تبدیل مستقیم انرژی IV

مبدل ترمیانیک

«THERMIONIC CONVERTOR»

نوشته :

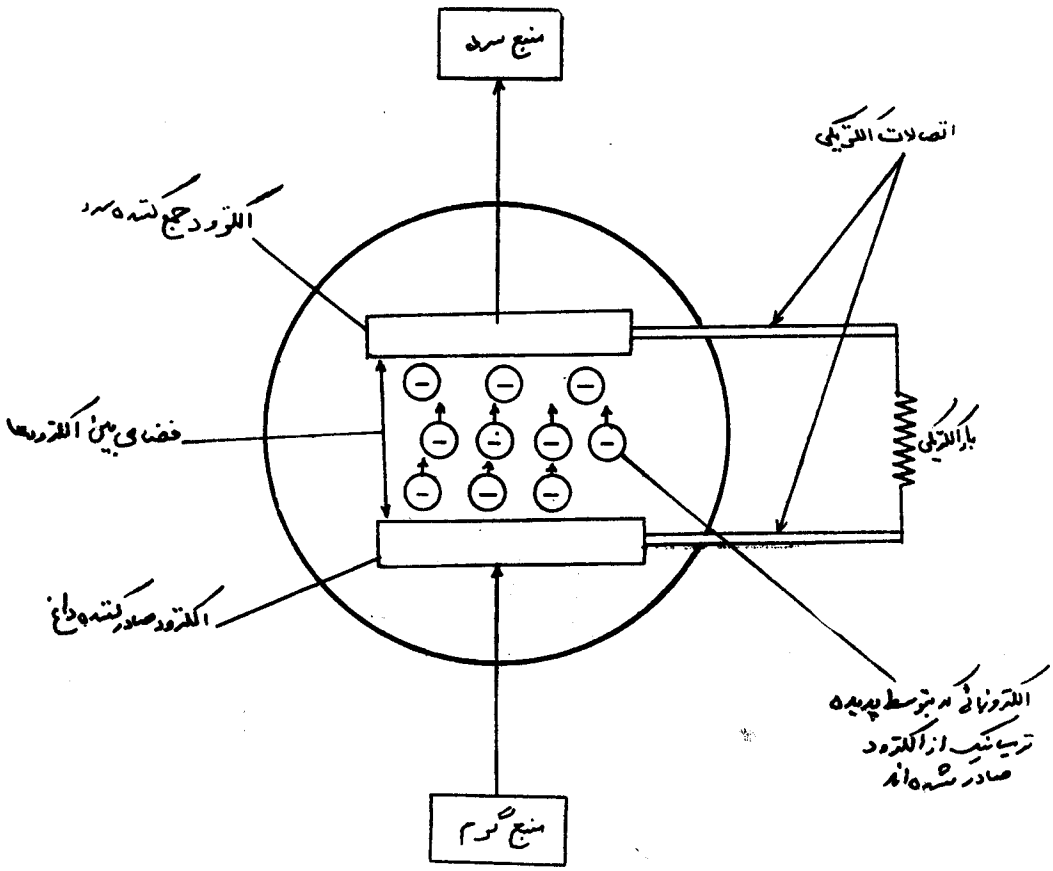
تقی ابتکار Ph.D.

دانشکده فنی

۱ـ معرف مبدل ترمیانیک وتاریخچه آن

مبدل ترمیانیک دستگاهی است که مانند سایر مبدلهای تبدیل مستقیم انرژی حرارت را مستقیماً به‌انرژی الکتریکی تبدیل میکند ـ این مبدل براساس پدیده صدور ترمیانیک کار می‌نماید ، که بعداً مورد بحث قرار می گیرد . بطور ساده این‌مبدل مشتمل است بریک منبع حرارتی گرم و دوالکترود که بتوسط فضای محدودی ازهم جدا شده‌اند و بالاخره یک منبع حرارتی سرد و اتصالات الکتریکی که مقاومت الکتریکی بین آنها قرار میگیرد . الکترودها یا درفضائی که درآنجا کاملاً خلاء ایجاد شده قرار می گیرند ویا اینکه در فضائی که بوسیله گاز پر شده جا گرفته‌اند. شکل شماره (۱) قسمتهای اصلی یک مبدل ترمیانیک ساده را نشان میدهد .

ادیسون درسال ۱۸۸۰ کشف نمود که اگر یکی از دو الکترود را که در فضای تخلیه شده قرار دارد گرم نمایند در مدار خارجی جریان الکتریسته تولید میشود . بعداً ثابت شد که بخار متصاعده از روی سطح داغ مرکب از ذراتی است که بعضی ازآنها دارای بار الکتریکی می‌باشد . صدور الکترونی که به صدور ترمیانیک مشهور است به عنوان یک وسیله تبدیل حرارت به‌برق‌معرفی گردید (شلیشتر ۱۹۱۰ Schlichter) و اختراع مربوط درسال ۱۹۲۳ به ثبت رسید . پس از این زمان مبدل ترمیانیک در بوته فراموشی گذارده شد تا سنوات اخیر که مجدداً پدیده اساسی ترمیانیک موردبررسی دقیق قرارگرفت و بهترین نوع مبدل ساخته شده است .



شکل (۱)

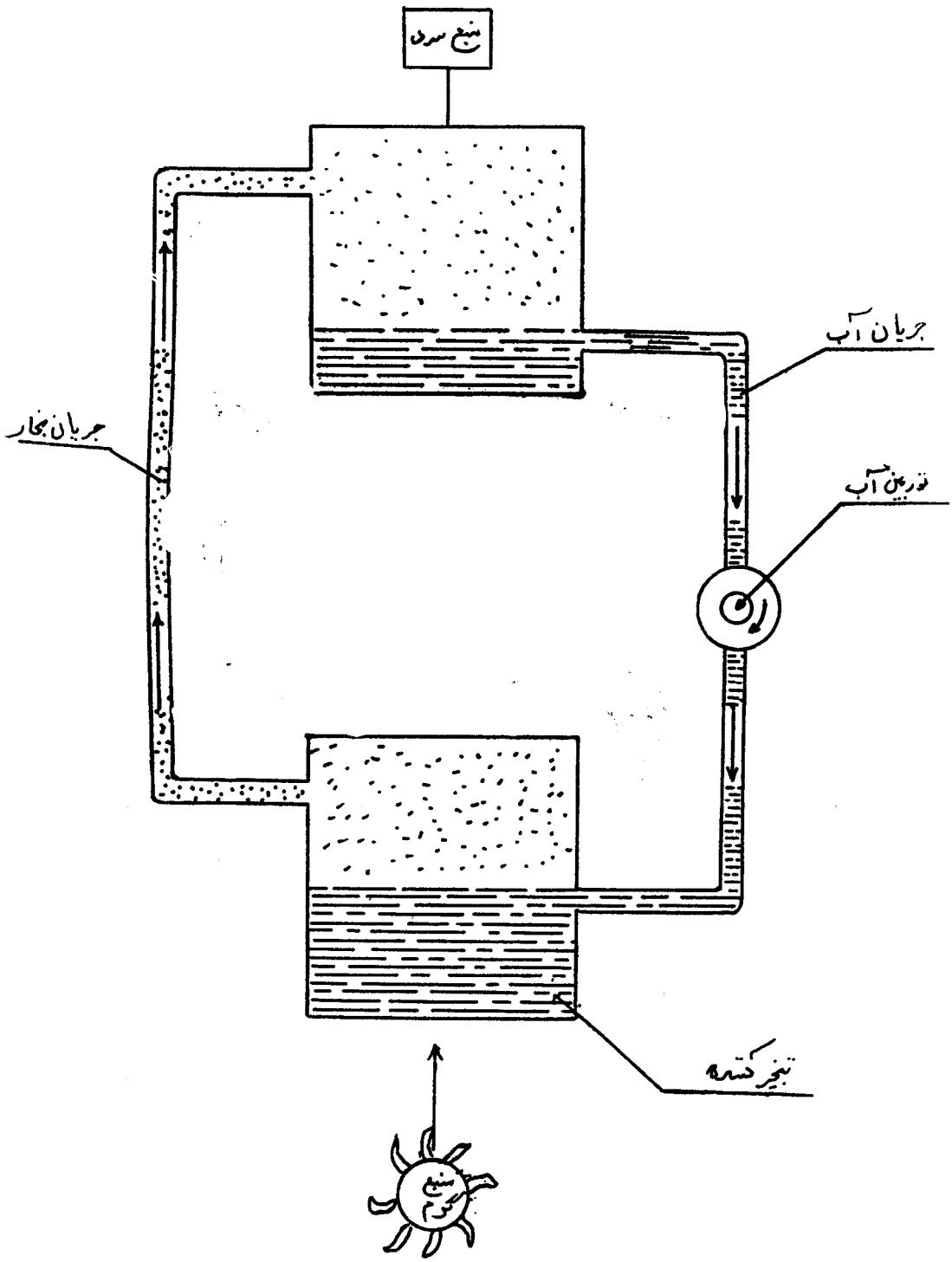
۲ـ توجیه ترمودینامیکی پدیده ترمیانیک :

