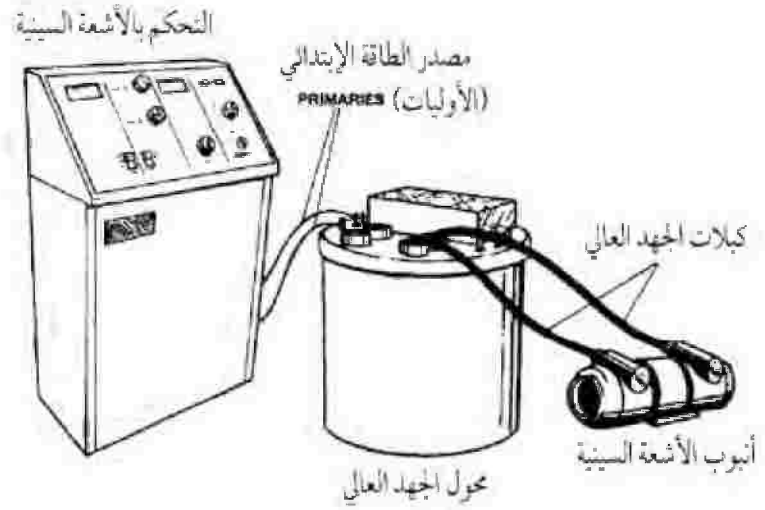
الفصل الثالث

نظام الأشعة السينية
THE X-RAY SYSTEM

يتكون نظام الأشعة السينية النموذجي من: **وحدة التحكم بالأشعة السينية**، **ووحدة محول الجهد العالي**، **وأنبوب الأشعة السينية** (الشكل رقم ٣). غالباً ما تُعتبر وحدة محول الجهد العالي ووحدة التحكم بالأشعة السينية كوحدة واحدة من قبل كثير من مهندسي الخدمة، ويُشار إليهما معاً باسم **مولد الأشعة السينية**. توصّل **كابلات جهد عالٍ** خاصة أنبوب الأشعة السينية مع وحدة محول الجهد العالي. تجمع بعض مولدات الأشعة السينية، ولو نادراً، ما بين محول الجهد العالي وأنبوب الأشعة السينية معاً في مجموعة رأس الأنبوب. لا يكون هناك في هذه الحالة حاجة لكابلات الجهد العالي.



الشكل رقم (٣). نظام أشعة سينية نموذجي.

التحكم بالأشعة السينية
The X-Ray Control

تتحكم ثلاثة عوامل في نوعية وكمية الأشعة السينية التي يتم إنتاجها، هذه العوامل هي: الكيلو فولت (kVp)، والميلي أمبير (mA)، والزمن. يتم التحكم بهذه العوامل الثلاثة في وحدة التحكم بالأشعة السينية أو مولد الأشعة السينية. يشير الـ KVp إلى مقدار الجهد العالي أو ذروة الكيلوفولت المطبَّق على أنبوب الأشعة السينية. أما الـ mA فهو مقدار التيار أو الميلي أمبيرات الذي يمر بالفعل عبر الأنبوب. أما الزمن فيشير إلى الفترة التي يتم أثناءها تزويد أنبوب الأشعة السينية بالطاقة وانبعاث إشعاع الأشعة السينية (أي زمن التعريض الفعلي). إن لكل من هذه العوامل الثلاثة تأثيراً هاماً على جودة الصورة والتي سيتم مناقشتها بالتفصيل لاحقاً في هذا الكتاب (الفصل الثامن)، أما الآن فستتركز مناقشتنا على الأنواع الشائعة لمولدات الأشعة السينية.

هناك أربعة أنواع أساسية من المولدات: المولدات أحادية الطور، والمولدات ثلاثية الطور، والمولدات ذات الكمون (الجهد) الثابت، والمولدات ذات التردد العالي. يولّد كل نوع من المولدات وينظم (أو يتحكم بـ) الـ kVp بوسائل مختلفة، وبالتالي فإن كل نوع من المولدات ينتج شكل موجة kVp متميز ويمكن التعرف عليه بسهولة وبكل بساطة عن طريق مشاهدة شكل الموجة بشكل اجتياحي (invasively) على راسم الإشارة.

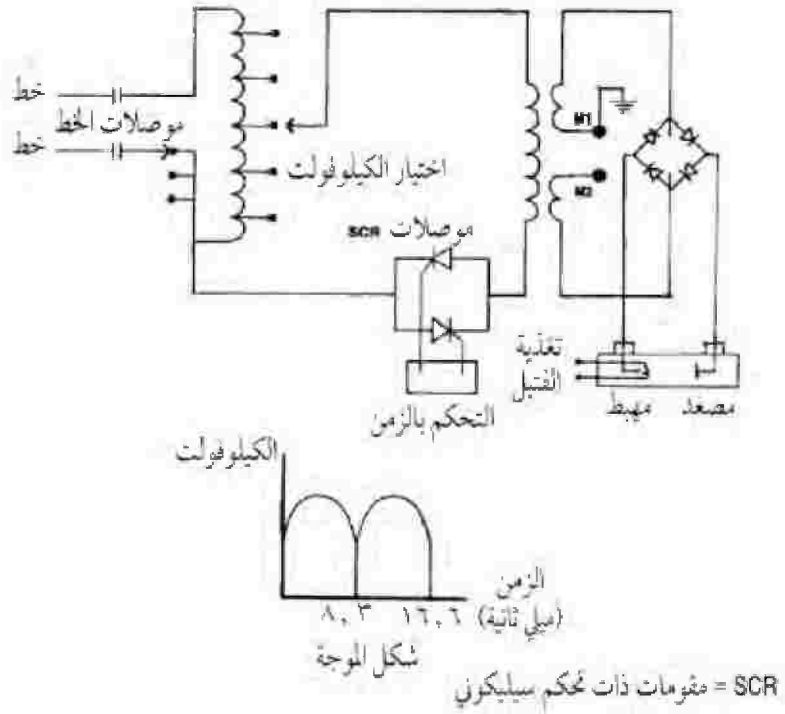
التحكم بالكيلو فولت KVp Control

المولد وحيد الطور

لقد كان **المولد وحيد الطور** ***(single-phase generator)*** هو النوع الأول من مولدات الأشعة السينية الذي تم تصنيعه، وهو الأكثر بساطة في التصميم، وعلى الرغم من أن هذه المولدات لا تزال شائعة الاستخدام اليوم إلا أنها تظل المولدات الأقل كفاءة في إنتاج الإشعاع ويتعرَّض المريض فيها لإشعاع أكثر من أنواع المولدات الأخرى بشكل ملحوظ في كل تعرُّض، إلا أنها، وبسبب كونها تتطلب خط تغذية بالطاقة الكهربائية وحيد الطور، أصغر حجماً وأقل سعراً من جميع المولدات. ويعتبر العديد من الزبائن، وخاصة مرافق العيادات الخارجية، أنَّ هذا النوع من المولدات هو المولد المطلوب. وعلاوة على ذلك، وبسبب بساطة تصميم الدارة الأساسية للمولدات وحيدة الطور، فإن هناك عدداً أقل من المكوّنات المشاركة في إنتاج الإشعاع، وبالتالي فإن خدمة هذه الوحدات ليست معقدة إلى حد ما.

يقوم المحول الآلي في هذا التصميم بإنتاج جهد أولي مقابل للـ kVp الذي تم اختياره ويتم تطبيق هذا الجهد على الملف الأولي لمحول الجهد العالي (الشكل رقم (٤)). يتم رفع الجهد الأولي من خلال محول الجهد العالي إلى الجهد الثانوي المرغوب فيه ومن ثم تقويمه (أي تحويله إلى تيار مستمر (DC)) وتطبيقه على أنبوب الأشعة السينية.

