استفادهٔ از پلاسما برای تولید الکتریسیته- مولدبرق (MHD)
مانیتوهیدرو دینامیك Magnetohydroolynmique

نوشته‌ی
علاالدین قزوینیان
استاد دانشکدهٔ فنی

مقدمه :

توسعهٔ اقتصادی و ازدیاداحتیاجات‌صنعتی‌ملت‌ها ایجاب‌مینماید که روزبروز برمیزان‌برق تولید شده اضافه گردد .

درحال حاضر ماشین های حرارتی مولد برق با استفاده از کالری‌های حاصله از سوخت‌های‌مختلف، ابتدا انرژی مکانیك تولید نمود و بعداً آنرا بوسیلهٔ ژنراتورهای مختلف تبدیل به انرژی الکتریك مینمایند . مبدله های حرارتی وتولید بخار آب و ایجاد انرژی مکانیك وتبدیل آن به انرژی برق همیشه همراه با مقدار زیاد اتلاف انرژی بوده وبازده این دستگاهها همیشه کم است .

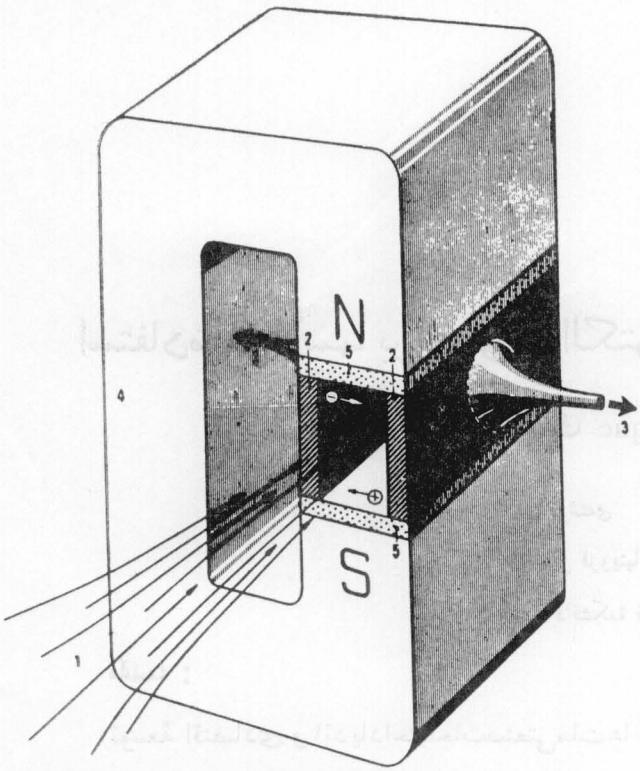
باهمهٔ کوشش هائی که بعمل میآید هیچوقت بازده این دستگاهها به پنجاه درصد نرسیده وعلاوه‌براین میزان برق تولیدی ماشین های‌حرارتی موردبحث برای هرماشین ازحد معینی تجاوز نمی‌نماید . تبدیل‌مکانیکی انرژی وساختن وتهیهٔ‌قسمتهای در حرکت‌مانند محور - تکیه گاهها‌ومانند آن‌حداکثر انرژی‌های برقی‌تولیدی را تاحد زیادی محدود میکند .

این سئوال پیش آمده : که آیا ممکن است انرژی حرارتی مستقیماً بدون واسطه تبادل با انرژی مکانیکی به انرژی برقی تبدیل گردد یاخیر؟

تحقیقات دامنه‌دار وپرخرجی که دراین زمینه بعمل‌آمده پس ازچندین‌سال سعی مداوم نتیجه‌مثبت داده و با استفاده از طریقهٔ Magneto—hydro—dynamique (MHD) میتوان کالری‌های حرارتی گاز را بدون واسطه قسمتهای مکانیکی درگردش مستقیماً تبدیل به الکتریسیته نمود - این دستگاهها را مولد برقی (MHD) مینامیم .

اصول این دستگاهها بقرار زیر است : شکل (۱).

