



آشنایی با تکنولوژی IGBT در کوره های القایی

تهیه و تدوین: واحد تحقیق و توسعه – گروه پاترون

شماره سند: 4-E-2A-11

An Introduction of IGBT in Induction Furnaces

By

R & D Department

Patron Group



هرگونه بهره برداری از این مدرک مستلزم اخذ مجوز کتبی از گروه پاترون است.

The statements and technical information contained in this document are based on our research and research of others. However, this document is not contractual, and nothing in it, constitutes a warranty (expressed or implied) that the goods described are accurate and fit for a particular purpose of the customer. Purchasers are advised to make their own tests to determine the suitability. This specification supersedes any former publication and is subject to change without notice. Furthermore, this drawing / document is the property of Patron Group and must not be copied or disclosed outside our company without written permission. This drawing / document must be returned after use.

فهرست مطالب

| | |
|--------|---|
| ۳..... | مقدمه |
| ۳..... | تریستور چیست؟ |
| ۳..... | IGBT چیست؟ |
| ۵..... | تفاوت های بین IGBT و SCR در منبع تغذیه فرکانس متوسط |
| ۷..... | روش های مختلف طراحی مدار قدرت |



مقدمه

در این مقاله برتری های استفاده از ترانزیستور^۱ IGBT^۲ به عنوان اینورتر^۳ در مقایسه با استفاده از تریستور^۴ SCR در مدار کنترل کوره های القایی و به طور کلی منابع قدرت با فرکانس متوسط مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار خواهد گرفت.

تریستور چیست؟

تریستور مانند یک دیود با یک پایه اضافی به نام گیت است، دو شرط برای به کارافتادن تریستور باید مهیا باشد: اول اینکه آند به مثبت و کاتد به منفی وصل باشد (تغذیه مستقیم)، دوم اینکه به پایه گیت آن فرمان داده شود (تحریک شود) در این صورت تریستور جریان را هدایت می کند و با یک فرمان تریستور شروع به هدایت جریان کرده و با قطع فرمان همچنان به کارش ادامه می دهد. تریستور در دو نوع گیت مثبت و گیت منفی وجود دارد. در واقع تریستور مانند کلیدی است که از طریق گیت کنترل می شود، از تریستور در مدارات شارژ، کنترل دور و غیره استفاده می شود.



شکل ۱: نماد تریستور در مدار.

IGBT چیست؟

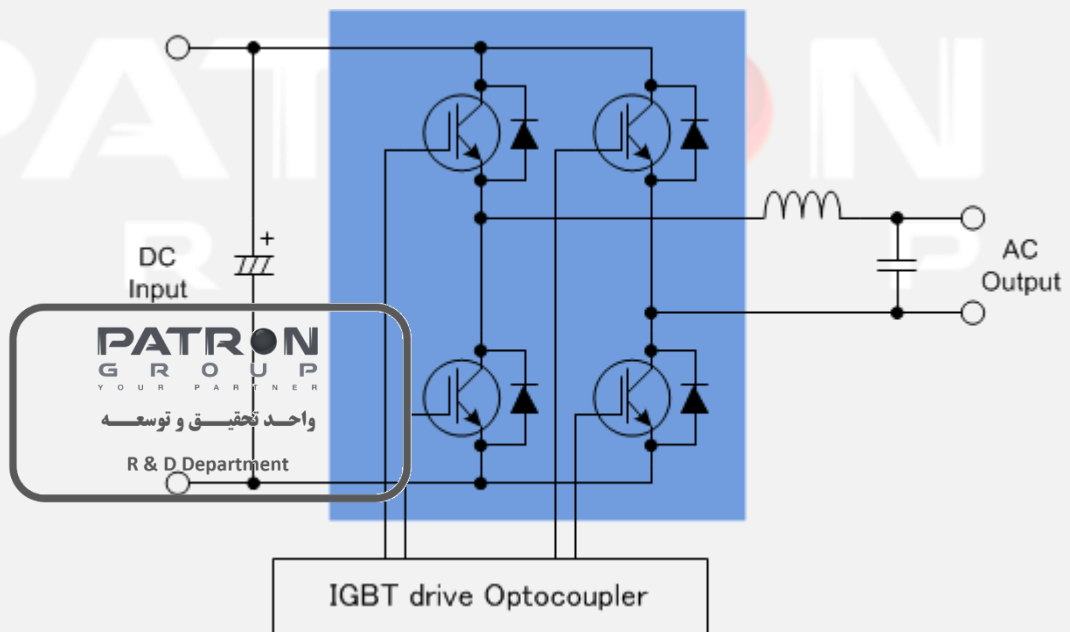
IGBT هم مانند تریستور یک نیمه هادی با سه ترمینال می باشد که در فرکانس های بالا و برای سوئیچینگ های سریع به کار می رود. در اصل IGBT یک ترانزیستور است. در شکل زیر نماد IGBT در مدار تولید قدرت نشان داده شده است.