نرى من الرسم البياني أنه يتم التعرف بسهولة على مولد أحادي الطور من شكل موجة التيار المستمر (DC) المميز له ذي نسبة التموج ١٠٠٪ (100 % ripple). وحيث إنه يتم إنتاج الإشعاع المفيد فقط أثناء جزء ذروة الموجة (حوالي ٣٠٪ من كل نبضة)، فمن الواضح أن هذا النوع من المولدات ليس فعالاً جداً في إنتاج الأشعة السينية.

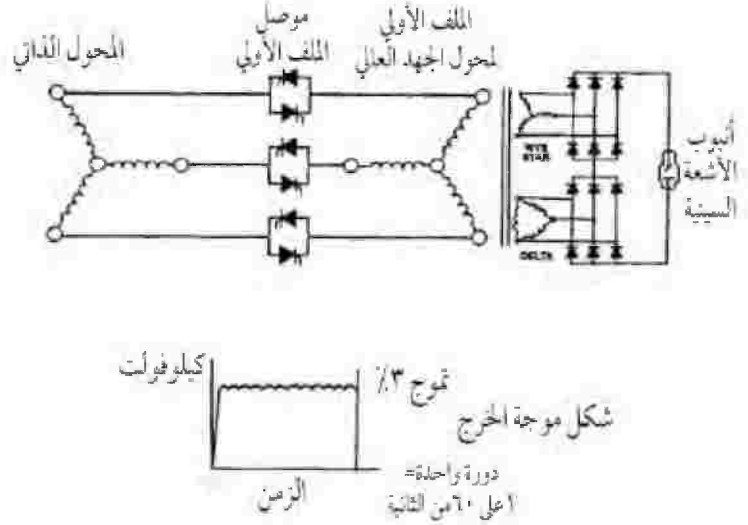


الشكل رقم (٤). المولد أحادي الطور وشكل موجة الخرج. تنتج المولدات أحادية الطور شكل موجة خرج ذات تموج مئة بالمئة.

المولد ثلاثي الطور

تُعتبر المولدات ثلاثية الطور تحسيناً كبيراً على المولدات أحادية الطور من حيث إنها: (١) تعطي طاقة أكثر، و (٢) أكثر كفاءة (فعالية) في إنتاج إشعاع الأشعة السينية، و (٣) توفر تحكماً أفضل بالزمن. تتطلب المولدات ثلاثية الطور تغذية بالطاقة من ثلاثة خطوط تغذية مختلفة الأطوار كل طور فيها له زاوية طور مع الطورين الآخرين قدرها (١٢٠ أ). لدى هذه المولدات بدلاً من محول ذاتي وحيد ثلاثة محولات آلية منفصلة تتم قيادتها عادة بمحرك بواقع محول واحد لكل طور. يتم تطبيق الجهد الأولي الخارج من المحولات الآلية على الطرف الأولي لمحول جهد عالٍ خاص ثلاثي الطور.

هناك نوعان من محولات الجهد العالي ثلاثية الطور مستخدمان في مولدات الأشعة السينية هذه. يعتمد نوع المحول وشكل موجة الخرج المقابل له على نوع تشكيلة الملف الثانوي المستخدمة (الشكل رقم ٥). يمكن أن يتم تشكيل الطرف الثانوي بملفين منفصلين مربوطين على شكل **مثلثي (دلتا *(Delta)*)** أو ملفين منفصلين مربوطين على شكل **نجمي (واي (أو نجمة) *(Wye (or Star))*)** أو قد يكون للملف الثانوي تشكيلة ملفات **مثلثية- نجمية**. إذا ما تم استخدام نفس تشكيلة الملفات في الملف الثانوي فإن المولد يُسمى عندها **مولداً سداسي النبضات**. وإذا ما تم استخدام تشكيلة ملفات مثلثية – نجمية في الملف الثانوي فإن المولد يُسمى عندها **مولداً اثنا عشري النبضات**.



الشكل رقم (٥). المولد ثلاثي الطور (١٢ نبضة) وشكل موجة الخرج. تنتج المولدات ثلاثية الطور (١٢ نبضة) شكل موجة خرج بنسبة تموج ٣,٤٪ فقط.

ينتج المولد سداسي النبضات شكل موجة خرج تيار مستمر ذات نسبة تموج ١٣,٥٪. وهذا تحسن كبير بالمقارنة بالمولدات أحادية الطور، أما المولد الاثنا عشري النبضات فينتج شكل موجة خرج بنسبة تموج ٣,٤٪ فقط. يصبح من الواضح من خلال دراسة أشكال موجة الـ kVp أن النظام الاثني عشري النبضات مرغوب فيه أكثر بسبب شكل موجته للتيار المستمر القريبة من "الجهد الثابت".

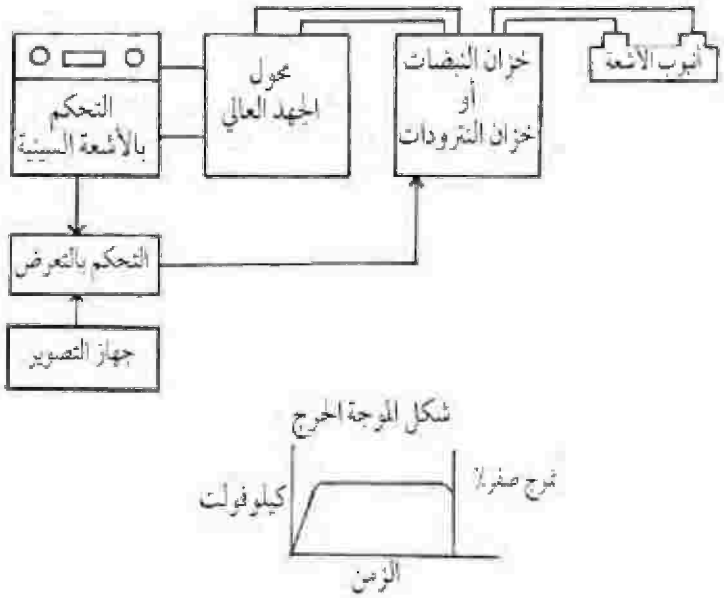
توفر المولدات ثلاثية الطور العديد من المزايا مقارنة بالمولدات وحيدة الطور. تسمح كفاءة الخرج المرتفعة لهذه المولدات بأزمنة تعريض أقصر بكثير بالمقارنة مع المولدات أحادية الطور عند استخدام نفس إعدادات الـ kVp. إضافة إلى ذلك، يمكن في الأنظمة ثلاثية الطور استخدام تقنيات تعريض أعلى بكثير عند إعدادات زمن تعرض قصير. كما أنه يتم التحكم بزمن التعريض بدقة أكبر أيضاً في المولدات ثلاثية الطور (انظر التحكم بالزمن)، وهذا متطلب في

تقنيات التصوير الشعاعي التسلسلي وتوقيت التصوير، ولهذه الأسباب فإن المولدات ثلاثية الطور كثيرا ما تُستخدم لتطبيقات تصوير الأوعية الدموية والتصوير البقعي.