گازهای یونیزهٔ گرم پلاسما که از احتراق سوخت‌های نفتی میتوان آنها را بدست آورد از داخل



طرح مولد MHD

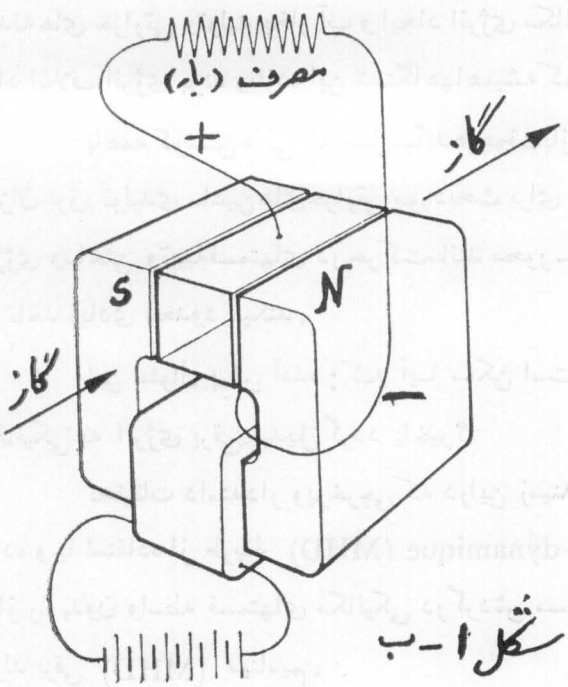
۱ - گازهای یونیزه گرم ۲ - الکترودها

۳ - مصرف برق ٤ - مغناطیس

٥ - عایق های دیرگداز

شکل ۱ - الف

یک میدان مغناطیسی مناسب عبور داده میشوند - حرکت این الکترون های مثبت گاز در میدان مغناطیس ایجادالکتریسیته دینامیک مینماید و بوسیله الکترودها که بطورمناسب‌قرار داده شده جمع و بخارج هدایت میگردند.



شکل ۱ - ب

جهت‌قوای مغناطیسی عمود برمسیر گازها است. این ژنراتورها برق جریان‌دائمی تولیدمینماید که‌بعداً باید بوسیله‌مبدله های الکتریکی به جریان متناوب تبدیل گردد.

یک چنین مولدبرق دارای سه خاصیت اصلی است:

۱ - سوختی را که مصرف مینماید همه جا بطور وفور یافت میشود.

۲ - بازده حرارتی‌دستگاه بعلت نداشتن قسمتهای درحرکت بیشتراست.

۳ - میتواند الکتریسته را بمقیاس صنعتی تولید نماید.

سازمان یک مرکز نیروی MHD

ژنراتور MHD مرکز ثقل اصلی یک چنین مرکز نیرو است. گازهای گرم وهادی برق(پلاسما) با سرعتV (کمترار هزارمتر درثانیه و درحدود ۸۰۰ متر درثانیه) از داخل یک کانال با مقطع چهارگوش عبور مینماید. دو ضلع این کانال را قطب های N و S مقناطیسی تشکیل میدهد که یک میدان مقناطیسی عمود برجریان گازهاایجاد میکند دو ضلع دیگراین کانال را الکترودها یا جدارهادی برق که دارای اختلاف سطح الکتریکی میباشد تشکیل میدهد.

اگر (σ) میزان قابلیت هدایت‌الکتریکی (کندوکتیویته) محیط‌هادی (محیط یونیزه) متحدالشکل از لحاظ مقدار وجهت باشد میتوان تکاثف قدرت الکتریکی دریافت شده در واحد سطح الکترودها را بوسیله رابطه زیر نوشت :

$$P=K(1-K)\sigma B^2V^2$$

شرط اولیهٔ مولد MHD آن است که حدامکان P زیادتر بوده تا اندازهٔ دستگاه از نظر اجرائی و ساختمان وقابل قبول باشد.

برای ازدیاد P باید B زیادترشود حداکثر (B) درحال حاضرباستفاده از بوبین های مغناطیسی سوپراکندوکتور در حدود ۶۰۰۰۰ گوس (gauss) میباشد.

اما قابلیت هدایت الکتریکی (σ) گاز احتراق بسیارکم است ـ هرقدر درجهٔ حرارت گاز حاصله از احتراق یا(پلاسما) بیشترباشد (σ) بیشتر استولی‌نظربمصالحی که‌بایدبرای‌ساختمان کانال MHD بکار برده شود و هم چنین مقاومت حرارتی و درجهٔ نسوز بودن آنها ـ نمیتوان درجهٔ حرارت گازها را از حدمعین بیشتر انتخاب نمود.