از نظر ترمودینامیک مبدل ترمیانیک درحقیقت یک ماشین حرارتی است که درحرارت بالا کسب انرژی نموده و در درجه حرارت پست مقداری انرژی در منبع سرد وارد میکند و دراین سیکل مقداری انرژی الکتریکی مفید تولید مینماید . ذیلاً شباهت کار مبدل ترمیانیک و سیکل بخار ماشین های حرارتی مورد بحث قرار میگیرد .

این توجیه ترمودینامیکی عیناً از طبیعت گرفته میشود . دریاچه ها و دریا مانند الکترونها درفضای بین الکترودها فرض میشوند . انرژی پتانسیل ناشی ازنیروی ثقل بمنزله پتانسیل الکتریکی می‌باشد و باتوجه بشکل شماره (۲) جریان آب از منبع مرتفعه به منبع کم ارتفاع از طریق توربین آب بمنزله جریان الکترونی دربار خارجی الکتریکی است .

آب در دریا بواسطه انرژی آفتاب تبخیر میشود . بخار آب (ابر) به نقاط کوهستانی و سرد رفته تبدیل به باران میشود و منابع آب درارتفاعات کوهستانی‌را تشکیل می‌دهد ـ و بالاخره این آب ممکن است

راه جلگه و دریا را پیش گرفته و ضمن سقوط انرژی پتانسیل آن در توربین تولید مقداری انـرژی مفید بنماید و باین ترتیب سیکل طبیعی مزبور بسته میشود وانرژی آفتاب به‌انرژی میکانیک تبدیل میگردد . درشکل ۲ این سیکل بسته نمایش داده شده تقطیر کننده و منبع سرد مربوط درارتفاع قرارگرفته درحالیکه تبخیر کننده



شکل (۲)

درسطح پائین قرار دارد جزئیات دیگر سیکل درشکل ارائه شده است برای اختلاف درجه حرارت زیاد بین منابع گرم و سرد آب بمقدار کافی درتبخیرکننده تبخیر و درمنبع سرد تقطیر شده در توربین تولید قدرت قابل ملاحظه می‌نماید. حرارت لازم جهت تبخیر واحد جرم‌آب درمنبع گرم بتوسط حرارت تبخیر آب تعیین‌میشود. ازطرفی میزان کار تولیدی برواحد جرم سیال درتوربین بستگی دارد و به ارتفاع بین منابع سردوگرم - بهره دستگاه با زیادکردن ارتفاع مزبور البته زیاد میشود. اما باید توجه داشت‌که برای درجات حرارت معلوم منابع سردوگرم ارتفاع مورد بحث دارای حدی است‌که پس از آن حد عمل نمی‌تواند مطابق آنچه بیان شد ادامه یابد. دلیل آن اینست که فشار بخار ضمن بالا رفتن درخلاف جهت نیروی ثقل بتدریج کم میشود و میزان فشاری‌که وارد تقطیرکننده میشود همواره از فشار بخاری‌که تبخیرکننده را ترك میکند کمتر است و این البته بستگی دارد و به اختلاف ارتفاع موردبحث. حال برای اینکه بخار مزبور درکندانسور تقطیر شود باید فشاری‌داشته باشدحداقل برابر فشار اشباع بخار وآب‌درکندانسور بنابراین نتیجه میشود که‌ارتفاع ستون بخاری‌که واردکندانسور میشود دارای حد بالائی است‌که توسط فشار فوق‌الذکر بررسی میشود واگر لوله مزبور ارتفاع بیشتری‌داشته باشد ادامه سیکل‌امکان‌پذیر نیست بعبارت دیگر برای درجات معین‌حرارت منابع گرم‌وسرد یك ارتفاع اپتیمم باید وجود داشته باشدکه بازاء آن بهره ماشین‌حداکثر شود. تحلیل‌فوق برای درك پدیده میدان‌ترمیانیك کمك بسیاری‌میکند وملاحظه میشود که‌اختلاف پتانسیل بین‌الکترودهای مبدل همین وضع را دارد و بطورکلی یك توجیه کمی‌وکیفی بین‌مبدل بیان‌شده درشکل ۱ و ماشین‌حرارتی شکل ۲ وجود دارد و این یك تحلیل کمی ترمودینامیکی جهت مبدل ایدالی ترمیانیك عرضه مینماید.

۳ـ پدیده‌های اساسی تبدیل ترمیانیك :

مشخصه اساسی پدیده تبدیل ترمیانیك متداولاً بدوگروه تقسیم میشود.

الف - پدیده‌های صدور (EMiSSION).

ب - پدیده‌های ترانسپورت (TRANSPORT).

بموجب بند (الف) الکترون و یون و ذرات خنثی و فوتون از الکترود صادر می‌گردند ویا اینکه درسطح الکترود مبذل ترمیانیك جمع میشوند. درحالیکه موضوع بند (ب) عبارتست از:

بحث در پدیده که مربوط میشود به‌حرکت ذرات و فوتون درفضای بین الکترودها.

بررسی پدیده صدور مخصوصاً صدور الکترونی در درك کار مبدل ترمیانیك خیلی مهم است و این پدیده کم و بیش درکار تمام انواع مبدل‌های ترمیانیك وجود دارد. برای درك این پدیده اطلاعاتی در زمینه اصول ترمودینامیك و فیزیك و شیمی فیزیکی‌لازمست. ازطرف دیگر دانش کافی به‌الکترونیك‌حالت گازی و فیزیك پلاسما برای بررسی پدیده ترانسپورت لازم است واین پدیده برای بررسی مشخصه‌های‌مبدل

ترمیانیک ضروری است. مهم‌ترین اثر این پدیده پیدایش یک‌بار الکتریکی منفی است که با حرکت‌الکترون درفضای بین الکترورها بوجود میآید و اگر این بارهای منفی الکتریکی بطریقی (مثل بخار سیزیم) خنثی نشود بشکل فاحشی شدت جریان تولیدی مبدل تنزل پیدا میکند .

جهت خنثی کردن این بار فضائی طرق مختلف پیش‌بینی شده است و همین اساس انواع مختلف مبدل‌های ترمیانیک را تشکیل میدهد :