المولد ذو الجهد الثابت

إن **المولد ذا الجهد الثابت** ***(constant potential generator)*** حالة خاصة من المولد ثلاثي الطور. يتم هنا استخدام دارات تبديل (فصل ووصل) إضافية في دارة الملف الثانوي عالية الجهد من أجل التوصل إلى التحكم الدقيق بزمن التعريض المطلوب لتطبيقات التصوير عالية السرعة. ولأن هذا النوع من المولدات يستخدم "مبدل (مفتاح)" جهد عالٍ فإنه يتم التحكم بأزمنة التعريض بدقة، وبالإضافة إلى ذلك، فإن شكل موجة الـ kVp الناتجة عبارة عن موجة تيار مستمر مربعة عديمة التموج من ناحية المبدأ (الشكل رقم ٦). يبقى الـ kVp مع خرج موجة مربعة حقيقية ثابتاً خلال فترة التعريض، ومن هنا جاءت التسمية "ذو الجهد الثابت". إن المولدات ذات الجهد الثابت هي المولدات الأغلى سعراً من بين المولدات المتاحة وتُستخدم في مختبرات القثطرة وتطبيقات الإجراءات الخاصة.

إن استخدام **التترودات** ***(tetrodes)*** في دارة الملف الثانوي عالية الجهد هو أحد الطرق لإنجاز التبديل السريع للجهد العالي. يتم توصيل التترودات الموجودة في خزان منفصل يُدعى **خزان التترودات** على التسلسل مع أنبوب الأشعة السينية. تقوم إشارة تعرُّض خارجية مرسلة من جهاز تصوير مثل الكاميرا السينمائية (cine camera) أو مبدل فيلم (أو قبضة يدوية في نمط التصوير الشعاعي) بفصل ووصل التترودات سامحة بدورها لأنبوب الأشعة السينية بالعمل.

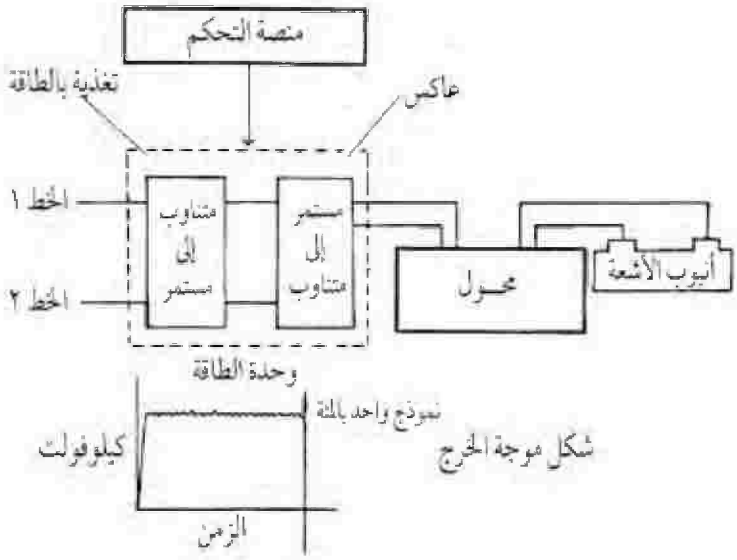


الشكل رقم (٦). مخطط صندوقي للمولد ذي الجهد الثابت وشكل موجة الخرج. تنتج المولدات ذات الجهد الثابت خرجاً من دون تموج.

هناك طريقة أخرى لإنجاز التبديل السريع وهي عن طريق استخدام **أنبوب أشعة سينية متحكم به بالشبكة *(grid-controlled x-ray tube)***. إن شبكة الأنبوب (أي كأس التركيز) في أنبوب أشعة سينية معياري تكون عادة مقصورة على النقطة المرجعية المشتركة، أما في أنبوب الأشعة السينية المتحكم به بالشبكة فإنه يتم إبقاء الشبكة عند جهد سالب (بالنسبة للمهبط) وتكون في العادة في حالة فصل ("off") حتى عندما يتم تطبيق جهد عالٍ على أنبوب الأشعة السينية. يتم خلال التعريض وصل ("on") وفصل ("off") جهد الشبكة نبضياً وبدوره فإن الأنبوب يتم وصله ("on") وفصله ("off") من خلال إرسال نبضات من خزان النبضات. وكما هو الحال مع التترودات، فإن خزان النبضات يتلقى إشارة تعرض من جهاز تصوير لبدء تعريض ما.

المولد عالي التردد

إن **المولدات ذات التردد العالي *(high frequency generators)*** هي النوع الأحدث من أنواع مولدات الأشعة السينية، وهي إلى حد بعيد الأكثر كفاءة في إنتاج إشعاع الأشعة السينية، يستطيع هذا النوع من المولدات أن ينتج موجة جهد عالٍ مربعة عديمة التموج من ناحية المبدأ مما يوفر إشعاعاً منتظماً على مدى كامل التعريض. وهناك ميزة أخرى لهذا النوع من المولدات تكمن في أنها تستطيع أن تعمل بخط تغذية بالطاقة أحادي الطور أو ثلاثي الطور. تستخدم المولدات ذات التردد العالي طريقة فريدة من نوعها لإنتاج الجهد العالي وذلك واضح من خلال النظر إلى المخطط الصندوقي المبسط المبين في الشكل رقم (٧).



الشكل رقم (٧). مخطط صندوقي للمولد ذي التردد العالي وشكل موجة الخرج. تنتج المولدات ذات التردد العالي شكل موجة خرج بتموج أقل من واحد بالمئة.

إن الاختلاف الأكثر وضوحاً في هذا النوع من المولدات هو أن جهد خط التغذية الوارد يتم تحويله فوراً إلى تيار مستمر مما يوفر مصدراً ثابتاً لقسم عاكس الطاقة. يوفر هذا التصميم ميزة التنظيم المحسَّن للـ kVp. يتم في جميع التصاميم الأخرى للمولدات اشتقاق الـ kVp مباشرة من خط التغذية بالتيار المتناوب (AC line)، وبالتالي فإن أي تذبذبات في خط التغذية بالطاقة الوارد ستسبب تذبذبات مقابلة في شكل موجة الـ kVp. أما في المولدات ذات التردد العالي فإن الجودة المرتفعة للتغذية بالتيار المستمر تحافظ على خرج تيار مستمر مستقر ومرشَّح بغض النظر عن أي تناقضات في خط التغذية بالتيار المتناوب.

يتم تغذية الخرج المنظَّم من التغذية بالتيار المستمر مباشرة إلى قسم عاكس الطاقة في المولد. يتألف هذا القسم من "عاكس" ("inverter") يحول جهد التغذية بالتيار المستمر إلى نبضات ذات تردد عالٍ محاكياً بذلك شكل موجة تيار متناوب. يرسل العاكس هذه النبضات إلى محول جهد عالٍ يرفع بدوره الجهد إلى المستوى الصحيح للجهد العالي الذي سيتم تطبيقه على أنبوب الأشعة السينية.

تكمن ميزة أخرى لاستخدام تغذية بالتردد العالي في أنه يمكن استخدام مكونات أصغر بشكل ملحوظ في دارة الطاقة العالية[٥]. هذا يعني أنه يمكن وضع محول الجهد العالي، الذي يأخذ عادة حيزاً واسعاً، داخل كابينة التحكم سويًّا مع المكونات الأخرى للتحكم بالمولد. هذا يقلل إلى حد كبير مقدار الحيز المطلوب للتركيب. إن القيود الحيزية للغرفة في كثير من الحالات هي أحد الاعتبارات الرئيسية في شراء تجهيزات التصوير الشعاعي. ومن ثم فإن المولدات ذات التردد العالي في مثل هذه الحالات هي الخيار المثالي.

