

وظیفه تولید ولتاژ بالای لازم برای ایجاد اشعه ایکس را در تیوب ژنراتورهای ولتاژ بالا بر عهده دارند. تغذیه این ژنراتورها از برق 220 v شهر به گونه تکفاز و یا سه فاز می باشد که خروجی ای تا حد 150 kv در مدت زمان کوتاهی تولید می کند. این بخش از سیستم رادیولوژی از یک جعبه فلزی متصل به زمین و پر از روغن و ترانسفورماتور ولتاژ پائین برای تغذیه فیلمان ها، همچنین یک ترانسفورماتور ولتاژ بالا و مجموعه ای از دیودهای یکسوکننده ولتاژ بالا و تعدادی کنتاکتور تشکیل شده است. وجود روغن درون جعبه ژنراتور به دلیل عدم بروز جرقه الکتریکی ناشی از ولتاژ بسیار بالا می باشد.

• ژنراتورهای اشعه ایکس: (X – ray Generator)

انرژی فوتون های اشعه ایکس تولید شده تابع ۱- انرژی جنبشی الکترون ها، ۲- اختلاف پتانسیل دو سر تیوپ است. ابتدا ولتاژی حدود 40 – 150 kv به دو قطب تیوپ اشعه ایکس اعمال می شود. الکترون هایی که توسط فیلمان تولید شده اند در این اختلاف پتانسیل به سمت قطب آند شتاب می گیرند و پس از برخورد به هدف به فوتون های X – ray تبدیل می شوند. اختلاف پتانسیل در سر تیوپ، موجب افزایش انرژی جنبشی الکترون ها و تولید فوتون های پر انرژی تر می گردد. هر چه ضخامت عضو بیشتر باشد، فوتون های پر انرژی تری لازم است. برای به راه اندازی تیوپ و در تولید اشعه ایکس، از ژنراتور استفاده می شود.

-وظایف ژنراتور:

1- تأمین اختلاف پتانسیل دو سر تیوپ اشعه ایکس.

2- ملتهب کردن فیلمان برای تولید الکترون.

3- کنترل اختلاف پتانسیل دو سر تیوپ.

ولتاژ مورد استفاده در ژنراتورهای اشعه ایکس از نوع ولتاژ متناوب است.

دو نوع ولتاژ متناوب داریم: ۱- تکفاز و ۲- سه فاز.

- نحوه تولید برق تکفاز:

مبنای کار، قانون القای الکترومغناطیسی است. در نتیجه گردش یک سیم پیچ درون میدان مغناطیسی ثابت با القای ولتاژ در سیم پیچ لازم است.

- نحوه تولید برق سه فاز:

در مولدهای سه فاز، سه سیم پیچ به طور همزمان درون میدان مغناطیسی می چرخند. هر سیم پیچ با اختلاف زاویه 120° نسبت به بقیه قرار گرفته است. به علت متفاوت بودن موقعیت سیم پیچ ها، مقدار ولتاژ تولیدی در هر سیم پیچ در یک زمان مشخص متفاوت است.

• ترانسفورماتورها :

وسیله افزایش یا کاهش ولتاژ نسبت به مقدار مبنا

هستند و بر دو نوعند:

- ترانسفورماتور افزایشده (step up)

Transformer).

- ترانسفورماتور کاهشده (step down)

Transformer).

-اجزای ترانسفورماتور:

1- هسته فلزی.

2- دو سری سیم پیچ که بر روی هسته فلزی پیچیده می شوند.

سیم پیچ متصل به ولتاژ ورودی سیم پیچ اولیه و سیم پیچی که ولتاژ تغییر یافته از آن خارج شده سیم پیچ ثانویه نام دارد. سیم پیچ ها نسبت به هم عایق بندی شده است. تشکیل میدان مغناطیسی موجب القای مجدد جریان در سیم پیچ های ثانویه و هسته فلزی می شود. برای آنکه در سیم پیچ ثانویه جریانی القا شود، بایستی ولتاژ ورودی متناوب (AC) باشد. ولتاژ متناوب، میدان مغناطیسی متناوبی را در هسته ایجاد کرده و شار در واحد زمان تغییر می کند. بر مبنای قانون القای فارادی، تغییر در شار مغناطیسی موجب القاء جریان جدید در سیم پیچ ثانویه می گردد.

-انواع ترانسفورماتورها (بر حسب شکل هسته و نحوه پیچیده شدن سیم پیچها)

1- ترانسفورماتور با هسته close – core این هسته ها به صورت یک مربع بسته ساخته شده اند که هر سیم پیچ جداگانه بر روی یک طرف هسته پیچیده می شود.