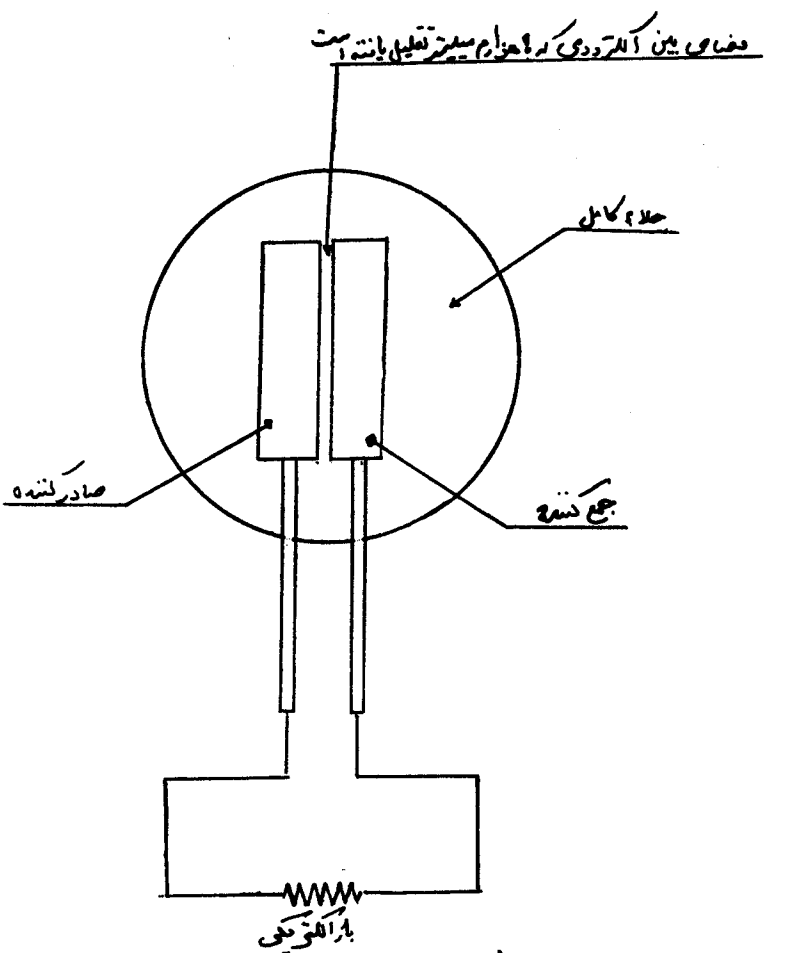
٤ـ انواع مبدل‌ها :

مبدل‌های ترمیانیک بدو گروه اصلی زیر تقسیم میشوند .

الف ـ مبدل‌های خلاء .

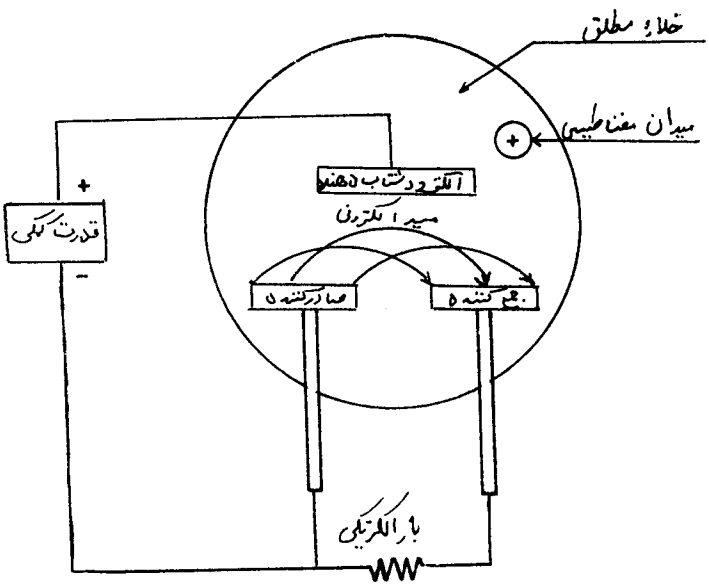
ب ـ مبدل‌های پلاسما .

درمبدل‌های نوع الف فضای بین الکترودهای‌مبدل بطور کاملی ازهوا تخلیه شده است دریک‌نوع خاص ازاین مبدل‌ها که بتمام مبدل دیود : « CLOSE—SPACE VAOUUM DIODE » معروف است بارفضائی فوق‌الذکر بوسیله کم کردن‌فاصله بین‌الکترودها کاملاً محدودمیشود بشکل۳ مراجعه شود .



شکل (۳)

دریک نوع دیگر از این مبدل ها کـه بنام نوع مغناطیسی و یا نوع تری‌یود خلاء الکترواستاتیک نـامیده میشود « ELECTROSTATIC VACUUM TRIODES » اثر بـار فضائی بوسیلـه میدان مغناطیسی خارجی و یا بوسیله بار الکترودهـای اضافی خنثی میشود به شکل ۳ مراجعه شود . باوجودیکه درآغاز توجه بسیاری به انواع مبدل های خلاء می‌شد امروزه عملاً این نوع مبدل ها ترك شده‌اند ولی باید توجه داشت که مطالعه مشخصه های آنها کمك زیاد به درك مبدل های ترمیانیك مینماید .



تری یود مغناطیسی

شکل (٤)

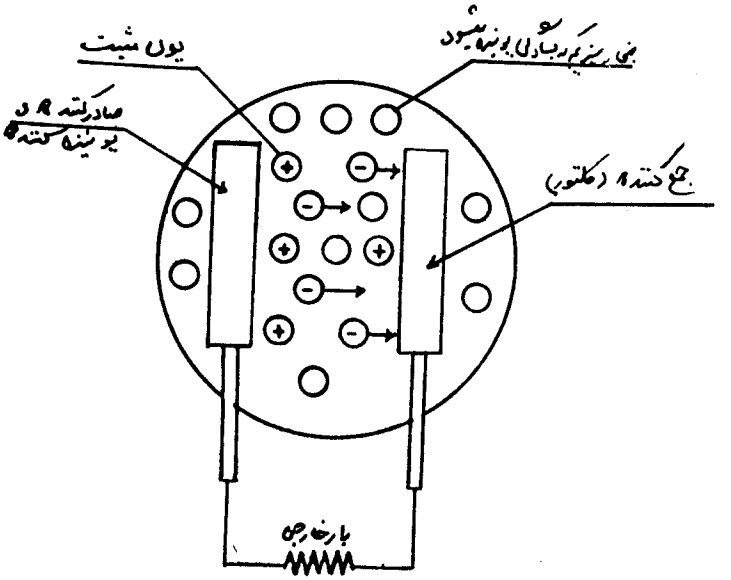
اینك میپردازیم به بررسی مختصری ازمبدل های بند(ب) یعنی‌مبدل هائی که فضای بین الکترود های آنها ازگاز پر شده است (نوع پلاسما) .

چنانکه گفته شد دراین نوع مبدل ها بار فضائی‌منفی بوسیله یون های‌مثبتی که از یونیزه شدن بخار مورد بحث بوجودآمده خنثی‌میشود . گازی که دراغلب‌مبدل ها ازآن‌استفاده میشود گاز سیزیم (CESIUM) است این گاز دربین تمام گازهای پایـدار ازهمه زودتر یونیزه میشود . راه‌های مختلفی برای یونیزه کـردن گاز سزیم وجود دارد که مبدل های متفاوتی را عرضه مینماید .

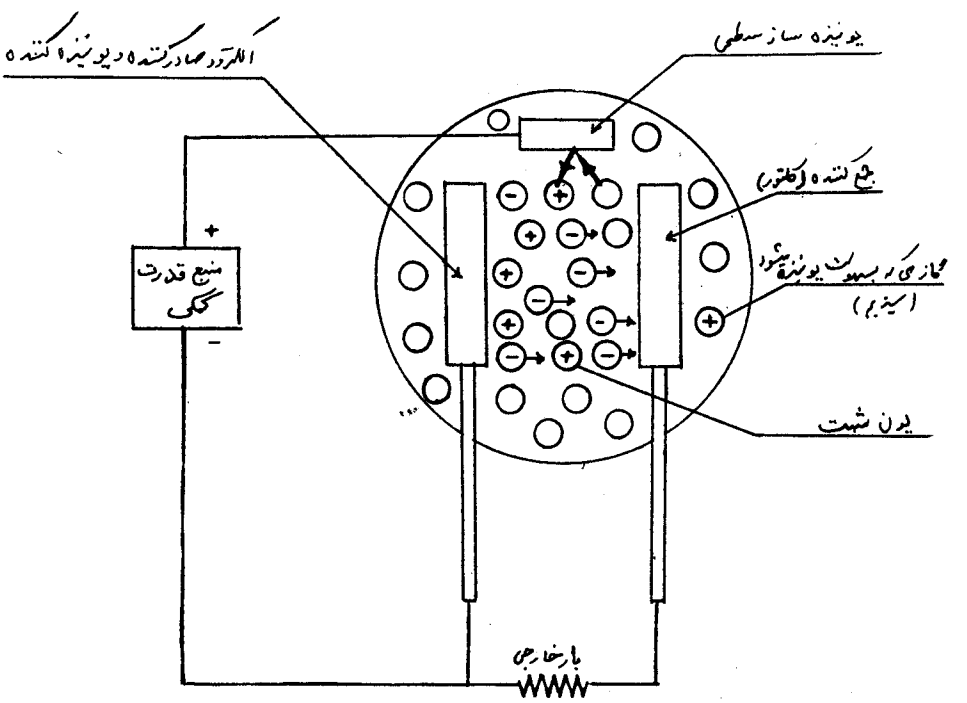
متداول‌ترین نوع مبدل دراین باره عبارتست از نوعی از مبدل که درآن عمل یونیزه شدن یا بتوسط یـونیزه شدن اتصالی (CONTACT IONIZATION) درسطح الکترود صادرکن انجام میشود و یـا بتوسط پدیـده برخورد ذراتی درفضای بین الکترودها تئوریهای مختلفی جهت بیان مکـانیسم تولید یون ها

عرضه شده است که هر کدام درمحل مخصوصی مورداستفاده قرار میگیرند. درحالیکه درجه حرارت کار مبدل زیاد و فشار سیزیم کم باشد (این حالت درمبدل های اولیه وجود داشته) یونیزه شدن بخار سزیم درسطح بسیار داغ الکترود صادرکن قابل قبول میباشد .