1. Transistor
2. Insulated Gate Bipolar Transistor
3. Inverter
4. Thyristor



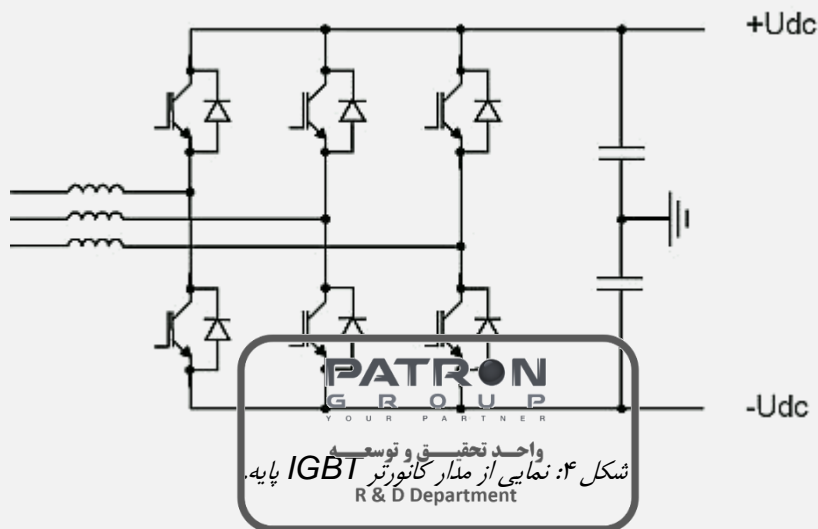
شکل ۲: نماد IGBT در مدار

اینورترهای IGBT به طور معمول از چهار سوئیچ IGBT تشکیل شده که با یکدیگر یک پل H شکل را ایجاد می کنند تا ولتاژ DC را به AC تبدیل نمایند. شکل زیر نمایی شماتیک از اینورترهای IGBT با ترکیب H-Full bridge را در یک مدار نشان می دهد.



شکل ۳: نمایی از مدار اینورتر IGBT با ترکیب H-Full bridge

البته لازم به ذکر است که از ترکیب IGBT می توان به عنوان کانورتر نیز استفاده نمود تا ولتاژ AC را به DC تبدیل نمایند. شکل زیر نمایی شماتیک از یک کانورترهای IGBT را نشان می دهد.



تفاوت های بین IGBT و SCR در منبع تغذیه فرکانس متوسط

با توجه به تفاوت های ذاتی بین IGBT و SCR، موارد زیر را می توان به عنوان محاسن استفاده از IGBT به جای SCR در منابع تغذیه فرکانس متوسط و یا مدارهای تولید قدرت برشمرد.

۱- توان خروجی ثابت و سرعت ذوب گیری بیشتر: منبع تغذیه SCR MF برای تنظیم توان از تنظیم ولتاژ استفاده می کند، این در حالی است که IGBT جهت تنظیم توان از تنظیم فرکانس بهره می برد. ضریب توان^۵ در منبع تغذیه IGBT به هیچ عنوان وابسته به مقدار متریال (ذوب) موجود در کوره و یا ضخامت خاک کوره نمی باشد و در طول مدت شرایط مقدار آن ثابت باقی می ماند. این مزیت به خصوص در زمانی که متریال داخل کوره از رسانایی مغناطیسی ضعیفی برخوردار باشد (مانند فولاد زنگ نزن، مس و آلومینیوم) بارز و قابل تامل خواهد بود، زیرا این ویژگی منجر به کاهش زمان آماده سازی یک ذوب و به تبع آن کاهش نرخ از بین رفتن عناصر آلیاژی می گردد.