تجربه‌نشان‌داده‌است که‌اضافه کردن یک درصد (۱٪) ملح پتاسیم بصورت کاربنات‌یاسولفات‌قابلیت هدایت‌الکریکی گازرابمقدار قابل‌ملاحظه‌ای افزایش‌داده‌ومیتوان‌درجهٔ‌حرارت گاز راتاحدقابل‌قبول‌تنزل داد.

بطور مثال‌با استفاده‌از سوخت‌نفتی روغنی سنگین (مازوت) وهوا ویک درصد سولفات پتاسیم‌قابلیت هدایت الکتریکی پلاسما تقریباً چنین خواهد بود :

$$\sigma=2{,}05\times10^{0}\times T^{0{,}75}\times e^{-\frac{2{,}515\times10^{4}}{T}}\times p^{-0{,}5}$$

T درجه حرارت مطاق گاز و p فشار آن بواحد پاسکال مثلاً برای :

$$T=2600^{\circ}K \quad \text{و} \quad p=10^{0} \text{ پاسکال}$$

مقدار σ درحدود $\sigma=10$ زیمنس مترخواهد بود.

عدد (σ) یک تابع تصاعدی از درجه حرارت T پلاسماست اگر T بمیزان (۲۰۰°) درجه زیاد شود (σ) تقریباً دو برابر میگردد این موضوع اهمیت T را نشان میدهد ولی حداکثر درجه حرارت ایجادشده بوسیلهٔ سوخت‌های مایع وفوسیل محدود است. وبرای $T<2200^{\circ}K$ قابلیت هدایت الکتریکی پلاسما قابل

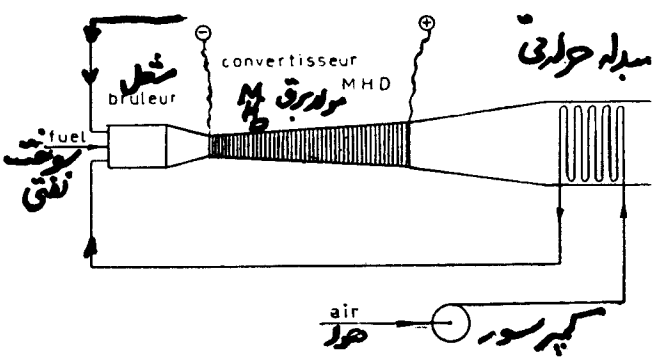
استفاده نیست لذا برای افزایش T دوطریقه پیشنهاد شده است.

۱ - استفاده ازاکسیژن خالص بجای هوا برای احتراق .

۲ - پیش گرم کردن هوای احتراق تا حد لازم.

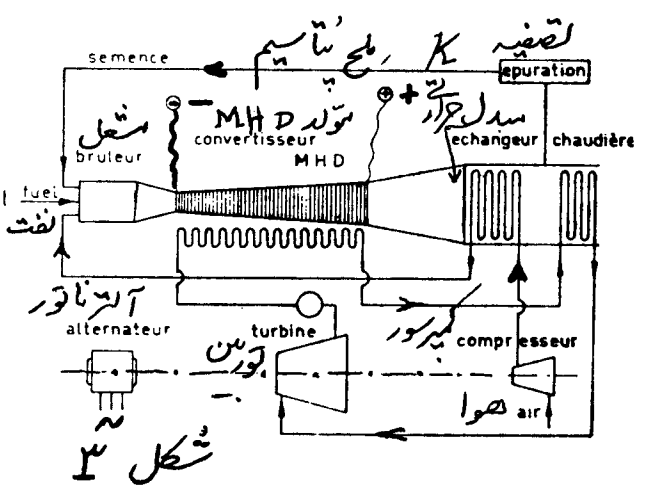
طریقهٔ دوم بیشتر مقرون بصرفه و معمولاً بکار برده میشود.