إن المزايا الأخرى للمولدات ذات التردد العالي هي: (١) أنها أكثر سهولة للمعايرة، و (٢) أنها ستحافظ على معايرة مستقر لفترة أطول من الزمن، و (٣) أنها توفر تحكماً بالزمن أكثر دقة بالمقارنة مع غيرها من المولدات، ويرجع ذلك بشكل رئيسي إلى حقيقة أن جميع المولدات ذات التردد العالي تستخدم دارات تغذية راجعة لمراقبة الـ kVp و الـ mA وزمن التعريض (في الوقت الحقيقي). ونظراً للمراقبة المتطورة للإشارة، فإن تحديد وإصلاح الأعطال في هذه المولدات أكثر سهولة أيضاً. إن لغالبية المولدات ذات التردد العالي دارات كشف عن الخطأ تستطيع عزل العطل وحتى إعطاء رسالة على شاشة عرض منصة التحكم لتنبيه المشغِّل إلى وجود مشكلة. لقد تحسنت المولدات ذات التردد العالي إلى حد كبير في التصميم وتُستخدَم لجميع التطبيقات بما في ذلك تصوير الأوعية (angiography).

التحكم بالميلي أمبير mA Control

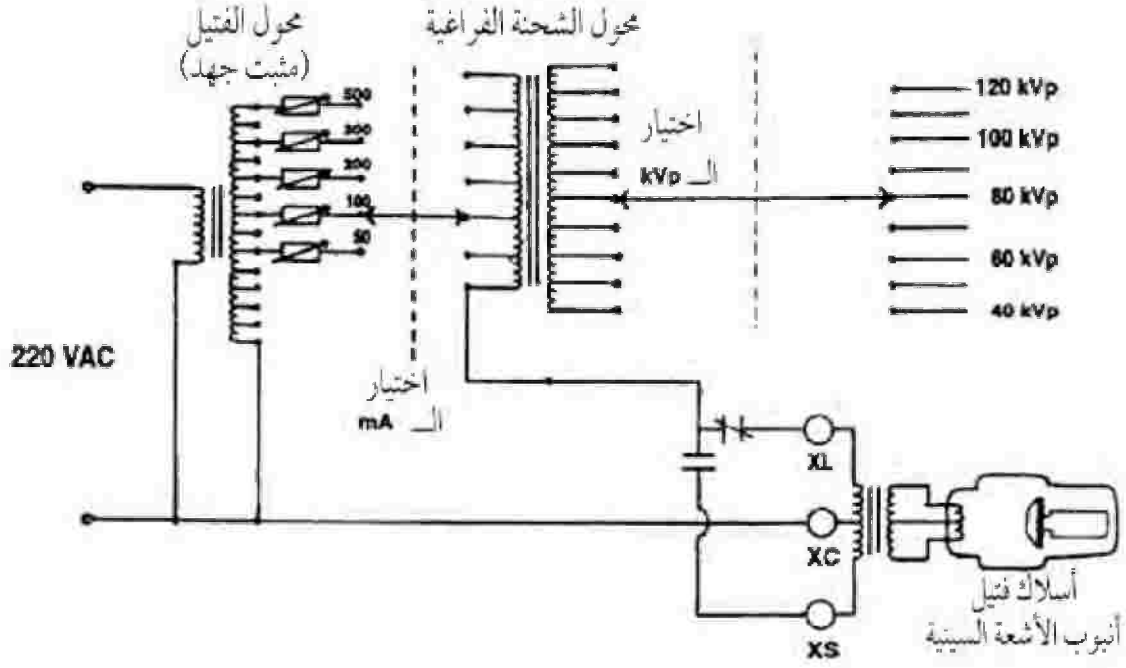
يتحكم مولد الأشعة السينية بالإضافة إلى التحكم بالـ kVp أيضاً بكمية تيار الأنبوب الذي يتدفق خلال أنبوب الأشعة السينية. إن الـ mA هو المصطلح المستخدم للإشارة إلى التيار الفعلي المار خلال أنبوب الأشعة السينية،

---

(٥) توضح النظرية الأساسية للإلكترونيات لماذا الأمر كذلك، فبالإشارة إلى المفاعلة الردية $X_C = 1/2\pi FC$ و $X_L = 2\pi FL$ يتضح أنه إذا ما تم المحافظة على جميع العوامل الأخرى ثابتة فإن تزايد التردد سيتطلب إنقاصاً مقابلاً في السعة والتحريض على الترتيب وبالتالي مكوِّنات أصغر.

ويتم التحكم به مباشرة عن طريق كمية التيار الذي يمر عبر فتيل أنبوب الأشعة السينية، فمن أجل زيادة محددة في تيار الفتيل هناك زيادة متناسبة طرداً معها في الـ mA (مع المحافظة على الـ kVp ثابتاً).

تتألف الدارة النموذجية للتحكم بالـ mA من: (١) منظم جهد الفتيل (أو المثبت) الذي يوفر جهد تغذية ثابتاً لدارات الفتيل عندما يتغير الحمل، و (٢) وسيلة للتحكم بالجهد المطبَّق على محول الفتيل (الشكل رقم (٨)). يتم إنجاز تنظيم جهد الفتيل بطرق مختلفة تتراوح بين متزلقة انتقاء مقاومة بسيطة وتحكم بالتردد.



الشكل رقم (٨). دارة التحكم بالفتيل. يتم تطبيق جهد تصحيح على أسلاك الفتيل للتعويض عن تأثير الشحنة الفراغية. يتحدد جهد التصحيح عن طريق الـ kVp الذي يتم اختياره.

تتعلق صعوبة التحكم بالـ mA بظاهرة في أنابيب الأشعة السينية تُدعى **هذه العملية بتأثير الشحنة الفراغية *(space charge effect)***، وبالتالي فهناك حاجة لتوفير المزيد من الدارات من أجل تنظيم دقيق للـ mA. تدعى عملية التصحيح لتأثير الشحنة الفراغية **تعويض الشحنة الفراغية *(space charge compensation)***.

يتم تعريف الشحنة الفراغية على أنها سحابة من الإلكترونات تحيط بالفتيل عندما يتم تسخينه. يتناسب حجم السحابة مع درجة تسخين الفتيل. إن المشكلة عند التعامل مع ظاهرة الشحنة الفراغية هي عندما نأخذ

بالاعتبار الـ kVp المطبَّق على الأنبوب، إذا ما تمت المحافظة على تيار الفتيل ثابتاً، فإن زيادة في الـ kVp سوف تتسبب في زيادة متناسبة طرداً معها في تيار الأنبوب (الـ mA) بسبب "السحب" الأكبر الذي يمارَس على الإلكترونات في السحابة. وبالعكس، فإن تناقصاً في الـ kVp سيتسبب في "سحب" أقل لسحابة الإلكترونات، وهذا سوف يقلل من تيار الأنبوب الفعلي. يُستخدم تعويض الشحنة الفراغية على وجه التحديد للحفاظ على mA ثابتاً على مدى كامل مجال إعدادات الـ kVp.

يتم توصيل دارة تعويض الشحنة الفراغية إلى دارة الفتيل عند نقطة بعد مقاومات ضبط الـ mA. تراقب هذه الدارة الـ kVp المنتقى وتطبّق من ثم جهد التعويض المناسب الضروري للحفاظ على الـ mA المنتقى عند مستوى ثابت. ستخفض دارةُ تعويض الشحنة الفراغية الجهدَ المطبَّق على محوّل الفتيل عند إعدادات أعلى للـ kVp وستزيد جهد التعويض عند إعدادات أخفض. وعموماً، ليس هناك تعويض شحنة فراغية يُطبَّق عند أو بالقرب من ثمانين كيلو فولت. وبسبب هذه الحقيقة فإنه يتم تنفيذ معايرة الـ mA الأولية عند هذه القيمة للـ kVp (انظر معايرة الأشعة السينية في الفصل السادس).