۲- صرفه جویی در مصرف انرژی (توان مصرفی هر ذوب): زمانی که قطعه IGBT به عنوان نیم پل معکوس شونده استفاده می گردد، ولتاژ معکوس به طور تقریبی 2800V شده و لذا جریان معکوس در یک ظرفیت توان یکسان، به میزان 25% کمتر از منبع تغذیه با طرح تریستور پایه خواهد شد. در نتیجه میزان مصرف انرژی منبع تغذیه IGBT کمتر می گردد به گونه ای که میزان صرفه جویی در مصرف انرژی در منبع تغذیه IGBT به میزان 10% بیشتر از منبع تغذیه با طرح تریستور پایه خواهد شد.

۳- عدم وجود تداخل های هارمونیک: هارمونیک بالاتر اساساً توسط ولتاژ غیر یکنواخت تولید می گردد که این مسئله در زمانی که رکتیفایر در حال تنظیم ولتاژ است رخ می دهد. وجود هارمونیک در یک سیستم موجب ضربه زدن و ایجاد خسارت به

⁵. Power factor

تجهیزات موجود در مدار می گردد. زمانی که منبع تغذیه IGBT، در حال به کارگیری ولتاژ 3 phase full-wave uncontrolled rectification بدون هر گونه توالی (sequence) و بدون هر گونه زاویه رسانایی باشد، ولتاژ DC در بالاترین مقدار خود کار کرده و در نتیجه هیچگونه هارمونیک بالاتر و تداخل در توان رخ نخواهد داد.

۴- ضریب توان ثابت: در منبع تغذیه IGBT، ضریب توان همواره بزرگتر از 0.95 بوده و تلفات reactive کمتر خواهد شد.

در جدول زیر به طور اجمالی به مقایسه اینورترهای IGBT پایه و تریستور پایه از نقطه نظرات مختلف پرداخته شده است.

جدول ۱: مقایسه اینورترهای IGBT پایه و تریستور پایه.

| Thyristor | IGBT | |
|--|---|-----------------------------------|
| با توجه به سرعت عکس العمل پایین (حساسیت پایین تر نسبت به di/dt و dv/dt) بایستی از یک مدار کمکی RC جهت حفاظت از مدار و تجهیزات داخل آن استفاده نمود. | به دلیل داشتن سرعت عکس العمل بالا (حساسیت بالا تر نسبت به di/dt و dv/dt)، مدار RC کمکی جهت حفاظت از مدار و تجهیزات آن نیاز نمی باشد. | مدار کمکی RC |
| بازده تبدیل توان ضعیف. | بازده تبدیل توان مناسب. | بازده توان |
| با توجه به سرعت عکس العمل پایین (کندی در قطع و وصل) نمی توان در فرکانس های بالاتر از 7KHz استفاده نمود. | به دلیل داشتن سرعت عکس العمل بالا، به راحتی می توان از آن حتی در فرکانس 100KHz نیز با اطمینان بالا استفاده نمود. | قابلیت اطمینان در فرکانس های بالا |
| با توجه به زمان قطع و وصل کند (بیش از ۳۳۰۰ میکرو ثانیه)، در صورت بروز اتصال کوتاه، حفاظت از مدار در به کندی صورت گرفته و مدار در خطر آسیب قرار می گیرد. | با توجه به زمان قطع و وصل سریع (کمتر از ۱۰ میکرو ثانیه)، در صورت بروز اتصال کوتاه، حفاظت از مدار در سریع ترین زمان صورت خواهد گرفت. | مقاومت در مقابل اتصال کوتاه |