بطورمثال برای درجهٔ حرارت هـوای مصرفی احتراق درحدود ۱۶۰۰°K ، درجه حرارت گـازهای حاصله از احتراق ۲۷۵۰°K ، استفاده از یک‌میدان مغناطیسی (۶) تسلا (Teslas) نیروی MHD ایجاد شده‌در حدود MW (۵۵۹) بوده و گازهای‌خروجی‌ازمبدل MHD درجه حرارتی درحدود ۲۲۴۰°K خواهند داشت و برای عمل احتراق یک کمپرسور ۱۴۶MW مورد نیاز میباشد. یک چنین تاسیساتی طبق کروکـی شماره (۲) دارای بازده کمی درحدود بیست درصد است و به تنهائی ارزش کافی ندارد ولی گازهای‌خروجی هنوز دارای درجـه حرارت زیاد بوده‌ومیتوان آنها را بـا استفاده از یک مبدل حرارتی برای تولید بخار آب و ایجاد یک سانترال معمولی توربین‌بخار مصرف کرد و علاوه‌بـراین‌از حرارت خود مولد MHD نیز میتوان



شکل ۲

استفاده نمود مجموعهٔ مولد برق MHD و سانترال توربین بخارطی طرح شماره (۳) میتواند MW(۱۰۰۴) را بدهدکه بازده حرارتی مجموعه‌دستگاه درحدود پنجاه درصد است زیرا این تأسیسات ۲۰۰۰MW حرارت مصرف خواهد نمود ضمناً اضافه‌میشود چون گازهای احتراق دارای ملح پتاسیم هستند واین ماده به مبدل‌ها



شکل ۳

و دیک‌های بخار آسیب‌میرساندلذا گازهای احتراق خروجی از کانال MHD قبل از مصرف درسانترال‌بخار آب،باید تصفیه شود وملح پتاسیم آن جدا گردد. این موضوع خود مسئله‌مشکل دیگری‌را که‌تصفیه گازها در درجه حرارت زیاد باشد ، بعلت لزوم دوام مصالح فلزی ونسوز مصرف شده درقبال فساد و شیمیائی ، مطرح مینماید.

اهمیت مواد نسوز وسرامیک در ساختمان‌کانال MHD

کانال مولد برق که درمعرض تأثیرگاز پلاسمای محتوی ملح پتاسیم بادرجه حرارت خیلی زیاد قرار دارد بسهولت فاسد و خراب میشود. و باید ـ جهت‌دوام‌بیشتر آن ـ آنرا ازمصالح بسیار دیرگداز ومقاوم در قبال پدیده‌های حرارتی‌وشیمیائی ساخت. اولین ماده‌ای که بنظر رسید گرافیت برای الکترودها و مانیزی Magnesie ویازیرکونیات‌دوکالسیم Zirconiate de Calcium برای عایق‌ها بوده است ولی هیچکدام از این مواد بیش ازچند ساعت دوام نداشت.

در اثر بررسیهای زیادی که دراین خصوص شده است ، بجای الکترود گرافیتی میتوان مخلوطی از زیرکون Zircon واکسیدایتریوم Oxyde d' yterium (Y_2O_3) را برای‌الکترودهامصرف نمود این‌نکته را باید دانست که در این‌درجه حرارت اغلب موادهادی برق میشوند و نداشتن عایق مناسب دراین درجه حرارت‌ها یکی ازمشکلات ایجاد مولد MHD است. فساد شیمیایی اغلب مواد نسوز در ۲۰۰۰°K و حساسیت آنها نسبت به‌ضربه‌های حرارتی (تغییر شدید حرارت) یکی دیگر از نکته‌های قابل‌توجه است.

لذا باین نتیجه رسیده‌اند که با خنک‌کردن کانال مولد برق MHD شاید دوام مصالح مصرف شده درقبال پدیده‌های فیزیکی و شیمیائی زیادترگردد. بنابراین سعی شده است که با استفاده از مبدل‌های حرارتی دیواره‌های کانال MHD را خنک‌کنند.دراین نوع دستگاه‌ها ـ الکترودهای مسی که با آب‌خنک میشوند ـ بکار برده شده‌اند و روی این الکترودها با مشعل پلاسماپوششی از سرامیک‌های نسوز نصب شده است ولی خنک‌کردن بیش از حد کانال MHD باعث میشود که بازده دستگاه تاحدودی کم شود.