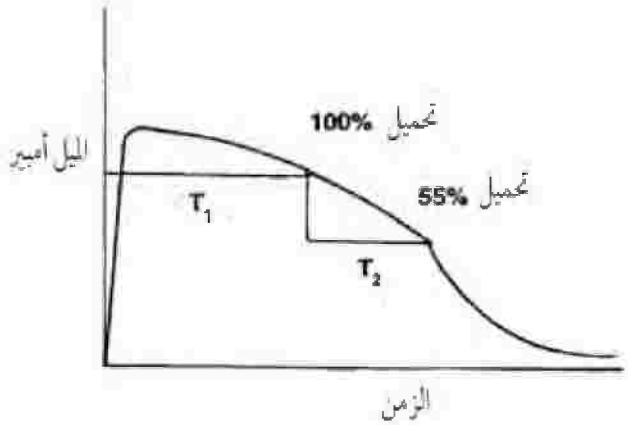
مولد الحمل الهابط

يتعلق سبب رئيسي من أسباب تعطل أنبوب الأشعة السينية بتضرر الفتيل الناجم عن تيارات أنبوب مفرطة. إن الاستخدام المستمر لميلي أمبيرات مرتفعةسوف يقصّر بالتأكيد من عمر أنبوب الأشعة السينية (انظر الفصل التاسع). طوّرت بعض الشركات المصنِّعة لأجهزة الأشعة السينية من أجل معالجة هذه المشكلة نوعاً خاصاً من المولدات لغرض محدد هو تطويل عمر الأنبوب. يُسمى هذا النوع من المولدات **مولد الحمل الهابط** وقد سُمي كذلك نسبة إلى شكل موجة الميلي أمبير الفعلية التي ينتجها.

وفي حين أنه يتم تمييز سائر مولدات الأشعة السينية عن طريق شكل موجة الـ kVp الخاصة بها، فإنه يتم تمييز مولدات الحمل الهابط عن طريق شكل موجة الـ mA. يبدأ التعريض مع مولدات الحمل الهابط بالـ mA الأعلى المسموح به لذلك الأنبوب المعين للأشعة السينية والإعدادات التقنية. يتم بعد فترة معينة من الزمن (١٠ ميلي ثانية مثلاً) تخفيض الـ mA بشكل كبير مما ينتج عنه شكل موجة mA مميز ذا حمل هابط (الشكل رقم ٩). "يهبط" شكل موجة الـ mA باستمرار أو يتناقص خلال كامل التعريض، وبالتالي يتم تطبيق إجهاد أقل بكثير على فتائل أنبوب الأشعة السينية.

يزيد تصميم الحمل الهابط هذا من عمر أنبوب الأشعة السينية ولكن بثمن، وهو: أزمنة تعريض أطول. هناك حاجة لأزمنة تعريض أطول للتعويض عن الانخفاض الكبير في تيار الأنبوب. تتسبب أزمنة التعريض الطويلة

في تخفيض جودة الصورة وذلك بشكل أساسي بسبب حركة المريض (انظر الفصل الثامن). ساهم هذا العيب الكبير جزئياً في الانخفاض في استخدام المولدات ذات الحمل الهابط. علاوة على ذلك، وبسبب التقدم في تصميم أنبوب الأشعة السينية والأفلام وشاشات التكثيف والشعبية المتزايدة للمولدات ذات التردد العالي، فإن المولدات ذات الحمل الهابط لم تعد مطلوبة.



الشكل رقم (٩). شكل موجة الـ mA لمولد ذي حمل هابط. يتم بعد فترة زمنية مبرمجة (t_1) تخفيض الـ mA إلى قيمة أقل لما تبقى من التعريض. يطيل هذا التصميم بشكل فعال من عمر أنبوب الأشعة السينية.

التحكم بالزمن Time Control

إن التحكم بالزمن هو الوظيفة الرئيسية الثالثة لمولد الأشعة السينية ويتم إنجازها بطرق مختلفة حسب نوع المولد. يتوجب على دارات التوقيت بدء التعريض للأشعة السينية ومن ثم إيقافه بدقة في الوقت المحدد. يتم تحقيق التحكم بالزمن "بتبديل" جهد الملف الأولي لمحول الجهد العالي بشكل متناوب "وصل وفصل" ("on and off").

كان التبديل الفعلي في وحدات الأشعة السينية الأولى يتم من خلال مرحّلات (ريليهات) كبيرة تسمى **موصّلات (ملامسات، كونتاكتورات)** ***(contactors)***. تُستخدم اليوم بدلاً من ذلك وعلى نطاق واسع مقومات ذات تحكم سيليكوني (SCR's: Silicon-Controlled Rectifiers) بالرغم من أن مصطلح "الموصلات" لا يزال يُستخدم. تستخدم الـ SCR's لأنها توفر تبديلاً خالياً من العوابر (transients). يتم إعطاء إشارات "الوصل والفصل" لهذه الموصلات عن طريق تحكم الـ SCR الذي يتلقى إشاراته من دارات التوقيت.

تاريخياً، استخدمت الوحدات أحادية الطور مؤقتات تمثيلية (analog)، إلا أن معظم الوحدات الجديدة تستخدم الآن مؤقتات رقمية. يتم في دارات توقيت الوحدات وحيدة الطور مراقبة عبور شكل موجة التيار المتناوب

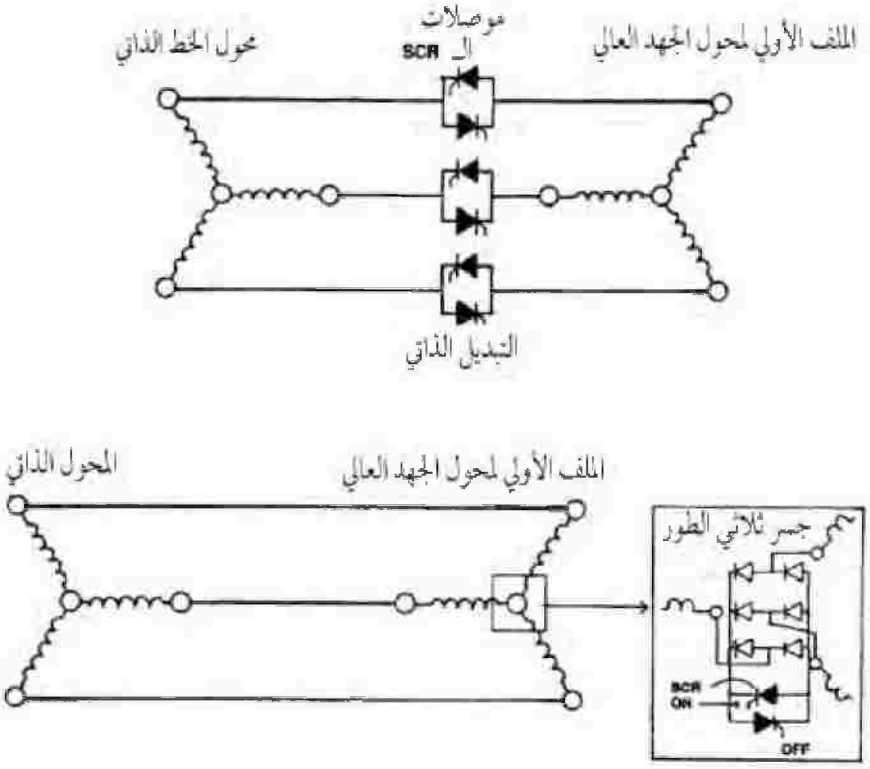
في دارة الملف الأولي لنقاط الصفر. يتم تحويل نقاط عبور الصفر إلى نبضات توقيت وتُستخدم لبدء التعريض وقياسه وإيقافه.