2- اتوترانسفورماتور: هسته آنها به صورت میله ای بوده و معمولاً یک سیم پیچ بر روی آنها پیچیده می شود. از این ترانسفورماتورها در مدار اشعه ایکس استفاده می شود.

3- ترانسفورماتور با هسته shell – type هسته این ترانسفورماتور به صورت دو حلقه چسبیده به هم می باشد و سیم پیچ های اولیه و ثانویه بر روی هم روی ستون وسط پیچیده می شوند. از این نوع نیز در مدارهای اشعه ایکس استفاده می شود.

-مدار ژنراتور اشعه ایکس از دو قسمت تشکیل شده است:

1- مدار ژنراتور اشعه ایکس.

2- تیوپ اشعه ایکس.

-مدار ژنراتور اشعه ایکس بر حسب مقدار ولتاژ عبوری دارای دو قسمت است:

1- مدار اولیه (Control console) ولتاژ عبوری از مدار اولیه در محدوده ولتاژهای معمولی یا فشار ضعیف است. پانل کنترل به عنوان قسمتی از مدار اولیه است.

2- مدار ثانویه (فشار قوی): (High – Voltage) ولتاژ در محدوده ولتاژهای فشار قوی می باشد. مدار ساده ژنراتور اشعه ایکس:

0 مدار اولیه: فشار ضعیف است و دارای ولتاژ حدود 240V تا 15E می باشد.

-اجزای مدار اولیه:

فیوزها، کلید اصلی، قطع کننده های مدار، اتوترانسفورماتور، جبران کننده ولتاژ اصلی، کنترل kv، کلید کنتاکتور اولیه، اندازه گیر kv، سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور فشارقوی، مدار زمان سنج، مدار گرم کننده فیلامنت، مدارات جبران کننده.

0 مدار ثانویه: فشار قوی است و ولتاژ بیشتر از 75 kvp دارد.

-اجزای مدار ثانویه:

سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور فشار قوی، یکسوکننده های فشارقوی، تیوپ اشعه ایکس، سیم پیچ ثانویه، ترانسفورماتور گرم کننده فیلامنت.

•اتو ترانسفورماتور:

از سیم ضخیمی که به صورت یک سیم پیچ به دور هسته آهنی پیچیده شده تشکیل شده است. تغییرات جریان متناوب در سیم پیچ ۱۰۰ بار در ثانیه است و میدان مغناطیسی نیز به صورت انبساط و تراکم ۱۰۰ بار در ثانیه تغییر می کند. در نتیجه ولتاژی به حلقه سیم پیچ و هسته آهنی القا می شود. با لایه لایه کردن هسته می توان از ایجاد جریان های گردابی جلوگیری کرد. با تراکم میدان، ولتاژی به هر حلقه سیم پیچ و در جهت عکس القا می شود.

=ولتاژ اعمالی (ورودی)/ولتاژ به دست آمده (خروجی)

تعداد حلقه ها که در ولتاژ اعمالی وجود دارند/تعداد حلقه هایی که ولتاژ خروجی از آنها گرفته ایم

•جبران کننده ولتاژ:

با ثابت نگه داشتن ولتاژ القایی به هر حلقه سیم پیچ اتوترانسفورماتور اثر تغییرات ولتاژ ورودی را جبران می کند. این عمل با تغییر تعداد حلقه هایی که به آنها ولتاژ اصلی القا شده، صورت می پذیرد. در جبران سازی اتوماتیک تغییرات ولتاژ باعث گردش چرخ دنده ای توسط یک میله محوری می شود تا حلقه های بیشتر یا کمتری از سیم پیچ به منبع برق وصل شود.

•کنترل kv:

با اعمال ولتاژ مناسب به سیم پیچ اولیه، از سیم پیچ ثانویه ترانسفورماتور فشار قوی، می توان هر kv دلخواهی را به دست آورد. این کار برای انتخاب ولتاژ مناسب حرکت کنترل چرخان که تعداد مناسبی از حلقه های اتوترانسفورماتور را در سیم پیچ اولیه انتخاب می کند، لازم است. مقدار kv مورد نظر بوسیله عقربه روی صفحه مدرج (scale) یا صفحه دیجیتالی نشان داده می شود.