درحالتی که فشار بخار سیزیم زیاد ودرجه‌حرارت کار کم باشدجزئیات‌مکانیسم یونیزه شدن‌متأسفانه



(شکل ۵) دی یود بخار سزیم



(شکل ۶) مدل یود یونیزه کردن سطحی

کاملاً معلوم نیست واحتیاج به تحقیقات بیشتری دارد . البته یونیزه شدن بخارسیزیم دراثر برخورد با الکترون ها راه حلی است که جهت توجیه این مکانیسم پیشنهاد شده است .

درشکل شماره ٥ یک مبدل دید بخار سیزیم نشانداده شده است . یون های مثبت ممکن است بوسیله یک الکترود کمکی ساخته شوند دراین حال این الکترود بوسیله یک منبع کمکی کار خواهد کرد به شکل شماره ٦ مراجعه شود .

۵ـ محاسبات مبدل ترمیانیک :

همانگونه که قبلاً بیان شد درطرح ومحاسبه مبدل ترمیانیک تاحدی دانش فنی ازمکانیک کوانتیک و فیزیک سطح مورد لزوم است مقدمتاً نکاتی درباره الکترون درفلزات و انرژی فرمی بعنوان یادآوری مورد بحث قرار می گیرد .

هنگامیکه یک قطعه فلز تا حرارت T گرم میشود الکترون های آزاد درآن درهمه جهات بحرکت درمیآیند میزان متوسط الکترون های آزاد که دارای انرژی کلی $\in$ می باشند بوسیله قوانین مکانیک کوانتیک و ترمودینامیک آماری قابل محاسبه است .

قوائد آماری فرمی ـ دیرك (Fermi – Dirac Statistics) با تقریب کافی نتایج مطلوب را عرضه مینماید .

بموجب این تئوریهای آماری احتمال اینکه یک الکترون آزاد انرژی داشته باشد بین دو مقدار $\in$ و $\in+d\in$ برابر است با فاکتور فرمی $P(\in)$:

$$P(\in)=\frac{1}{1+e^{\left[\frac{\in-\mu}{kT}\right]}} \qquad [1]$$

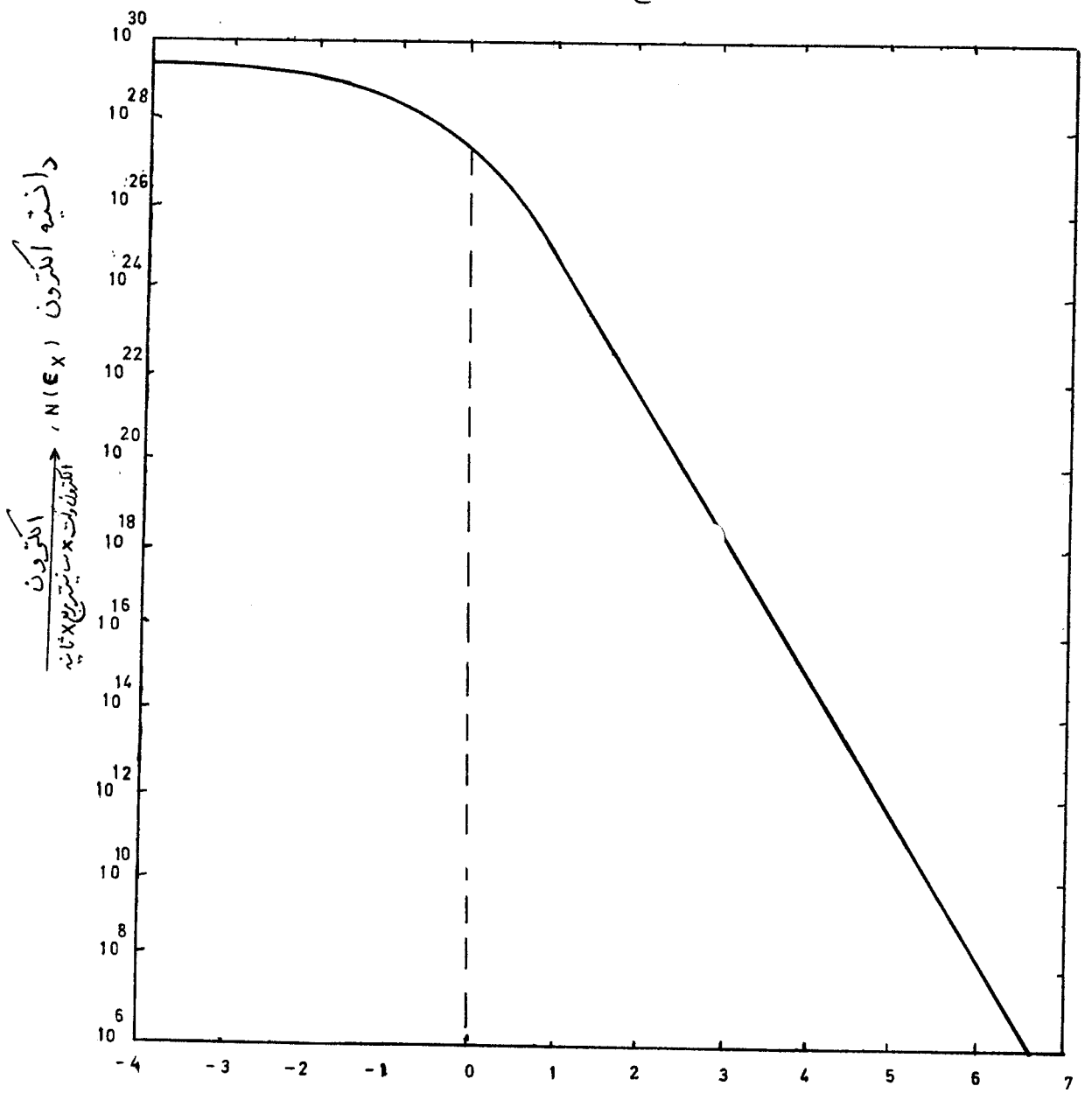
که درآن k ثابت بولتزمن $\left(k=1{,}38054\times10^{-16}\ \frac{\text{ارگ}}{\text{درجهٔ کلون}}\right)$ و μ مربوط به مشخصات فلزمیباشد. بعد μ ازجنس انرژی و به انرژی فرمی موسوم است . از معادله (۱) پیداست که اگر فاکتور فرمی برابر ٥ر باشد μ برابر مقدارکلی انرژی است $(\mu=\in)$ انرژی فرمی دارای مشخصات اصلی زیر می باشد :

هرگاه دو فلز بهم متصل باشند و بین آنها مبادله انرژی یاجریان الکتریک برقرار نباشددراین حال بنابه تعریف دوقطعه مزبور درحالت تعادل ترمودینامیکی هستند ولازمست که نه تنها درجات حرارت دوقطعه فلز یکسان باشد بلکه لازمست انرژی های فرمی فلزات مزبور نیز یکسان باشد .