لو رجعنا إلى الرسم البياني في الشكل رقم (٤) لرأينا أنه يوضح أن كل تناوب في الموجة الجيبية للتيار المتناوب (أو كل نصف دورة) يستغرق (٨,٣٣) ميلي ثانية، وبالتالي فإن أقصر تعرض يمكن الحصول عليه بمولد وحيد الطور هو على وجه التحديد (٨,٣) ميلي ثانية (واحد على عشرين من الثانية). إلا أن زمن التعريض هذا ليس حتى سريعاً بما فيه الكفاية لتوقيت التصوير (phototiming) وتطبيقات التصوير البقعي (spotfilming) التي غالباً ما تتطلب أزمنة تعرض أقل من (٥) ميلي ثانية. وحتى بالنسبة للتصوير الشعاعي التقليدي، فإن دقة التعريض تقل عند استخدام أزمنة تعريض قصيرة في المولدات وحيدة الطور.

تستخدم المولدات ثلاثية الطور أيضاً مؤقتات إما تمثيلية أو رقمية حسب سنة إنتاج الجهاز، إلا أن الموضوع المهم بالنسبة للمؤقتات ثلاثية الطور هو الطريقة المستخدمة لإنهاء التعريض. هناك طريقتان تُستخدمان بشكل شائع: **التبديل الذاتي *(self-commutation)*** و**التبديل القسري *(forced commutation)***.

إن لمولدات الأشعة السينية التي تستخدم التبديل الذاتي موصلاً (contactor) (عبارة عن SCR's موصلة عكس بعضها البعض لكل طور خط. ينتهي التعريض في التبديل الذاتي عند نقطة عبور الصفر التالية تابعاً إشارة إنهاء التعريض (الشكل رقم ١٠). يوضح الرسم أنه يتوجب على خطي طورين أن يكونا في حالة "توصيل" لتوفير مسار عودة لدارة الملف الأولي. ونتيجة لذلك، فإن الأمر يستغرق (٢,٧) ميلي ثانية للمصعد زائداً (٢,٧) ميلي ثانية للمهبط للتحول إلى "حالة التوصيل" ("on"). وهذا يعني أن أقصر زمن تعرض ممكن هو (٥,٤٤) ميلي ثانية.

وعلى الرغم من التحسينات على الوحدات وحيدة الطور فإن زمن الاستجابة يبقى غير سريع بما فيه الكفاية من أجل تركيبات الفيلم/ الشاشة ذات السرعة العالية اليوم. يمكن تزويد العديد من وحدات الأشعة السينية التي تستخدم التحكم بالتوقيت ذا التبديل الذاتي بوحدة خارجية إضافية من شأنها أن "تجبر" الـ SCR's على "الفصل" ("off") عندما يتم توليد أمر بإيقاف الأشعة السينية، مما يتيح أزمنة تعريض قصيرة تصل إلى ميلي ثانية واحدة. يُشار إلى هذه الوحدات باسم **حُزَم التلاشي القسري *(forced extinction packages)***.



الشكل رقم (١٠). التبديل الذاتي مقابل التبديل القسري.

- **القسم العلوي: لاحظ أنه يجب أن يكون طوران في حالة وصل ليمر تيار.**
- **القسم السفلي: إن موصلاً واحداً موجود في نقطة الوسط للملف الأولي لمحول الجهد العالي هو ما يتحكم في تدفق التيار.**

يستخدم النوع الثاني من المؤقتات ثلاثية الطور **التبديل القسري** ***(forced commutation)*** لإنهاء التعريض. يحل تصميم التبديل القسري مشكلة إنهاء التعريض عن طريق استخدام موصِّلَي SCR اثنين وشبكة جسرية عند نقطة الوسط للملف الأولي لمحول الجهد العالي (الشكل رقم ١٠). يكمل أحد الموصلات مسار الدارة الأولية التي تبدي بعد ذلك التعريض. يجبر الموصل الثاني الـ SCR الذي بدأ التعريض على "الفصل" ("off") عن طريق عكس قطبية المصعد- المهبط. يمكّن التبديل القسري من الحصول على أزمنة تعريض قصيرة تصل إلى ميلي ثانية واحدة.

دارات ذاكرة النواة

إن توفير **الكشف عن ذاكرة النواة** وظيفة أخرى مهمة لدارات التحكم بالزمن. يجب أن ترى النواة الحديدية لمحولات الجهد العالي (أو أي محول ذي نواة صلبة فيما خص هذه المسألة) الدورات المتناوبة للقطبية لكي تعمل بشكل صحيح. على سبيل المثال، إذا كانت الدورة الموجبة لشكل موجة التيار المتناوب هي الدورة الأخيرة المارة من خلال الملف الأولي للمحول فإن التعريض التالي يجب أن يبدأ مع الدورة السالبة. وإذا كان لنفس القطبية أن تتبع

فإن النواة الحديدية ستصبح "مشبعة"، وهذه حالة تؤثر بشدة على أداء المحول. سينشأ عن تشبع النواة انخفاض في كفاءة التحويلات وسيتسبب عادة في أعطال خطيرة في الجهد العالي (انظر الفصل التاسع).

إن دارات ذاكرة النواة تمنع النواة الحديدية من أن تصبح مشبعة من خلال مراقبة قطبية الخط، وبالتالي بدء التعريض التالي بالتناوب الصحيح(المضاد).

وظائف تحكم أخرى بالأشعة السينية Other X-ray Control Functions

يوفر المولد إلى جانب توفير التحكم بالـ kVp والـ mA والزمن أيضاً العديد من الوظائف الأخرى الهامة. يتم، من أجل ضمان التشغيل الآمن لأنبوب الأشعة السينية، تجهيز جميع المولدات **بدارات حماية أنبوب** ***(tube protection circuitry)***. تمنع دارات حماية الأنبوب في التصاميم الأكثر أساسية للمولد المشغِّل من اختيار تقنية (أسلوب) تتجاوز حدود التشغيل الآمن لأنبوب الأشعة السينية. عندما يتم اختيار تقنية تتجاوز حدود الأنبوب فإنه تنشأ حالة "وقف تعريض" ("exposure hold") مترافقة مع مؤشر بصري على "انتهاء التقنية" ("technique over"). يجب على الفني تخفيض إعدادات التقنية على وحدة التحكم بالأشعة قبل أن يتم السماح بتعريض.

هناك وحدات أكثر تطوراً ذات تحكم بمعالج صغري (ميكروبروسيسور) تستطيع عرض رسالة خطأ إذا ما تجاوزت تقنية ما معدلات طاقة الأنبوب. إضافة إلى ذلك، فإن لدى الوحدات ذات التحكم بمعالج صغري في العادة ميزات خاصة أخرى مثل **حاسب وحدة حرارية** يعرض كمية الوحدات الحرارية المتاحة للاستخدام، أو مؤشر **تحميل أنبوب** يعرض النسبة المئوية لخرج الأنبوب الأعظمي الذي يتم استخدامه لتقنية معينة.