•ترانسفورماتور فشار قوی:

از یک سیم پیچ اولیه و یک سیم پیچ ثانویه تشکیل شده است و وظیفه آن تأمین ولتاژهای بالا (تا 150 kvp) برای تولید اشعه ایکس در تیوپ است. در اینجا میدان مغناطیسی از برقراری جریان در سیم پیچ اولیه به وجود آمده و توسط هسته فلزی متمرکز می شود.

تنظیم ترانسفورماتور:

افت ولتاژی در ترانسفورماتور به وجود می آید که ناشی از تولید گرما در سیم پیچ ها و کاهش ولتاژ خروجی از سیم پیچ ثانویه یا ولتاژ دو سر تیوپ اشعه ایکس می باشد. اگر سیم پیچ ثانویه مدار باز و یا بی بار باشد افت ولتاژ نداریم. اما در حالت بار کامل افت ولتاژ حداکثر خواهد بود. تفاوت ولتاژ پیک ثانویه در شرایط بی باری و بار کامل تنظیم ذاتی ولتاژ نامیده می شود. وقتی جریان ولتاژ افزایش یابد ولتاژ اعمال شده به دو سر تیوپ اشعه ایکس کاهش یابد.

•ظرفیت ترانسفورماتور:

در واقع ظرفیت حداکثر، کیلوولت-آمپری (KVA) است که به طور ایمن از سیم پیچ ثانویه می توان گرفت. مثلاً در فلوروسکوپ از جریان کم با ولتاژ بالا استفاده می شود، ولی در پرتونگاری تشخیصی در مدت بسیار

کوتاه از جریان زیاد با ولتاژ بالا استفاده می شود.

-مواردی که ظرفیت ترانسفورماتور فشار قوی در دستگاه های رادیوگرافی تشخیصی دربر می گیرد :

1. حداکثر ولتاژی (kvp) که ترانسفورماتور می تواند با ایمنی کامل در شرایط بی بار تحویل دهد.
2. حداکثر جریانی که بیش از یک ثانیه در زمان سرد بودن می تواند عبور دهد که به نام بار لحظه ای یا منقطع نامیده می شود و در اکسپوژرهای تشخیصی به کار می رود.
3. حداکثر جریان ایمنی که بی وقفه می تواند جریان یابد و به نام بار پیوسته موسوم است که در فلوروسکوپی یا رادیوترابی استفاده می شود.
4. تنظیم ذاتی ولتاژ وقتی حداکثر جریان با بار (loading) ناپیوسته برقرار می شود . این حد نباید از ۱۵٪ حداکثر kvp در شرایط بی بار بیشتر باشد.
5. تنظیم ذاتی ولتاژ در حداکثر بار پیوسته که مقدار آن نباید از ۵٪ حداکثر kvp در شرایط بی بار بیشتر باشد.
6. درصد مجاز بار اضافی (over load).
7. اطلاعات تکنیکی بیشتر در خصوص علایق بندی، حداکثر افزایش مجاز درجه حرارت در شرایط معین و غیره.

۵ جبران افت ولتاژ در کابل تغذیه کننده:

بدیهی است تمام انرژی که در مدار ثانویه استفاده می شود، بایستی توسط مدار اولیه تأمین شود. در مدار ایده آل که افت انرژی وجود ندارد، توان ثانویه درست برابر توان اولیه است نه بیش از آن. زمانی که توان ثانویه با افزودن kV یا mA افزایش می یابد، می بایست جریان مدار اولیه نیز افزایش یابد. این کار موجب افزایش افت توان (به صورت گرما) در کابل های تغذیه کننده می شود. مقاومت کابل تأمین کننده نباید از مقدار مشخصی بیشتر باشد. افت ولتاژ در کابل برابر حاصل ضرب شدت جریان در مقاومت $(I) \times (R)$ می باشد. زمانی که لازم است توان ثانویه افزایش یابد، بایستی مقدار جریان اولیه نیز افزایش یابد. مقدار مقاومت Z و نسبت سیم پیچ های x و y عواملی هستند که به طور اتوماتیک اتلاف توان در کابل ها را جبران کرده و توان صحیح در اولیه و در نتیجه ثانویه ثابت نگه داشته می شوند.

• مدارات فشار قوی تشخیصی:

-مدار خود یکسوکننده (یک پالسی):

یکی از اجزای مدار ثانویه است. چنین مداری اغلب با تیوب اشعه ایکس با آند ثابت استفاده می شود که این تیوپ به عنوان یکسوکننده نیز عمل می کند.