مسئله ایجاد میدان مغناطیسی

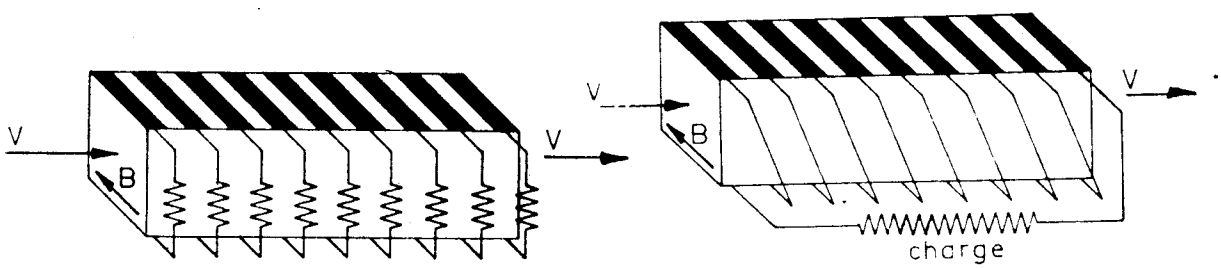
هرقدر قدرت میدان مغناطیسی بیشتر باشد طول کانال MHD کمترمیشود و درنتیجه‌بررسیهای زیاد مسلم شده که فقط با استفاده از بوبین های‌سیم‌پیچی شده‌بوسیله‌سوپراکندوکتورهامیتوان‌میدان‌مغناطیسی مناسب را ایجاد کرد.

تصفیه‌گاز و خارج‌کردن ملح پتاسیم

گازهای خروجی کانال MHD با درجه حرارت زیاد و وجود ملح های پتاسیم هرنوع مادهٔ فلزی و غیرفلزی را بشدت‌فاسدمینمایند و این‌ملح را باید ازگازهاجدانمود ـ اماباچه وسائلی؟ دراین‌جا نیزسرامیک جدید که هم دیرگداز بوده وهم درقبال‌عامل های شیمیایی دوام زیادی دارد میتواند مورد استفاده واقع گردد.

نکته‌های دیگر مورد توجه در کانال MHD

در بالا فرض شده است که یون‌های پلاسما در امتداد خط مستقیم حرکت مینمایند ولی عملاً این یون‌ها ازگازهای احتراق بوجودآمده حرکت‌آنها کاملاً درامتدادخط مستقیم نیست و حرکتهای‌مختلف آنها خود بخود ایجاد اتلاف حرارتی و الکتریکی مینماید. به علاوه برقراری جریان برق خود باعث کنده شدن الکترون های سطحی از سطح الکترودها شده و اتصال برقی ایجاد مینماید که زودتر الکترودها را فاسد میکند.

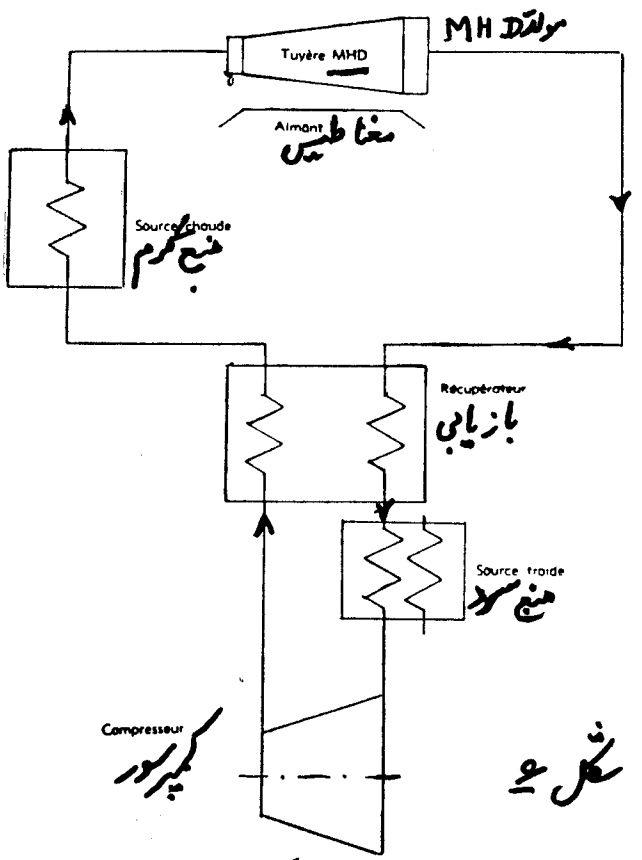


شکل ٤ - MHD با بار مجزا

شکل ٥ - مولد MHD با بارسری

مولد برقی MHD بامدار بسته

مولد برقی MHD که‌دربالاتشریح گردیدبنام مولد با مدار باز نامیده میشود زیرا گازهای‌احتراق پس از خارج شدن ازکانال MHD ومصرف درسانترال الکتریکی بخار به هوای خارج هدایت‌میشوند.