ازطرف دیگر هرگاه دو قطعه فلز در درجه حرارت T باشد ولی انرژی های فرمی باندازه $\Delta\mu$ با یکدیگر فرق کنند این انرژی $\Delta\mu$ عبارتست از میزان کاری که هرالکترون لازم است انجام دهد تا اینکه از

یک فلز به فلز دیگر (که بآن دراتصال‌است) منتقل شود . بنابراین ولتمتری که بین دو فلز قراردارداختلاف بین انرژی‌های فرمی دوقطعه را نشان میدهد .

رابطه بین اختلاف انرژی‌های فرمی واختلاف پتانسیل‌الکتریکی که ولتمتر آنرا نشان‌میدهداهمیت زیاد انرژی فرمی را دربیان محاسبات مبدل‌های ترمیانیک نشان میدهد . بوسیله فرضیه‌های آماری فرمی - دیرك ممکن است، تعداد الکترون‌های آزاد راکه برواحد سطح درواحد زمان برخورد میکنند محاسبه کرد $N(\in_X)\, d\in_X$. این محاسبه مبتنی است برحرکت ذرات درجهت عمود برسطح موردنظر بین انرژی‌های $\in_X$ و $\in_X + d\in_X$. نمایش تغییرات تابع $N(\in_X)$ درشکل شماره ۷ ارائه شده است . برای مقادیر



شکل (۷)

انرژی $\epsilon_x > \mu$ رابطه $N(\epsilon_x)$ با ϵ_x بوسیله معادله تقریبی زیر بیان میشود .

$$N(\epsilon_x) \cong \frac{4\pi mkT}{h^3} e^{\left[-\frac{(\epsilon_x - \mu)}{kT} \right]} \qquad (۲)$$

دراین رابطه m عبارتست از جرم الکترون (گرم $m = ۹٫۱۰۹۱ \times ۱۰^{-۲۸}$) و h ثابت پلانگ :

(ارگ $h = ۶٫۶۲۵۶ \times ۱۰^{-۲۷}$)

انتگرال تابع $N(\epsilon_x)$ برحسب متغیر ϵ_x مقدارکل الکترون آزاد درسطح مجاور بین فلز و گاز مجاور را برای واحد سطح و واحد زمان می‌دهد .

البته تمام این الکترون‌ها (بعلت شناب منفی که دربرابر آنها قرار میگیرد) نمی‌توانند ازسطح فلز خارج شده وارد فضای پر شده ازگاز شود . نیروی لازم جهت فرار الکترون آزاد به محیط خارج ازفلز اینک موردبحث قرار می گیرد .

در داخل فلز انرژی پتانسیل الکترون (Electron Motive) مقدار ثابتی است (ψ_0) وگرادیان منفی آن بنا به تعریف عبارتست از نیروی کـه درآن نقطه از فضا به‌الکترون وارد میشود . درنزدیکی سطح بعلت وجود اتم‌های پلاریزه شده نیروهای کششی دیگر نیز برالکترون وارد میشود و انـرژی پتانسیل ψ_0 را زیاد میکند درخارج از سطح و درفضای مملو ازگاز تا فاصله ۱۰ A وضع نیروها متغیراست واز فاصله ۵۰۰ A نیروی‌وارد برالکترون‌تقریباً ثابت میشود وازاین مرحله به‌بعدالکترون مخصوصاً تحت‌تأثیر میدانهای‌الکتریکی ضعیف قرار نمی گیرد و این نقطه موسوم است به نقطـه خارج از سطح و انرژی پتانسیل نظیر یعنی (ψ_1) از خصوصیات و مشخصات فلز الکترود میباشد .

یکی دیگر از خصوصیات مشخصه سطح عبارتست از φ که بشکل زیر تعریف میشود :

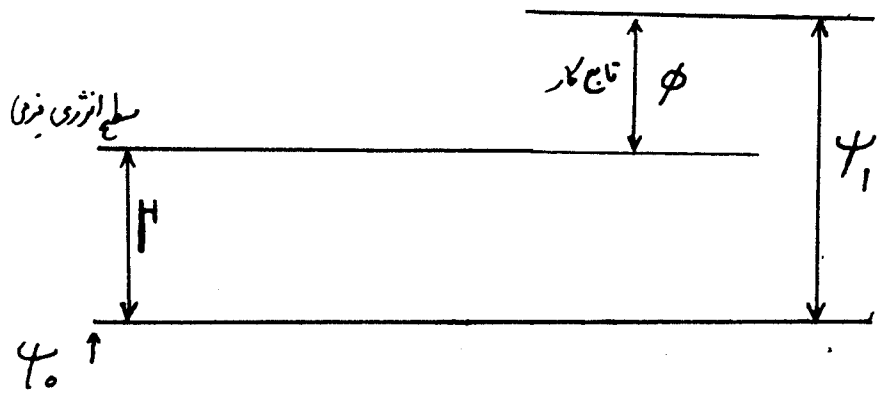
$$\varphi = \psi_1 - \mu \qquad (۳)$$

که درآن μ همان انرژی فرمی است این تابع جدید موسوم است به تابع کـار الکترونی و بطورخلاصه تـابع کار (Work Function) .

سطوح مختلف انرژی درشکل ۸ نمایش داده شده . این تعاریف عیناً درپدیده فتوالکتریک تکرار میشود و ما دربیان مبدل فتوولتائی بآن اشاره کردیم .

اختلاف بین‌انرژی پتانسیل ψ_1 و ψ_0 یعنی $\psi_0 - \psi_1$ بین دونقطه در داخل‌وخارج سطح الکترود را می‌توان بصورت دیوار و مانعی فرض کرد که الکترون درهنگام خروج ازسطح و ورود به فضا بایـد از آن مانع یا دیواره عبورکند . پرواضح است که درغیاب میدانهای اضافی خارجی فقط الکترونهائی می‌توانند در جهت عمود برسطح از دیواره خارج شوند که انرژی پتانسیلی بیشتر از ψ_1 داشته باشند .

اینک با تعریف جریان اشباع الکترونی‌می‌توانیم معادله اصلی محاسبات این مبدل را ارائه نمائیم



شکل (۸) سطح انرژی

درغیاب میدانهای قوی خارجی میزان الکترونهائی که از الکترود داغ از دیواره عبورکرده و به نقاط خارج ازسطح (درداخل گاز خارجی) وارد میشود بنا به تعریف عبارتست از جریان اشباع الکترونی (Electronic Saturation Current) و به J_S نمایش داده میشود این جریان از انتگرال تابع $N(\in_X)$ هنگامیکه $\in_X$ از ψ_1 تا بینهایت تغییر میکند محاسبه می گردد (شکل ۷) چون برای تمام مواد و درجه حرارتهای عملی تابع $\psi_1 - \mu$ بمراتب بیشتر از kT است (معادله ۲) ارتباط تابع $N(\in_X)$ به $\in_X$ بصورت شکل ۷ خواهد بود و نتیجه انتگراسیون بفرم زیر درمیآید .

$$J_S = AT^2 e^{\left[-\frac{\psi_1 - H}{kT}\right]} = AT^2 e^{-\frac{\varphi}{kT}} \quad \left(\frac{\text{آمپر}}{\text{سانتیمترمربع}}\right) \qquad (٤)$$

درحالیکه :

$$A \equiv 4\pi k^2 \frac{e}{h^3} \quad \left(\frac{\text{آمپر}}{\text{درجه کلون ـ سانتیمترمربع}}\right)$$

و e بار الکترونی است که معادل ۱۶۰۲۱۰×۱۰^{-۱۹} کلومب است .

معادله ٤ به معادله ریچاردسون (Rizhardson) مشهور است .