-تیوپ اشعه ایکس با آند ساکن:

در بعضی دستگاه های متحرک، اغلب دستگاه های دندان و دستگاه های پرتابل استفاده می شود. این تیوپ از

حباب شیشه ای که محتوی کاند و آند است و محفظه ای فلزی مملو از روغن که تیوپ در آن است تشکیل شده.

تیوپ شیشه ای ❁:

حباب خلاء شیشه ای است که از شیشه مخصوص و محکم ساخته شده است و شامل: ۱- فیلامنت سیمی (از جنس تنگستن)، ۲- متمرکز کننده از جنس مولیبدنیوم یا فولاد، ۳- آند مسی که روی آن هدفی از جنس تنگستن است، می باشد.

محفظه تیوپ ❁:

از جنس فولاد بوده که مملو از روغن است و حباب شیشه ای را دربرمی گیرد. این محفظه محلی برای اتصال کابل های فشار قوی داشته و دارای پایه ای است که تیوپ را نگه می دارد. تمام پرتوهایی که از هدف منتشر می شوند به جز پرتوی که از طریق پنجره رادیولوسنت خارج می شود، توسط لایه سربی که به صورت آستری محفظه تیوپ را پوشانیده، به شدت جذب می شوند. روغن داخل محفظه گرم و منبسط می شود. داخل محفظه وسیله ای بادکنکی است که فضای اضافی بوجود می آورد تا در زمان انبساط فضای لازم را ایجاد کند. وظیفه روغن ایجاد عایق الکتریکی و نیز انتقال گرما از آند به محفظه است. برای انتقال جریان از ترانسفورماتور فشار قوی به تیوپ اشعه ایکس از کابل های فشار قوی استفاده می شود. در این دستگاه تیوپ اشعه ایکس ضمن تولید اشعه ایکس به عنوان یکسو کننده نیز عمل می کند. مزیت این دستگاه نسبت به دستگاه های مجهز به یکسو کننده تمام موج عبارت است از سادگی، کوچکی، قابلیت مانور، ارزان بودن و... و عیب آن محدودیت در درجه حرارت است.

گرمای ایجاد شده در هدف تیوپ اشعه ایکس بر حسب واحد گرمایی (H.V) به این صورت محاسبه می شود:

(زمان بر حسب ثانیه) $T \times$ (میانگین $\text{mA} \times \text{KVp}$) (واحد گرمایی در ثانیه)

در استفاده از دستگاه خود یکسو کننده، زمان اکسپوزر طولانی تر و مقدار mA کمتر خواهد بود. عیب دیگر این دستگاه پائین بودن کار آیی تیوپ و ضرورت افزایش عایق بندی است که این مشکلات توسط کاهنده ولتاژ معکوس کاهش می یابد.

-کاهنده ولتاژ معکوس :

بوسیله کاهنده ولتاژ معکوس، ولتاژ معکوس ثانویه را تقریباً به اندازه ولتاژ مثبت می توان کاهش داد. اجزای این وسیله عبارتند از لامپ دیود گازی (یا دیود خشک) و یک مقاومت درست شده که به طور سری به مدار اولیه وصل می شود.

-یکسو کننده تمام موج (دو پالس):

با استفاده مناسب از یکسو کننده ها در مدار ثانویه، جریان طی نیم سیکل در همان جهت نیم سیکل مثبت، از تیوپ اشعه ایکس می گذرد. بدین خاطر می توان گفت همیشه هدف تیوپ اشعه ایکس مثبت و فیلامنت همیشه منفی خواهد بود. در هر لحظه فقط دو یکسو کننده در مدار قرار می گیرند و در هر نیم سیکل جریان نقطه دریک جهت از تیوپ اشعه ایکس عبور می کند.

-مدار پتانسیل ثابت تک فاز جهت switching ثانویه :

اجزای این مدار علاوه بر مدار قرارداری چهار لامپی (valve)، شامل دو خازن و دو لامپ خلاء ترپود فشار قوی می باشد. لامپ ترپود همان طوری که از نامش پیداست حباب شیشه ای خلاء است که شامل سه الکتروود یعنی

یک آند، یک کاند و یک شبکه (grid) می باشد.

♣ آماده سازی اکسپوژر :

با فشار دکمه آماده سازی اکسپوژر فیلامنت های تیوپ اشعه ایکس و لامپ ها (valve) گرم شوند. آند شروع به چرخش می کند و کنتاکتور مدار اولیه برای برقراری انرژی به ترانسفورماتور فشار قوی بسته می شود.