يجب على مهندس الخدمة عند التركيب برمجة المولد بالمواصفات الدقيقة للأنبوب لكي تعمل هذه الدارات بشكل صحيح. توفر بعض المولدات برمجيات مركبة مسبقاً تحتوي على بيانات بشأن مواصفات أنابيب الأشعة السينية الأكثر شيوعاً في الاستخدام. هذ البرمجيات مبرمجة مسبقاً في المصنع، ويقوم المهندس أثناء التركيب بالدخول ببساطة إلى نمط الخدمة من منصة التحكم وتحديد الأنبوب المناسب.

إن **التحكم بالجزء الدوار** ***(Rotor control)*** وظيفة هامة أخرى لمولد الأشعة السينية. يتم وضع المقلعات ذات السرعة المنخفضة (low-speed starters) ضمن كابينة التحكم بمولد الأشعة السينية لأنها صغيرة الحجم نسبياً. من ناحية أخرى، فإن المقلعات عالية السرعة أكبر حجماً ويتم تركيبها في كابينة منفصلة.

يجب أن توفر متحكمات الجزء الدوار سواء منها ذات السرعة العالية أو المنخفضة ما يلي: (١) جهد الإقلاع المناسب لبدء الدوران، و (٢) وسيلة لضبط زمن "التعزيز" ("boost") الذي سيتم فيه تطبيق جهد الإقلاع على ملفات الجزء الثابت، و (٣) جهود تشغيل أقل للحفاظ على الدوران، و (٤) مكثف إزاحة الطور المناسب للأنبوب الذي يتم استخدامه، و (٥) دارة قفل تعريض لضمان أن يكون الأنبوب دائراً قبل محاولة التعريض للأشعة.

هناك أيضاً التحكم الآلي بالتعريض (automatic exposure control) (الـ AEC) وهو متوفر بشكل اختياري مع معظم مولدات الأشعة السينية وموجود في التحكم بالمولد. إذا لم يكن خيار الـ AEC متاحاً في موديل (نموذج) مولد معين، فيمكن شراء وحدة تحكم AEC خارجية متوافقة من أي من الشركات الصانعة الكثيرة المختلفة وربطها إلى معظم وحدات الأشعة السينية. عندما يكون الـ AEC مُعايَراً بشكل صحيح فسيتحكم بزمن التعريض بواسطة التحسس بالإشعاع الذي يمر عبر المريض. إن الـ AEC وسيلة بالغة الفعالية للحصول على أفلام أشعة سينية متسقة. وبالتالي، يطلب كثير من أطباء الأشعة هذا الخيار.

توفر جميع المولدات أيضاً **قياساً للـ mA ودارات السلامة**. عادة ما تكون هذه الدارات موصَّلة إلى نقطة الوسط للملف الثانوي لمحول الجهد العالي. إن نقطة الوسط التي عادة ما يُشار إليها بـ M1 و M2 ذات مرجعية أرضية وتوفر نقطة سهلة لمراقبة تيار الأشعة السينية الفعلي الذي يتدفق عبر الأنبوب بأمان. إن مقياس الـ mA التمثيلي على اللوحة الأمامية لكثير من المولدات مربوط على التسلسل إلى هذه النقطة، وهذه أيضاً هي النقطة حيث يتم تركيب مقياس الميلي أمبير/ الميلي أمبير ثانية (ماس) (الـ mA/mAs) الخارجي أثناء المعايرات.

وحدة محول الجهد العالي
The High Voltage Transformer Unit

كما تم ذُكِرَ سابقاً في هذا الفصل، فإنه لا بد من تسخين أسلاك فتيل أنبوب الأشعة السينية لتحرير الإلكترونات المستخدمة في إنتاج الأشعة السينية. يتم تطبيق جهد منخفض من مصدر طاقة ثابت في المجال (٦- ١٢) فولت تيار متناوب (VAC) على الفتائل في مهبط أنبوب الأشعة السينية لتوفير هذا التسخين. هناك أيضاً حاجة لمصدر جهد عالٍ في المجال من (٤٠) إلى (١٥٠) كيلو فولت لتسريع الإلكترونات إلى سرعة كافية بحيث يتم توليد الأشعة السينية عندما تصطدم هذه الإلكترونات مع الهدف. إن **محول الفتيل** (للحصول على مصدر جهد منخفض) و**محول الجهد العالي** (للحصول على مصدر جهد عالي) كليهما موجود في وحدة محول الجهد العالي. إن كلا المحولين مغموران تماماً في زيت عازل[٦].

تشمل المكوّنات الأخرى الموجودة في وحدة محول الجهد العالي قضبان التقويم (أو الأنابيب الصمامية في الوحدات الأولى)، ومقابس الجهد العالي. توفر بعض وحدات المحولات مجموعات إضافية من المقابس لتغذية أنبوبي أشعة سينية أو أكثر بالطاقة. يتم تفعيل هذه المنابع عن طريق مفتاح تتم قيادته بملف لولبي (solenoid) أو بمحرك وهي موجودة أيضاً في وحدة المحول.

---

(٦) لما كان الملف الثانوي لمحول الفتيل موصولاً مباشرة إلى مهبط أنبوب الأشعة السينية فإن كمونه (جهده) سيكون مرتفعاً وبالتالي يجب عزله.

إذا ما كان هناك إشارات تغذية راجعة للـ kVp و الـ mA يتم توفيرها مع مولد الأشعة السينية فإن دارة الكشف عن التغذية الراجعة تكون موجودة داخل وحدة المحول. هناك أيضاً نقاط اختبار مناسبة لمراقبة تيار الفتيل الأولي وتيار أنبوب الأشعة السينية (mA) في وحدة المحول.

أنبوب الأشعة السينية
The X-Ray Tube

يحدث الإنتاج الفعلي لإشعاع الأشعة السينية -كما ذُكر- داخل أنبوب الأشعة السينية. هناك العديد من الأنواع المختلفة من أنابيب الأشعة السينية المتاحة اليوم من مجموعة متنوعة من الشركات المصنعة. تختلف هذه الأنابيب عن بعضها البعض في الأمور التالية: بنية المصعد، وحجم البقعة المحرقية، والسعات الحرارية القصوى، ونمط بيت الأنبوب. يجب أن يكون كل نوع من أنبوب الأشعة السينية ملائماً بشكل صحيح لجهاز التصوير الشعاعي المحدد الذي يتم استخدامه للاستخدام الإكلينيكي (السريري) المقصود. ولذلك ينبغي لمهندس الخدمة أن يكون على دراية بخصائص الأنواع المختلفة لأنابيب الأشعة السينية بحيث يستطيع تقديم المشورة بشكل صحيح لمدير قسم الأشعة أو تاجر الأجهزة فيما يخص موضوع الأنبوب الذي سيكون الخيار الأفضل للتطبيق المقصود.

يتم تصميم أنابيب الأشعة السينية إما بمصعد ثابت (stationary anode) أو بمصعد دوار (rotating anode). يتم بناء المصعد الثابت من ساق نحاسية (copper stem) يتم تركيب الهدف عليه. يتم استخدام النحاس بسبب قدرته على تبديد الحرارة عندما تتراكم على الهدف أثناء التعريض. ولأن المصعد يبقى ثابتاً في جميع الأوقات فإن تيار الإلكترونات المنبثقة عن الفتيل سيصطدم بالهدف عند منطقة واحدة فقط (أو محرق) من الهدف. سينتج عن هذا الوضع الأقل من مثالي سعة (قدرة) محدودة للأنبوب وعمر قصير للمصعد وزيادة ملحوظة في حجم البقعة المحرقية الفعالة على مدى عمر الأنبوب.