حال اگر درجه‌حرارت الکترود صادرکن T_E وتابع کار آن φ_E باشد دانسیته جریان‌اشباع الکترون الکترود صادرکن ، توسط معادله (٤) معلوم میشود .

$$J_{ES} = AT_E^2 e^{\left[-\frac{\varphi_E}{kT_E}\right]} \qquad (٥)$$

بهمین ترتیب اگر درجه حرارت الکترود جمع کننده یا کلتور T_C وتابع کار آن φ_C باشد دانسیته جریان اشباع الکترون الکترود صادرکن میشود :

$$J_{CS}=AT_C^{2}\,e^{\left[-\frac{\varphi_C}{kT_C}\right]} \qquad (۶)$$

در الکترود صادرکن ، علاوه برالکترونها یونها نیز به محیط گاز پر شده بین فضای الکترودها وارد میشوند این وضعیت مخصوصاً هنگامیکه گاز موردنظر خود یون مثبت تولید کند (مثل بخار سیزیم) درخور توجه است و الی تعداد یونها نسبت به مقدار الکترونهای صادر شده چندان نخواهد بود . دانسیته جریان اشباع یونها بتوسط معادله زیر که دربرابر معادله ریچاردسون عرضه شده محاسبه میگردد :

$$J_S=\frac{e\,P_g}{[2\pi m_g kT_g]^{1/2}\left[1+2e^{\left(\frac{eV_i-\varphi}{kT}\right)}\right]} \qquad (۷)$$

که درآن P_g فشار و T_g درجه حرارت و m_g جرم و V_i پتانسیل یونیزاسیون ذرات یون فلز موردنظراست اگر درجه حرارت صادرکن ، کم باشد این دانسیته کم میشود .

برای درجه‌حرارت‌معلوم الکترود صادرکن، اگر تابع کار کم شود دانسیته جریان اشباع الکترونی زیاد میشود درحالیکه دانسیته جریان اشباع یونها کم میشود . مطلب دیگری که دراین قسمت باید اضافه شود اینست که تمام ذرات بارداری که‌الکترون‌صادرکن راترك میکنندلزوماً واردالکترودجمع کننده نمیشوند.

فاکتور زیر که بتوسط انرژیهای پتانسیل ψ_C و ψ_E مربوط به‌جمع کن وصادرکن ، تعریف میشود بطوریکه خواهیم دید جریان مبدل را خواهد داد برای بحث مفصل‌تر به‌منابع مقاله مراجعه فرمائید :

$$f_E=e^{\left[-\frac{(\psi_C-\psi_E)}{kT_E}\right]} \qquad (۸)$$

که درآن عیناً مانند رابطه (۳) :

$$\psi_E-\mu_E=\varphi_E \qquad (۹)$$

$$\psi_C-\mu_C=\varphi_C \qquad (۱۰)$$

μ_E و μ_C انرژی‌های فرمی مربوط به‌صادرکن و جمع کن است قبل از محاسبه جریان مبدل ولتاژ خارجی الکترود را به فرم زیر بیان میکنیم :

$$V=\frac{\mu_C-\mu_E}{e} \qquad (۱۱)$$

این ولتاژی است که تقریباً بتوسط ولتمتر دربین الکترودها اندازه گرفته میشود .

حال اگر رابطه ۹ و ۱۰ و ۱۱ را در ۸ قرار دهیم :

$$f_E = e^{\left[-\frac{(\psi_C - \psi_E)}{kT_E} \right]} = e^{\left[-\frac{(\varphi_C + eV - \varphi_E)}{kT_E} \right]} \qquad (۱۲)$$

بکمک روابط ۵ و ۱۲ میتوان جریان تولیدی مبدل را تعیین کرد :

$$J = J_{EC} = f_E J_{ES} = AT_E^{۲} e^{\left[-\frac{(\varphi_C + eV)}{kT_E} \right]} \qquad (۱۳)$$

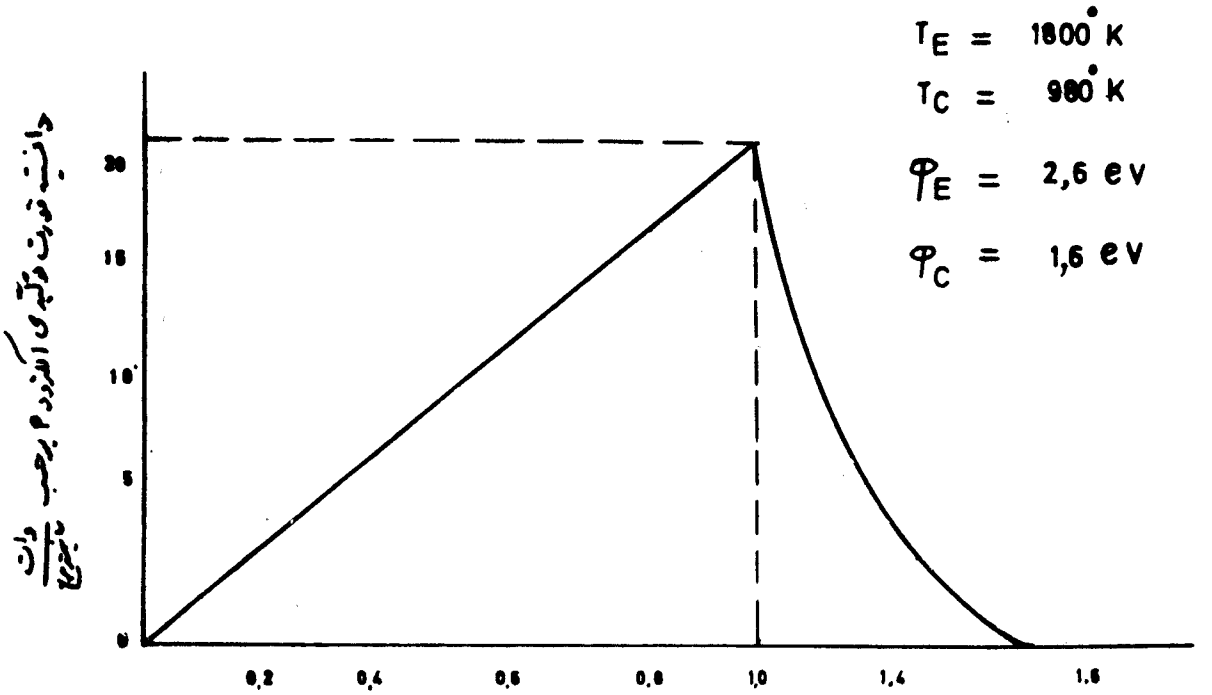
این رابطه برای وقتی صحیح است که :

$$eV > \varphi_E - \varphi_C$$

این جریان بنام جریان تولیدی ایدالی موسوم است .

انرژی الکترون ، $(E_X - H)$ ، الکترون ولت

شکل ۷ نوین تغییرات دانسیته الکترونی



ولتاژ تولیدی الکترود ۲ بر حسب ولت

شکل ۱۷

دانسیته قدرت مبدل ترمیانیک بنابه تعریف عبارتست از :

$$P=JV \qquad (14)$$

اگر S سطح مؤثر الکترود باشد قدرت مبدل عبارتست از SP این دانسیته قدرت دانسیته قدرت ایدالی‌نامیده میشود شکل ۹ نمایش تغییرات V و P را نشان میدهد شکل برای یک مبدل دیود با مشخصات مندرج‌در دیاگرام ترسیم شده .

۶ـ محاسبه بهره :

بهره ایدالی‌هرمبدل انرژی بنابه تعریف عبارتست از نسبت انرژی تولیدی به‌انرژی‌مصرفی درمبدل ترمیانیک انرژی تولید بصورت الکتریکی است و انرژی مصرفی بصورت حرارت می‌باشد .

با توجه به وضع ساختمانی مبدل اگر V اختلاف پتانسیل بین سطوح الکترودها باشد در اتصالات الکترودها به بار خارجی همواره یک‌افت پتانسیل الکتریکی وجود خواهد داشت که اگر آنرا به V_a نمایش دهیم اختلاف پتانسیل دو سربار الکتریکی خارج میشود :

$$V_t=V-V_a \qquad (15)$$

درمورد دانسیته بدرت بهمین ترتیب داریم :

$$P_t=P-JV_a \qquad (16)$$

حال اگر q_i حرارت مصرفی مبدل باشد بهره ایدالی مبدل میشود :

$$\eta=\frac{SP_t}{q_i} \qquad (17)$$

دربسیاری از مبدل‌های ترمیانیک (مانند سایر ماشین‌های حرارتی) حرارتی که منبع حرارتی تولید میکند مصرف مبدل نمیشود اگر حرارت مزبور q_T باشد بهره عملی میشود :

$$\eta_o=\frac{SP_t}{q_T} \qquad (18)$$

حرارت مصرفی مبدل در رابطه (۱۷) به قسمتهای زیر تقسیم میشود .

