹ متر به ۵/۵ متر رسیده مقدارفولاد بکاررفته از ۲۰۰۰۰ تن به ۷۵۰۰ تن میرسد اُفت توان تحریك دراین حالت از ۶۰۰۰به ۸۰KW تقلیل می یابد.

با ازدیاد حوزهٔ مغناطیسی اثر هال Hall effect ظاهر میشود بطوریکه جریانهائی درجهت محور بوجود میآیند. برای تقلیل اثرهال کانال مولد رامنقسم نموده وهر یك ازالکترود هارابه بارخودوصل میکنند (ش ۲ ـ ۳) برای بالابردن بازده مولد های مغناطیسی ئیدرودینامیکی بایستی بوسائل مصنوعی ایونزاسیون گازهارابالا بردکه دردرجه حرارت پائین تری دیگر احتیاج به فلزات قلیائی ایونیزه کننده نباشد.

برای ایونیزه کردن گازها ازوسائلی ازقبیل توپهای الکترونی میتوان استفاده نمود که سیل الکترون راقبل ازورودگاز به کانال مولد بگاز وارد نماید. توپهای الکترونی عیناً مثل لوله های الکترونی میباشد که درتلویزیون بکارمیروند.

محاسبات نشان داده که توان مصرفی توپهای الکترونی دو درصد توان خروجی مولد خواهد بود.

بکاربردن وسائل ایونیزاسیون مصنوعی درجه حرارت سیکل رابه $\frac{۱}{۳}$ میرساند وعمر مولد رابیشتر میکند وبمصرف فلزات قلیائی احتیاجی پیدانمیشود ولوله های بخار رابکار نمی برند ولی بازده این نوع مولد به ۵۰ـ۴۰ درصد میرسد.

در برآورد اقتصادی مولدهای مغناطیسی ئیدرودینامیکی چه باسیکل بسته و چه باسیکل باز دیده میشود که نسبت بمراکز برقی حرارتی کمی گرانتر تمام میشوند بطوریکه ازدیاد بهاء برای ۱KW ایجاد شده ازنوع مولد باسیکل باز تقریبا ۳۰ درصد وباسیکل بسته ۱۲ درصد میباشد.

شماهای بالا جریان دائم تولید نموده و برای اتصال به شبکه متناوب انورتوربکارمیروندکه نسبتاً بهای گزافی داشته وشبکهٔ انتقال انرژی رامرکب میسازند. بنابراین یکی ازمسائل مهم این نوع مولد هاتولید جریان متناوب میباشدکه بتوان انرژی حاصله راتوسط ترانسفورماتورهائی به شبکه ۳ فاز منتقل نمود روی این مسئله تحقیقات زیادی میشود ودراصل جریان متناوب رامیتوان بسادگی بدست آورد بطوریکه یابایدبه محفظهٔ مولد مغناطیسی ئیدرودینامیکی حوزه مغناطیسی مقطع (پولساسیونی) وارد نمود ویاسیل گاز ایونیزه رابالامپولس وارد محفظه مولد ساخت درهردوحالت دستگاههای مخصوص

الکترونی لازم میباشد که یا گاز ایونیزه و یا حوزه اندکسیون مغناطیسی را متناوبا وارد محفظه سازد تا بتوان ولتاژ سینوسوئیدی را در خروجی بدست آورد در ایجاد حوزه متغییر تجربه‌ای روی ماشین آسنکرون بعمل میآورند بطوریکه استاتور آسنکرون را به جریان ۳ فاز متصل نموده ودر فاصله هوائی حوزه دواری را بوجود اورده ومحفظهٔ مولد را در این فاصلهٔ هوائی قرار میدهند در اینحالت اگر سرعت گاز بیشتر از سرعت حرکت حوزه دوار باشد مولد از شبکه توان راکتیو را گرفته وبشبکه توان اکتیو را خواهد داد ۰ در خاتمه می توان گفت که ساختن مولد های ساکن مغناطیسی ئید رودینامیکی که مستقیما انرژی حرارتی را مبدل به انرژی الکتریکی میکنند در آتیهٔ نزدیکی پیشرفتهای بزرگی نموده وامید میرود که در مراکز جدید برقی احتیاجی به دیگ بخار ـ توربین بخار و وسائل مربوطه مراکز حرارتی را نداشته باشیم ۰