تولید اکسپوژر ♣:

با فشار کامل دکمه، اکسپوژر آغاز می شود. ولتاژ مثبت به گرید لامپ های تریود اعمال شده و بار منفی گرید خنثی میگردد. سپس جریان از لامپ ها و تیوپ اشعه ایکس عبور می کند. اعمال ولتاژ مثبت پس از زمان مشخص شده با تایمر متوقف گشته و با دادن ولتاژ منفی به گریدها، عبور جریان متوقف می شود.

♣ طرز کار مدار ثانویه :

در لحظه شروع اکسپوژر مقدار ولتاژ یکسوشده ترانسفورماتور صفر است. زیرا خازنها هنوز تخلیه نشده اند. در نتیجه تخلیه آنها توسط لامپهای تریود و تیوپ شروع می شود و ضمن تخلیه، ولتاژ آنها کاسته شده و کم کم با ولتاژ یکسوشده ترانسفورماتور فشار قوی برابر می گردد. ولتاژ ترانسفورماتور فشار قوی تا مقدار پیک افزایش یافته سپس خازنها مجدداً شارژ می شوند. ولتاژ خروجی ترانسفورماتور که شروع به کاهش می کند خازنها تخلیه شان شروع می شود و باز ولتاژها برابر می شوند سپس ولتاژ ترانسفورماتور خود به حداکثر رسیده و خازنها تخلیه می شوند و سپس با اعمال مجدد بار منفی به گرید لامپها، اکسپوژر خاتمه می یابد. در پایان ولتاژ خروجی ترانسفورماتور صفر است و خازنها تا حدی تخلیه شده اند.

کنترل (kv با استفاده از تریودهای فشار قوی) ♣:

اختلاف پتانسیل (kv) دو سر تیوپ اشعه ایکس را با تغییر ولتاژ اعمالی به گرید لامپهای تریودی می توان تنظیم کرد. لامپ تریودی را که دارای امپدانس است در نظر می گیریم که مقدارش با بار گرید تغییر می کند. در عمل از اتوترانسفورماتوری استفاده می شود که بتواند کیلوولتاژی بیشتر از حد لازم تولید کند. پس برای کاهش ولتاژ از لامپ تریودی استفاده می شود.

-مدار سه فاز شش پالس (با شش یکسوکننده) :

ژنراتورهای تک فاز به سیم فاز خنثی کننده یا دو سیم فاز برق شهر وصل می شوند ولی ژنراتور سه فاز به سه سیم فاز وصل می شود.

مدار اولیه شامل سه اتوترانسفورماتور، سه سر متصل کننده (کنتاکتور) اولیه، سه سیم پیچ اولیه ترانسفورماتور فشار قوی و... می باشد. طرز کار مدار به صورت زیر است:

جریان فقط در یک جهت از تیوپ اشعه ایکس عبور می کند. جریان از یک یکسوکننده عبور کرده و از یک یکسوکننده دیگر باز می گردد و همیشه جهت جریان در تیوپ از فیلامنت به آند است. نحوه کار مشابه مدار پتانسیل چهار لامپی است، اما منبع برق قوی تری دارد. از تیوپ اشعه ایکس مجهز به کنترل گرید هم به عنوان مولد اشعه ایکس و هم به عنوان سوئیچ ثانویه مدار استفاده می شود که این نوع تیوپ تکرار اکسپوژرهای سریع را که برای سینه فلورگرافی ضروری است تأمین می کند.

• مزایای مدار سه فاز نسبت به مدار تک فاز در زمان اکسپوژر معین:

1- اشعه ایکس بیشتر

2- اشعه ایکس با متوسط طول موج کوتاه تر

• مزایای رادیوگرافیک ژنراتورهای اشعه ایکس سه فاز نسبت به تک فاز:

1- تولید پرتو نرم کمتر و کاهش دوز پوست بیمار.

2- تولید اشعه ایکس بیشتر در mA و kVp مشابه.

3- کاهش زمان اکسپوژر.

4- به دست آمدن ظرفیت تیوب (tube rating) در زمان اکسپوژر کوتاه.

5- افزایش عمر تیوب اشعه ایکس به دلیل تحمل حرارتی آن.

-مدار ۱۲ پالس (با ۱۲ یکسوکننده):

با وجود آنکه ولتاژ موجی شکل حاصل از مدار سه فاز در مقایسه با تک فاز نوسان کمتری دارد، در مدار ۱۲ پالس نوسان کمتر است و ولتاژ همواره مقدار ثابتی دارد.