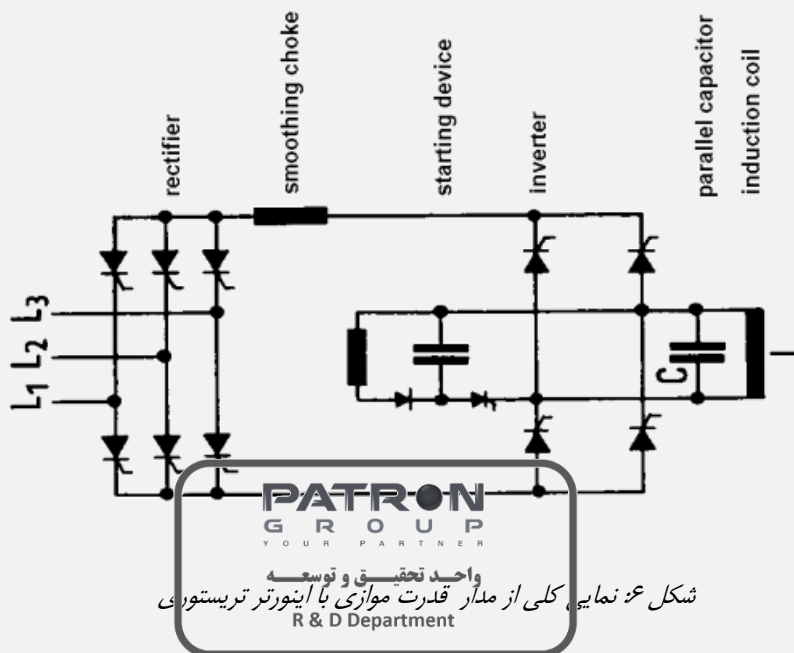
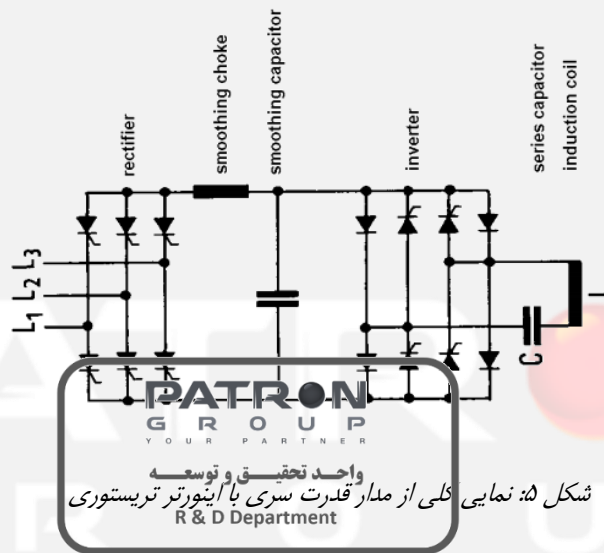
روش های مختلف طراحی مدار قدرت

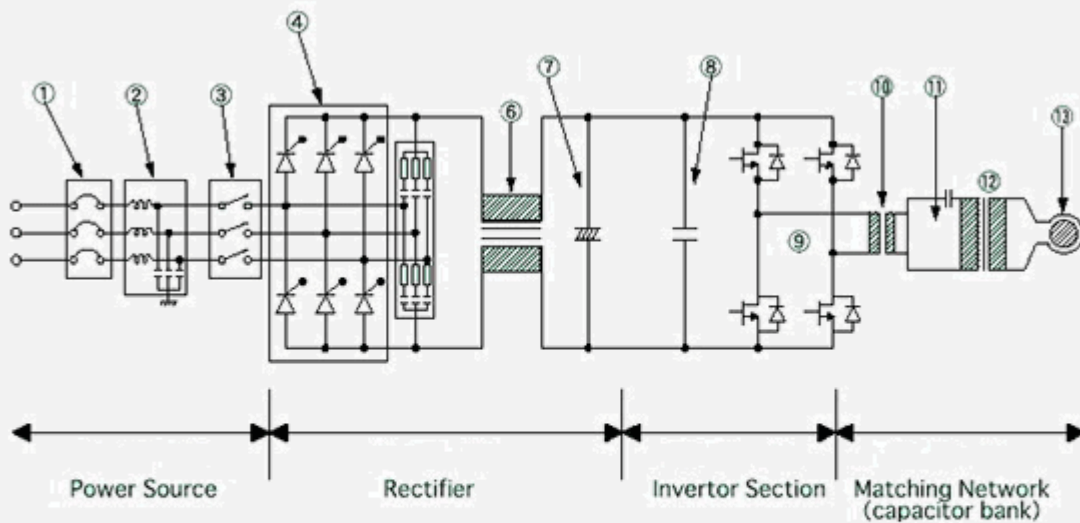
به طور کلی در کوره های القایی ۲ نوع روش مختلف جهت طراحی مدار تولید قدرت استفاده می گردد.

۱- روش سری.

۲- روش موازی.

در شکل های ۵ و ۶ دیاگرام کلی مدارهای سری و موازی با طرح های اینورتر ترنستور پایه و IGBT پایه نشان داده شده است.