شکل ۶

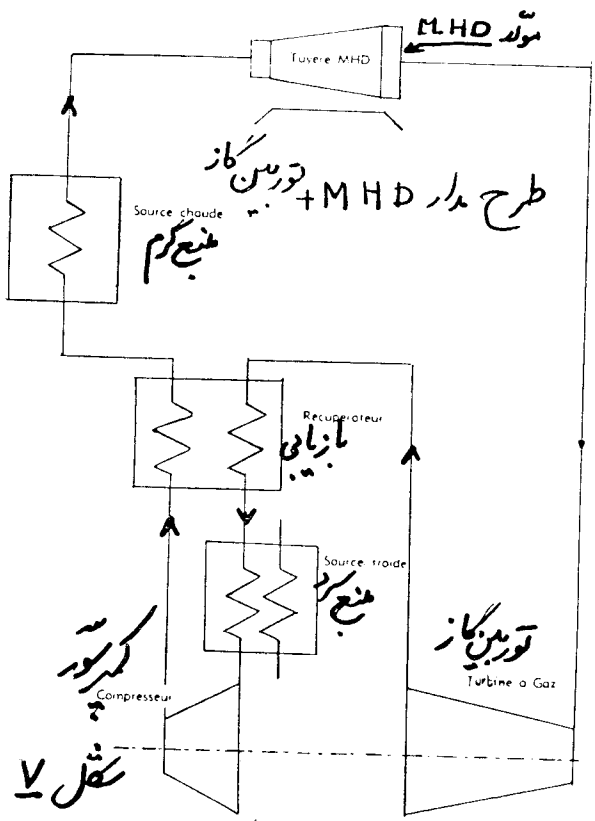
ولی تجربه نشان میدهد که پلاسمای حاصله ازگازهای احتراق سوخت‌های مایع فقط وقتی‌میتواند

مورد استفاده‌قرار گیرد که درجه‌حرارت گاز خیلی زیاد باشد اما اگر بجای پلاسمای گازهای احتراق از گازهای دیگرمثلاً گاز آرگن Argon یا هلیوم Helium استفاده شود میتوان هم درجهٔ حرارت گاز وهم میزان‌ملح مصرفی را کمترنمود ـ عملاً میتوان پلاسمای حاصله ازگاز آرگن یاهلیوم‌رادر درجه‌حرارت‌های ۱۰۰۰°K تا ۱۵۰۰°K همراه با سزیوم Cesium بجای ملح پتاسیم بکار برد ، گازی که از نقطهٔ نظر کندوکتیویته‌مانند گازهای احتراق در ۲۲۰۰°K میباشد. ولی درعوض این گازها گران قیمت بوده و بعداز استفاده مجدداً باید آنها را مصرف کرد یعنی درحقیقت گاز پلاسما یک مدار بسته‌ای را طی‌مینماید. بهمین جهت این نوع مولدهای برقی MHD که با گازهای کمیاب کار میکنند بنام مولد برق MHD با مدار بسته نامیده میشوند.

دراین نوع مولد برق MHD لازم است حرارت بدست‌آمده‌از سوخت‌های‌نفتی ابتدا بوسیله مبدل حرارتی‌به گازهای‌مزبور منتقل‌شود یعنی این گازها را باید قبلاً گرم نمایم ـ لذا مدارگازها طبق شکل(۶) میشود گازها پس از خروج ازکمپرسور وعبور از مبدل‌های حرارتی بوسیلهٔ منبع گرم که ممکن است سوخت نفتی باشد وارد مولد برق MHD شده و پس از خروج از مولد MHD قسمتی ازکالری‌های خود را به گازهای ورودی میدهد ومدار بسته طبق شکل ادامه پیدا میکند گازهای خروجی مولد MHD دارای درجه حرارت و فشار زیادند و بهمین دلیل میتوان از آن برای براه انداختن یک توربین گازی‌استفاده‌نمود .واین توربین گازی کمپرسور مربوطه‌را براه میاندازد بنابراین مدارگازهاطبق شکل (۷) خواهد بود که ازنظر بازده حرارتی خیلی بهتر است .ویا آنکه ازکالرهای‌خروجی برای بکار انداختن یک سانترال برقی‌بادیک بخار وملحقات‌آن استفاده کرد. طرح‌شماره(۸)