الف ـ حرارت‌خنک کننده‌الکترونی الکترود صادرکن که به q_E نمایش‌داده میشود وعبارتست‌از :

$$q_E=SJ_{EC}(\psi_m-\mu_E+2kT_E)\frac{1}{e} \qquad (19)$$

که درآن ψ_m حداکثر انرژی پتانسیل درفضای بین الکترودها است .

ب ـ حرارت گرم کننده الکترونی الکترود صادرکن که با q_{CE} نمایش داده میشود و عملاً برابر است با $-q_E$.

$$-q_{CE} = -S J_{CE} \frac{(\psi_m - \mu_E + 2kT_C)}{e} \qquad (۲۰)$$

ج ـ تشعشع بین الکترودها q_r که با قانون استفن پولتزمن بیان میشود :

$$q_r = S\sigma\in(T_E^4 - T_C^4) \qquad (۲۱)$$

درآن σ عدد ثابت قانون تشعشع است :

$$\sigma = ۵٫۶ \times ۱۰^{-۱۲} \left(\frac{\text{وات}}{\text{درجهٔ کلون ـ سانتیمتر مربع}}\right)$$

و $\in$ حرارت صدور زوج الکترود است :

د ـ انتقال حرارت بتوسط اتصالات مربوط به‌صادرکن q_a .

اگر k_a و S_a و l_a ضریب انتقال حرارت و اندازه سطح مقطع وطول اتصالات باشد :

$$q_a = k_a \frac{S_a}{l_a} (T_E - T_C) \qquad (۲۲)$$

هـ ـ حرارت ژول q_d .

عملاً نصف حرارت ژول به‌داخل صادرکننده برمی‌گردد این‌حرارت عبارتست از :

$$-\frac{۱}{۲} q_d = -\frac{۱}{۲} SJV_a = -\frac{۱}{۲} S^۲J'\rho_a \frac{l_a}{S_a} \qquad (۲۳)$$

ρ_a رزیستیویته اتصالات است .

یک انتقال حرارت دیگرهم وجود دارد که به q_k نمایش داده میشود وآن مربوط است به‌ساختمان اجزائی که به صادرکن ارتباط دارند :

$$q_k = g_k(T_E - T_C) \qquad (۲۴)$$

g_k مجموع ضرایب انتقال حرارت مواد مرتبط به‌صادرکن است (بخار مجاور الکترود نیز ضمیمه می‌باشد) .

بنابراین q_i عبارتست از :

$$q_i = q_E - q_{CE} + q_r + q_a - \frac{۱}{۲} q_d + q_k \qquad (۲۵)$$

و بهره با توجه به روابط (۱۶) و (۱۷) و (۲۵) میشود :

$$\eta = \frac{SJ(V - V_a)}{(q_E - q_{CE}) + (q_a - \frac{۱}{۲} q_d) + (q_r + q_k} \qquad (۲۶)$$

درمخرج کسر سه نوع مختلف عبارت حرارت وجود دارد که ازچپ براست‌اولین پرانتز مربوط است به‌جریان

الکترونیک دومی مربوط به‌جریان الکتریکی اتصالات الکترودهای مبدل سومی مربوط به تشعشع و انتقال حرارتی بین‌الکترودی علاوه بربهره فوق یک‌نوع بهره الکترونیک نیز میتوان جهت مبدل ترمیانیک‌پیش‌بینی کرد که با توجه به پارامترهای بیان شده عبارتست از :

$$\eta_C = \frac{SJV}{q_E - q_{CE}} \qquad (۲۷)$$

رابطه خیلی نزدیکی بین بهره حرارتی (معادله ۲۶) مبدل ترمیانیک و بهره مبدل ترموالکتریک وجود دارد (به مجله دانشکده فنی شماره ۳ ، مراجعه شود) و نشان میدهد که اساس محاسبه بهره این دو سیستم یکسان است .

جدول زیر بهره مولد ترمیانیک را برای درجات حرارت الکترود صادرکن ارائه میدهد در جدول اندازه‌های V و P نیز داده شده .

جدول شماره ۱

T_E (درجه کلون)	V (ولت)	P وات / سانتیمترمربع	η درصد
۱۵۰۰	۰٫۴ → ۰٫۲	۲ → ۱	۸ → ۴
۲۰۰۰	۱٫۰ → ۰٫۵	۲۰ → ۵	۱۹ → ۱۰

۷ـ مقایسه مبدل ترمیانیک با سایر مبدل‌های انرژی :

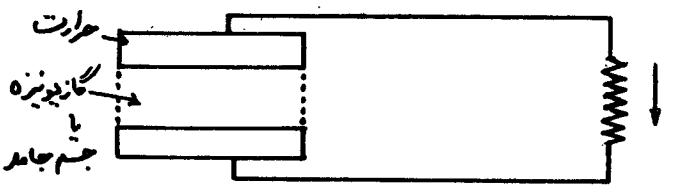
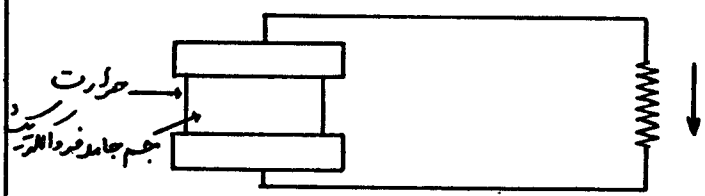
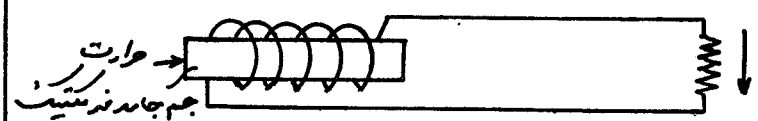
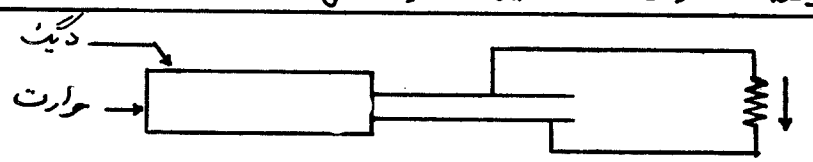
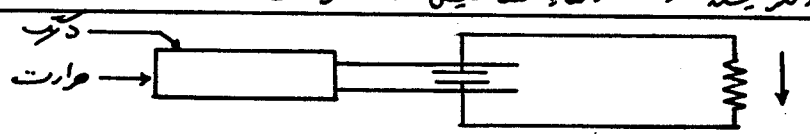
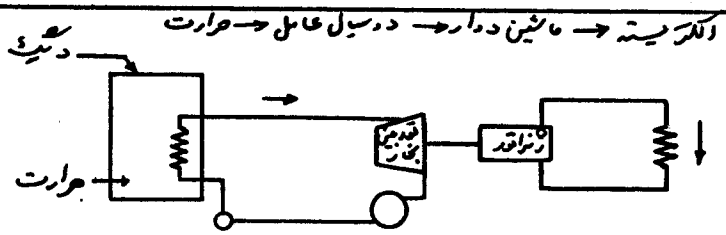
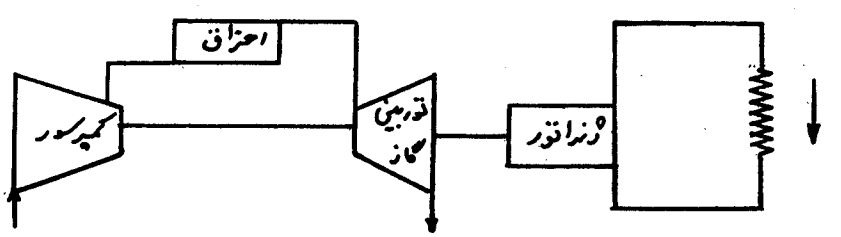
درجدول شماره ۲ مبدل ترمیانیک با سایر مبدل‌های انرژی مقایسه شده است .

راههای مختلفی‌برای‌تبادلات‌انرژی‌ها بیکدیگر مخصوصاً حرارت‌به‌الکتریسیته وجود دارد . مقایسه مبدل ترمیانیک با سایر مولدهای الکتریکی‌ازاین‌نظر جالب است که مورداستفاده انحصاری و مزایا ومعایب هرسیستم را مشخص مینماید .