Power Source: 1.Short circuit breaker 2.AC filter 3.Electromagnetic contactor Rectifier

Rectifier: 4.Thyristor rectifier 5.Snubber circuit 6.DC reactor 7.Electrolytic capacitor

Oscillator: 8.High-frequency capacitor 9.Inverter bridge

Matching network: 10.Matching transformer 11.Resonance capacitor

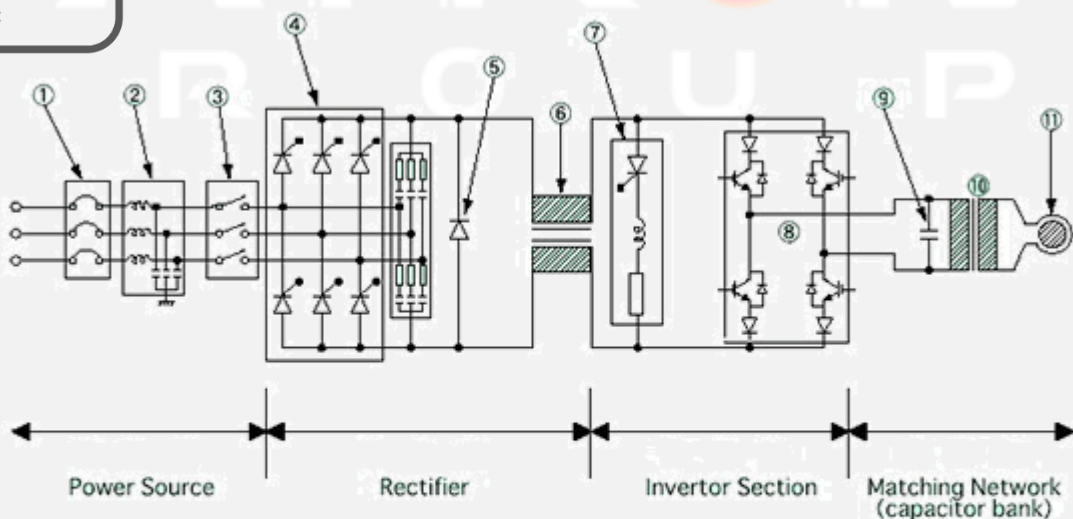
12.Transformer 13.Heating coil

شکل ۷: قطعات تشکیل دهنده مدار تولید قدرت سری با اینورتر IGBT

PATRON
GROUP
YOUR PARTNER

واحد تحقیق و توسعه

R & D Department



Power Source: 1. Short circuit breaker 2. AC filter 3. Electromagnetic contactor

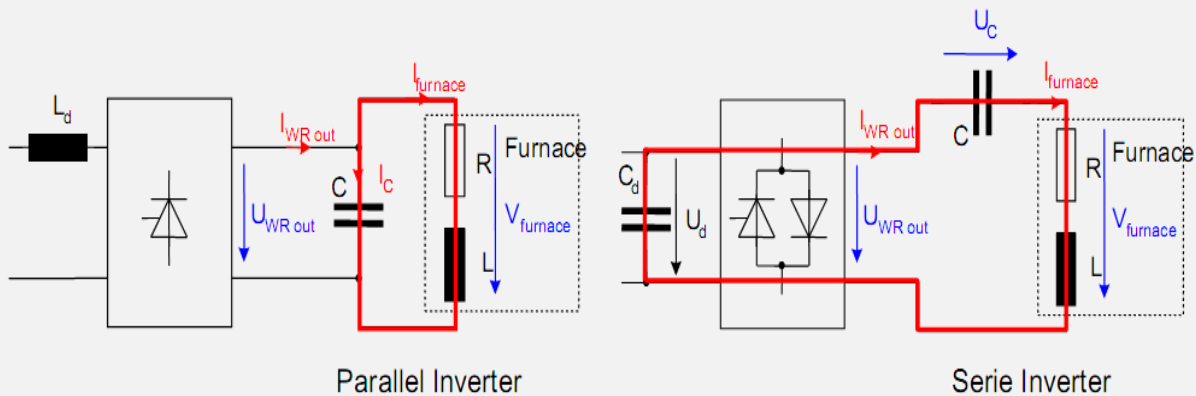
Rectifier: 4. Thyristor rectifier 5. Diode 6. DC reactor

Oscillator: 7. Crowbar circuit 8. Inverter bridge

Matching network: 9. Resonance capacitor 10. Transformer 11. Heating coil

شکل ۸: قطعات تشکیل دهنده مدار تولید قدرت موازی اینورتر IGBT

به طور کلی تفاوت عمده در مدار سری و موازی در قسمت اینورتر می باشد. در شکل زیر نمایی شماتیک از تفاوت این دو اینورتر نشان داده است. می توان اثبات نمود که ولتاژ و توان خروجی در اینورترهای موازی بیشتر از اینورترهای سری می باشد و در نتیجه در کاربردهای القایی انتخاب مناسب تری محسوب می شوند.