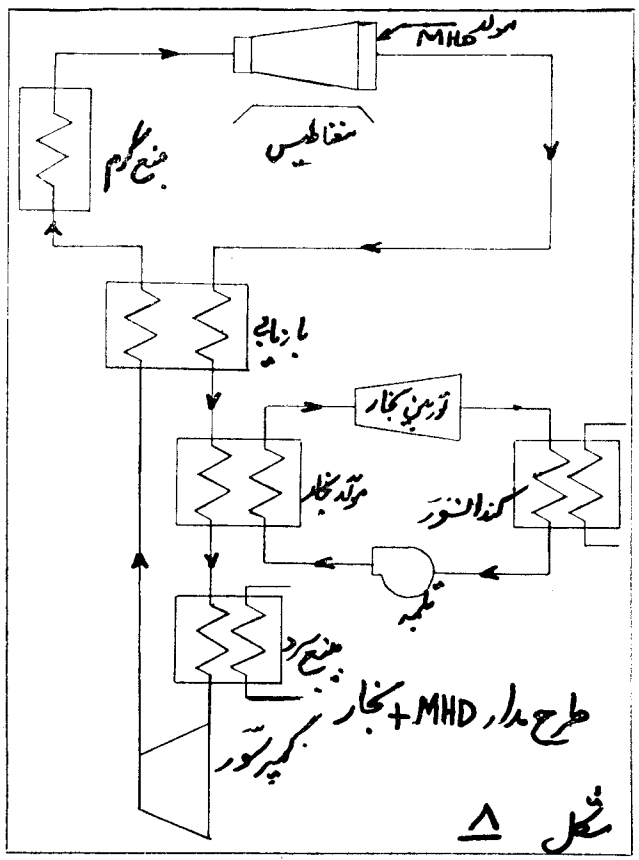
البته طرح‌های دیگری نیز جهت استفاده ازکالری‌های گازهای خروجی مولد MHD نیز پیش‌بینی شده است.

باید درنظرداشت که درمولد برقی MHD بامدار بسته، منبع گرم بایستی‌بوسیله مبدل‌های‌حرارتی کالری‌های حاصله ازاحتراق را به گازهای کمیاب منتقل‌نماید ولی‌میدانیم که مبدل‌های گازی ازنظر انتقال‌حرارت بعلت کمی وزن مخصوص گاز دارای بازده حرارتی



شکل ۷

کافی نیستند ولی میتوان با گازهای احتراق مواد جامد دیرگداز مثلا سرامیک‌های نسوز را که بشکل گلوله هائی تهیه شده گرم نمود تا این سرامیک‌ها گازهای کمیاب را بعداً بدرجه حرارت لازم برساند.



شکل ۸

نکته مهمی را که بایددراین‌جا یادآوری نمود وتذکرآن بسیار لازم وضروری میباشدآنست که منبع گرم یعنی کالری‌های حاصله از احتراق سوخت‌های نفتی فقط گازهای پلاسما را گرم مینمایند وبنابراین بجای انرژی حرارتی سوخت‌های نفتی میتوان از انرژی حرارتی (الکترونیک) ویاانرژی حرارتی هسته‌ای (Nucleaire) استفاده کرد و باین ترتیب بازده حرارتی سیستم بمقدار خیلی زیادتری بالا میرود.

خاتمه

بامطالعه دقیق مولد برقی صنعتی MHD ملاحظه میشود که تحقق بخشیدن به ساختمان صنعتی مولد MHD هنوزمشکل های بسیاری مخصوصاً از نظرتکنولوژی ومصالح بکار برده شده در پیش دارد. مواد سرامیک کم یاب و دیرگداز وفولادهای مخصوص در ساختمان این مولد برق وظیفه دشواری دارند وهنوز آزمایش های پرخرج ومشکلی برای ایجاد مولد برق صنعتی MHD درجریان است ولی باوجود همه اینها در خیلی ازکشورهای صنعتی هم اکنون مولدهای برقی MHD مشغول کار و بهره‌برداری میباشد.

- اقتباس از مجله های خارجی.

۱ - Revue de E.C.P. ۲ - Revue de Ceramique