-مدار گرم کننده فیلامنت تیوب اشعه ایکس:

ولتاژ این مدار با انتخاب تعداد مناسب حلقه های انوترانسفورماتور به دست می آید. نوسان های طولانی مدت توسط جبران کننده، جبران می شود. ولی برای جبران نوسان های لحظه ای از ثابت کننده های استاتیک یا ثابت کننده الکترونیک استفاده می شود.

ثابت کننده استاتیک ❁:

فاقد قسمت متحرک است. از یک ترانسفورماتور و یک خازن تشکیل شده که اتصال آنها به گونه ای است که اثرات القایی و خازنی در یک فرکانس معین، ولتاژ خروجی ثابتی خواهد بود.

❁ ثابت کننده الکترونیکی:

از ترانسداکتور استفاده می شود. (ترانسداکتور، القاکننده ای است که امپدانس آن توسط سیم پیچ جداگانه d.c تغییر پیدا می کند)

-جبران کننده بار الکتریکی فضایی: اثرات بار الکتریکی فضایی را جبران می کند.

*بار الکتریکی فضایی: تجمع الکترون ها در اطراف فیلامنت و مقدار آن زمانی که به دو سرتیوب کیلوولتی اعمال نشود حداکثر است. در صورتی که ولتاژ آن بسیار کمتر از آن باشد که جریان اشباع تولید کند، الکترون ها در اطراف فیلامنت باقی می ماند.

برای بازگرداندن جریان به مقدار اولیه اش (که توسط بار فضایی کاهش یافته) می توان جریان گرمایی فیلامنت را افزایش داد. تغییر جریان فیلامنت بوسیله جبران کننده بار فضایی بوجود می آید.

-کنترل میلی آمپر:

از تعدادی مقاومت تشکیل شده که به دلخواه می توان به هر کدام ولتاژ فیلامنت تیوب را اعمال و mA مورد نظر را تولید کرد. مقاومت متغیر یا تریمر (Trimmer resistance) مقاومت متغیری است که برای تغییر مقادیر mA به کار می رود. هرگاه تمام مقادیر میلی آمپر از مقدار مورد نظر کمتر باشد، می توان مقاومت تریمر را کاهش داد تا مقادیر mA به مقدار اولیه شان بازگردد.

-ترانسفورماتور کاهنده فیلامنت:

شامل دو سیم پیچ اولیه و دو ثانویه می باشد یکی برای فوکوس بزرگ و یکی برای فوکوس کوچک می باشد. ولتاژ تغذیه کننده فیلامنت را می توان به هر دو سیم پیچ اولیه اعمال کرد. تنظیم سوئیچینگ مدار به نحوی است که در یک زمان فقط می توان به یک سیم پیچ اولیه انرژی داد.

-سوئیچینگ اکسپوژر (مدار اولیه):

با فشار دکمه اکسپوژر، مدار تایمر فعال می شود که سیم پیچ آهنربایی را فعال کرده و موجب بسته شدن کلید مدار اولیه می شود.

جریانی که در این حال از مدارات اولیه و ثانویه می گذرد در هدف تیوپ، اشعه ایکس تولید می کند. در انتهای مدت زمانی که توسط مدار تایمر تعیین می گردد انرژی سولنویید آهن ربا قطع شده و کلید مدار اولیه باز می شود و اکسپوژر خاتمه می یابد. سوئیچ مدار اولیه ممکن است مکانیکی (الکترومغناطیسی) و یا الکترونیکی باشد.

سوئیچ کنتاکتور مکانیکی (الکترومغناطیسی) *

1- اجزای ثابت شامل:

الف- سولنویید که سیم پیچی آن با مدار تایمر به صورت موازی است.

ب- هسته که هنگام عبور جریان از سولنویید مغناطیسی می شود.

ج- تعدادی اتصالات مسی.

2- اجزای متحرک شامل:

الف- اتصالات مسی.

ب- قطعه مغزی بزرگ که در هنگام عبور جریان از سولنویید به سمت هسته آن کشیده می شود.

• ترانسفورماتورهای سه فاز:

برای اینکه بتوانیم ولتاژ تقریباً 1 c در تیوب اشعه ایکس تولید کنیم از ژنراتورهای ولتاژ بالای سه فاز استفاده می کنیم که سه سیم پیچ

در طرف اولیه و سه سیم پیچ در طرف ثانویه خود به صورت ستاره یا مثلث دارند، که با توجه به نحوه سیم بندی به سه نوع زیر

تقسیم بندی می شود:

الف) شش پالس، شش یکسو کننده.

ب) شش پالس، دوازده یکسو کننده.

ج) دوازده پالس.