شکل ۹: نمایی شماتیک از تفاوت اینورترهای سری و موازی

در اکثر کوره های القایی موجود، از طرح مدار موازی ترستور پایه با توجه به مزیت های نسبی آن در مقایسه با مدار سری ترستور پایه استفاده می گردد که این طرح نیز به ذات دارای معایبی است. همان طور که در شکل نیز مشخص است در طرح موازی ترستور پایه، کنترل مدار روی رکتیفایر است و لذا با کم و زیاد کردن پتانس کوره زاویه **Firing** ترستورهای رکتیفایر تغییر می کند و بهترین توان در پتانس بیشینه رخ می دهد و در نتیجه در زمانی که کوره در حال زینتر است که امکان استفاده از ولوم بیشیه وجود ندارد ضریب توان حتی تا عدد 0.25 کاهش می یابد و این یعنی کاهش بازده انرژی.

در جدول ۲ مقایسه انواع مختلف مدارهای تولید قدرت رایج در کوره های القایی به طور اجمالی صورت گرفته است. همان طور که ملاحظه می گردد هر دو طرح سری و موازی ترستور پایه دارای محاسن و معایبی هستند که در طرح IGBT پایه که تکنولوژی جدیدتری محسوب می شود، علاوه بر حفظ محاسن طرح های قبلی معایب هر کدام را نیز از بین برده است. طرح IGBT پایه در بخش رکتیفایر با بیشترین زاویه **Firing** ترستورهای رکتیفایر را انجام می دهد و لذا کنترل توان با کم و زیاد کردن توان IGBT صورت گرفته و در نتیجه در هر شرایطی ضریب توان ثابت و بیشترین مقدار خود را خواهد داشت.