فرق اساسی این سیستم‌ها درحالت اجزاء عامله آنها (مثلاً حالت مایع یا جامد) وقطعات‌مکانیکی بین منبع گرم و مرکز تولید الکتریسیته است .

مثلاً درمبدل ترمیانیک حرارت مستقیماً به‌جریان‌الکترون ازهادی تبدیل‌میشود درحالیکه درمبدل فرومگنتیگ حرارت میدان مغناطیسی مبدل را (درهسته جامد سیم پیچی) تغییر میدهد (به شکل های‌ترسیم شده درجدول ۲ مراجعه شود) و این باعث ایجاد جریان الکترون در مدار خارجی میشود .

جدول شماره ۲

نام سیستم	حالات انرژی
ژنراتور ترمیونیک یا ترموالکتریک	الکتریسته ← حرارت 
ژنراتور فروالکتریک	الکتریسته ← میدان الکترومغناطیسی ← جسم جامد ← حرارت 
ژنراتور فرمنتیک	الکتریسته ← القاء الکترومغناطیسی ← حرارت 
ژنراتور الکترو هیدرودینامیک EHD	الکتریسته ← میدان الکترومغناطیسی ← سیال عامل ← حرارت 
ژنراتور مگنتوهیدرودینامیک MHD	الکتریسته ← القاء مغناطیسی ← حرارت 
توربو ژنراتورها	توربین بخار: الکتریسته ← ماشین دوار ← دو سیال عامل ← حرارت  توربین گاز: الکتریسته ← ماشین دوار ← یک سیال عامل ← حرارت 

مبدل های تولید الکتریسیته ازاین جهت به سه گروه اصلی تقسیم میشوند .

الف - مبدل های مستقیم یا ساکن .

ب - مبدل های نیمه مستقیم .

ج - مبدل های غیرمستقیم یا دینامیک .

درمبدل های مستقیم یا ساکن فقط یک سیال عامل وجود دارد و آن جریان الکترونی ایست . مبدل ترمیانیک دراین گروه قرار دارد .

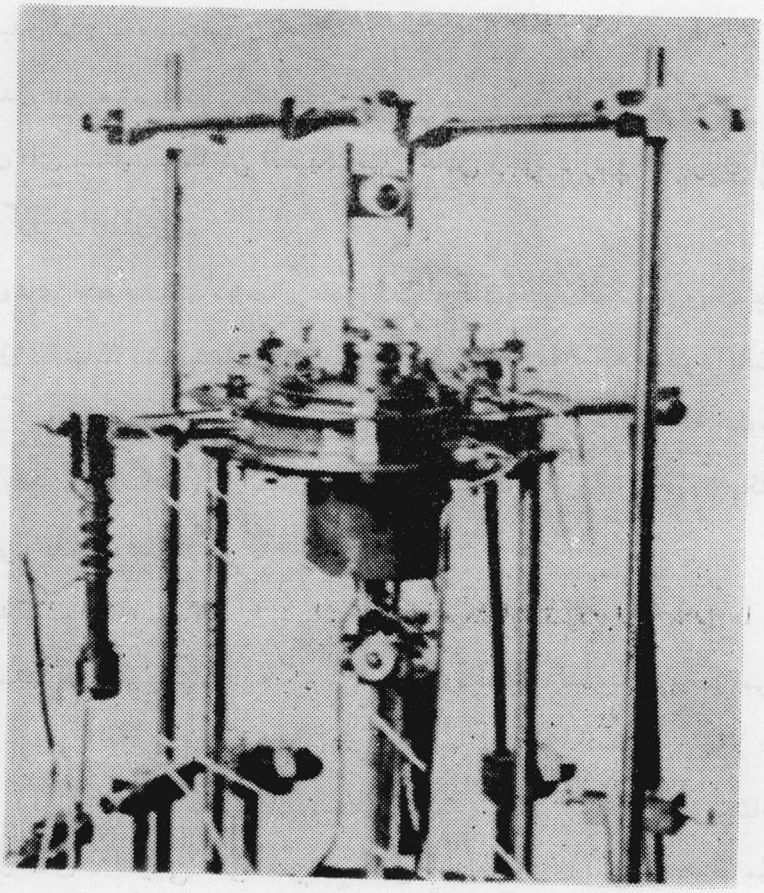
درمبدل های نیمه مستقیم دوسیال عامل در کار است جریان الکترونی ویک جریان دیگر که ممکن است بصورت سیال یا جامد باشد مبدل مگنتوهیدرودینامیک MHD که موضوع بحث مقاله آینده دراین مجله است دراین گروه قرار می گیرد و بالاخره مبدل های غیرمستقیم یا دینامیک که عموماً با بیشتر از دوسیال عامله سروکار دارند . و ضمناً دراین مبدل ها قطعات مکانیک نیز وجود دارد . یک سیستم توربین بخار یک موتور احتراقی دراین گروه قرار می گیرفد .

ملاحظه میشود که سیستم های دینامیکی امروزه متداول ترین نوع مبدل ها را تشکیل میدهند . مبدل های نیمه مستقیم ومستقیم در زمان جنگ بین المللی دوم مصرف نداشته اند وحتی امروزه جزء موارد خاص صنعتی و مصارف عمومی فضائی مصرفی ندارند ولی تحولات تکنولوژیک دهه اخیر (در زمینه های مختلف مصارف صنعتی و فضائی) جهت مبدل های مستقیم و نیمه مستقیم آینده بسیار درخشانی را نشان میدهد مخصوصاً که مبدل های دینامیکی عموماً سوخت فسیل (فرآورده های نفتی) مصرف میکنند که منابع آنها رو به زوال است و ازطرفی کار مبدل های دینامیکی همواره با ایجاد آلودگی هوا توأم است (موتورهای گازوئیلی بنزینی و غیره) و این وضع مخصوصاً برای مراکز پرجمعیت قابل تحمل نیست در وسائل نقلیه الکتریکی پیل سوختی که از گروه مبدل های مستقیم است (مجله دانشکده فنی شماره ۱۴) عملاً شانس بسیاری دارد که درآینده جایگزین موارد دینامیکی شود جالب توجه است که مسئله مخصوصاً درآمریکا از نظر تکنولوژی مشکلی ندارد ولی مسائل اقتصادی کارخانجات سازنده اتومبیل و کمپانیهای نفتی اشکال اصلی هستند .

از نظر مزا و موارد مصرف مبدل ترمیانیک باید اضافه کرد که مبدل ترمیانیک دارای قدرت تولید در واحد سطح زیادی است و از معایب آن بالا بودن درجه حرارت منبع گرم است . طول عمر دستگاه نسبتاً زیاد است .

بوسیله آینه های مقعر انرژی آفتاب را متمرکز کرده بعنوان منبع گرم ازاین انرژی درمبدل های ترمیانیک ممکن است استفاده کرد از حرارت آفتاب مخصوصاً در سیستم های فضائی نیز میتوان بعنوان منبع

گرم مبدل استفاده نمود . کلیشه یک مبدل ترمیانیک را نشان میدهد . جنس فلز صادر کننده رنیم Rhenium است و ازگاز سیزیم درآن استفاده شده سطح الکترود ٤ اینچ مربع میباشد.



فاصله الکترودها ٥ . . ر. اینچ است جنس فلز الکترود جمع کن نیکل است درجه حرارت صادر کن ۲۰۰۰ تا ۱۶۰۰ درجه کلون میباشد درقسمت چپ شکل منبع سیزیم مشاهده میشود . درشماره بعد راجع به مبدل MHD بحث خواهد شد .

مأخذ مقاله

1. Principles of General Thermodynamics, By George N. Hatsopoulos and J. H. Kbenan, Wiley 1965 .

2. Hatsopoulos, Kaye, Analysis and. Fxprimental Results, of A Diode Thermionics Engine. Proc. Irb , Vol 46 , Sbpt. 1958 .

3. Shfldon , S, L. Chan G Enfrgy Conversion , PU. 98—104 .

4. Mechani cal Engineering V . 88 Nn . 9 Sept 1966 and Vol 88 . No. 12. Dbc. 1966.