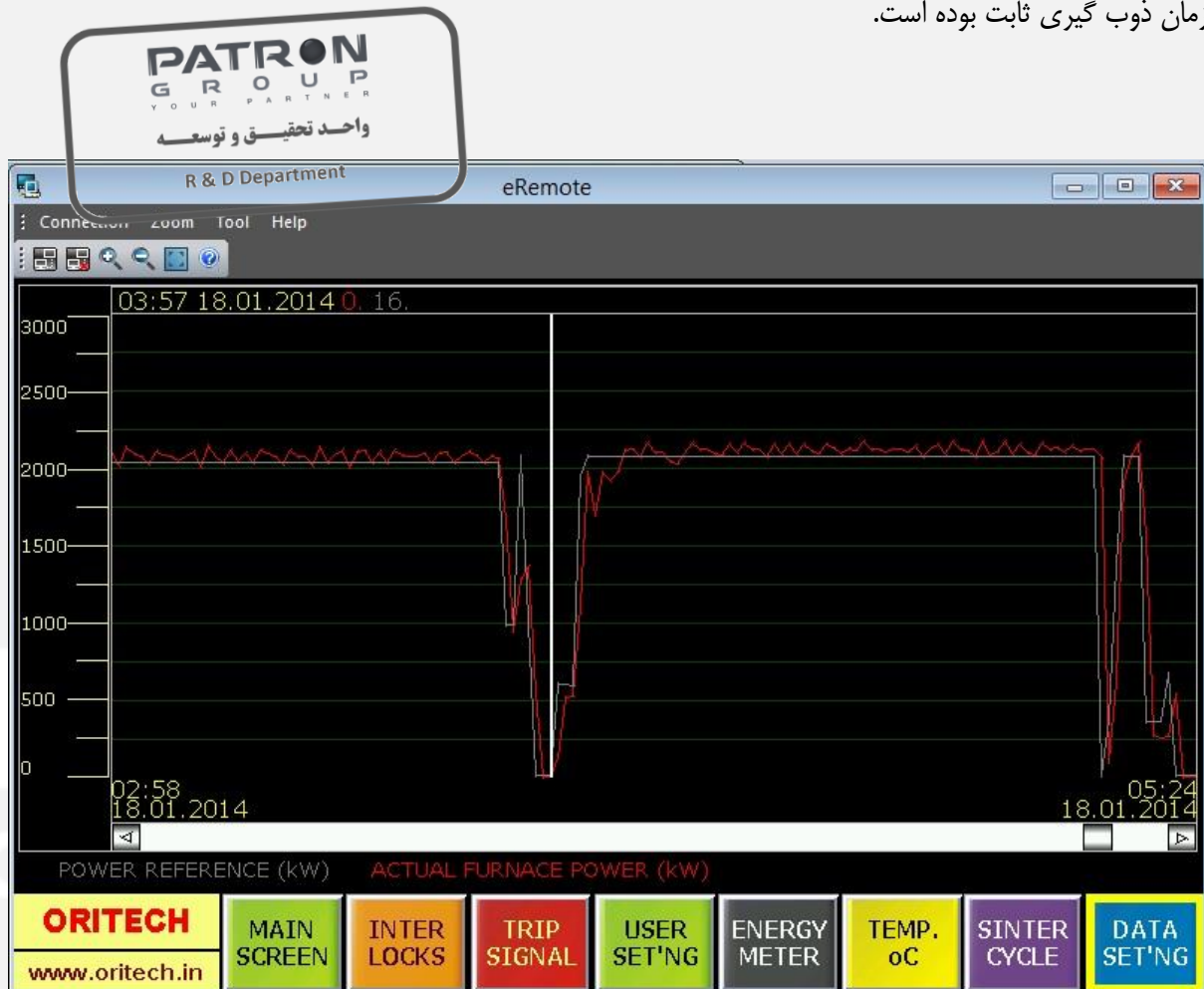


جدول ۲: مقایسه انواع مختلف مدارهای تواید قدرت

| مدار موازی (تریستور پایه) | مدار سری (تریستور پایه) | مدار موازی (IGBT پایه) | |
|--|---|---|---|
| اینورتر با تغذیه ولتاژ | اینورتر با تغذیه ولتاژ | اینورتر با تغذیه جریان | ۱ |
| کنترل توان توسط تغییر فرکانس | کنترل توان توسط تغییر فرکانس | کنترل توان توسط تغییر ولتاژ dc | ۲ |
| ضریب توان ثابت در کلیه زمان ها | ضریب توان ثابت در کلیه زمان ها | ضریب توان متغیر | ۳ |
| حفظ توان ثابت در حین اعمال ولتاژ نوسانی | حفظ توان ثابت در حین اعمال ولتاژ نوسانی | تغییر توان بر اساس نوسان ولتاژ خط | ۴ |
| عبور جریان از تجهیزات تولید قدرت فقط به صورت Active از تجهیزات تولید قدرت | عبور جریان Reactive به همراه جریان Active از تجهیزات تولید قدرت | عبور جریان از تجهیزات تولید قدرت فقط به صورت Active از تجهیزات تولید قدرت | ۵ |
| عدم متاثر شدن توان از عوامل منفی در جریان و ولتاژ | متاثر شدن توان از عوامل منفی در جریان و ولتاژ | متاثر شدن توان از عوامل منفی در ولتاژ | ۶ |
| وجود مدار ضد اتصال کوتاه. قطع توان در کمتر از $10 \mu s$ در صورت بروز fault و جلوگیری از خرابی تجهیزات | وجود اتصال کوتاه در مدار منجر به خرابی در تجهیزات می گردد. قطع توان در $200 \mu s$ در صورت بروز fault | وجود مدار ضد اتصال کوتاه. قطع توان در $3300 \mu s$ در صورت بروز fault | ۷ |
| انعطاف پذیری بالا جهت استفاده در کاربرد های مختلف | انعطاف پذیری بالا جهت استفاده در کاربرد های مختلف | انعطاف پذیری کم جهت استفاده در کاربرد های مختلف | ۸ |



در شکل ۱۰ نمودار توان-زمان یک کوره القایی ۴ تن نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می گردد توان کوره در طول زمان ذوب گیری ثابت بوده است.



شکل ۱۰: نمودار توان بر حسب زمان یک کوره القایی ۴ تن با مدار IGBT پایه در قسمت اینورتر

خواهشمند است جهت کسب اطلاعات بیشتر با گروه پاترون تماس حاصل فرمایید:

تلفن: ۸۸۲۱۰۸۹۰ (۰۲۱)

ایمیل: info@patron.group

وبسایت: www.patron.group