إن الميزة الرئيسية للمصعد الثابت هي أن كلفة تصنيعه أرخص بكثير، لأنه ليس هناك حاجة لدارات إضافية مطلوبة لتوفير دوران المصعد. وعلى الرغم من أنه تم استخدام المصاعد الثابتة بشكل شائع للتصوير الشعاعي في السنوات الماضية، إلا أنها لا تُستخدم الآن إلا في وحدات الأشعة السينية ذات الخرج المنخفض وبعض الوحدات الصغيرة المحمولة.

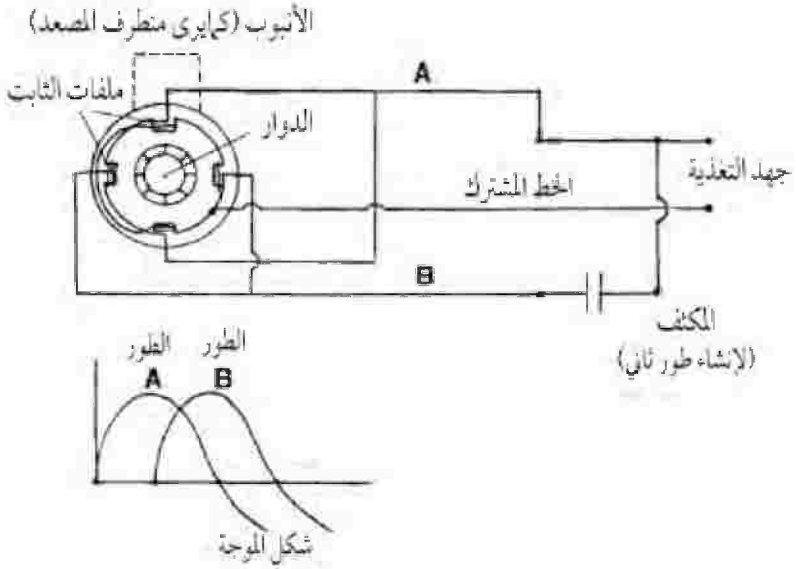
تُفضَّل المصاعد (الأنودات) الدوارة بسبب سعتها (قدرتها) الحرارية الأكبر وخرجها الإشعاعي الأعلى وعمر هدفها الأطول. ولأن المصعد يدور بسرعة ثابتة فإن حزمة الإلكترونات تصطدم الآن بمنطقة ممتدة على كامل سطح الهدف تُسمى **المسار المحرقي *(focal track)***. وبما أن الحرارة تُبدَّد على مدى سطح أكبر بكثير فإنه يمكن

استخدام عوامل تقنية أعلى بأزمنة تعريض أقصر. إضافة إلى ذلك، فإن الهدف سيعمّر لفترة أطول بكثير؛ لأنه يتم تسخينه على نحو أكثر انتظاماً من الأهداف الثابتة.

لكن الأنابيب ذات المصاعد الدوارة أكثر تكلفة في التصنيع بسبب البنية الخاصة والمكوّنات الإضافية المطلوبة لإنتاج دوران المصعد. إن المصاعد الدوارة هي في الأساس عبارة عن محرك تحريضي وحيد الطور مع هدف مثبت إليه. يتألف هذا المحرك التحريضي من جزء دوّار يُسمى **الجزء الدوّار** وعدد من المغانط الكهربائية الثابتة (أو ملفات حقل) التي يشار إليها معاً باسم **الجزء الثابت** ***(stator)***. الهدف مثبت مباشرة إلى دوار المحرك.

يستخدم الثابت في جميع أنابيب الأشعة السينية ما يُسمى **ترتيبة فصل الطور** ***(split phase configuration)*** لتحقيق الدوران (الشكل رقم (١١)). يتطلب هذا النوع من الثابت مكثفاً يوضع على التسلسل مع واحد من ملفات الثابت الثلاثة (ملفات "الإقلاع" أو إزاحة الطور. يتسبب المكثف بحدوث انزياح في الطور بين الملفات الرئيسية وملفات الطور يسبق التغذية بالطاقة وحيدة الطور، منشئاً فعليًّا تغذية ثنائية الطور لازمة لبدء الدوران.

تختلف المحركات التحريضية المستخدمة في أنابيب الأشعة السينية في تصميمها بين المصنّعين، ويمكن تمييزها عن بعضها عن طريق عدد ملفات الحقل المستخدمة. يمكن لمهندس الخدمة أن يقيس ممانعة ملفات الجزء الثابت لتحديد نوع الثابت المستخدم. إن الأنواع الثلاثة الأكثر شيوعاً من الثوابت المستخدمة هي: الـ R (أو المعيارية)، والـ Q (أو ذات المقاومة المنخفضة)، والـ E (أو المتوازنة) (انظر الملحق هـ (Appendix E)).



الشكل رقم (١١). ترتيبة جزء ثابت منفصل الطور. المكثف المستخدم لإنشاء تغذية ثنائية الطور موجود في الواقع في المتحكم بالجزء الدوار.

يتم التحكم بالدوران الفعلي للمصعد عن طريق **متحكم الدوار** أو **المُقلِع** ***(starter)*** والموجود في تحكم الأشعة السينية (انظر أعلاه). إن المقلع ببساطة وحدة تحكم بمحرك تيار متناوب أحادي الطور تبتدئ دوران المصعد وتحافظ عليه. هناك نوعان من المقلعات: **المقلعات العادية أو منخفضة السرعة**، **والمقلعات عالية السرعة**. يحرّض المقلع منخفض السرعة سرعة دوران للمصعد قدرها (٣٣٠٠) دورة في الدقيقة، ويُستخدم في الغالب لتطبيقات التصوير الشعاعي العام. تستطيع المقلعات عالية السرعة أن تحرض دوراناً بـ (١٠٠٠٠) دورة في الدقيقة، وتُستخدم في التطبيقات التي تحتاج إلى تقنيات تعرض عالية للأشعة السينية (أي إجراءات خاصة وتطبيقات حركية). يسمح استخدام أنبوب أشعة سينية في نمط سرعة عالية بتراكم أكبر لحرارة المصعد والذي يزيد بدوره من معدلات خرج الأنبوب.

يتحكم المقلع بسرعة دوران المصعد، أولاً بتطبيق **جهد إقلاع** على ملفات الثابت لفترة معايَرة من الزمن تُسمى **زمن الرفع** ***(boost time)***، ومن ثم بالتبديل إلى **جهد تشغيل** أقل للفترة المتبقية من التعريض. سوف يدفع جهد الإقلاع أو الرفع بالجزء الدوّار بسرعة إلى سرعة تصل إلى السرعة الصحيحة ويحافظ جهد التشغيل ببساطة على تلك السرعة المثلى. يتم ضبط قيم جهد الإقلاع والتشغيل أثناء التركيب ويتم من ثم التحقق من سرعة دوران المصعد. يتم ضبط زمن الرفع على كافة وحدات التحكم بالدوار بأخذ وزن المصعد وحالة الرولمانات بالحسبان.

يوفر المتحكم بالدوار، بالإضافة إلى بدء دوران المصعد والمحافظة على هذا الدوران، وظيفة هامة أخرى أيضاً. لكافة متحكمات الدوار **دارة قفل تعريض**. تكشف هذه الدارة الخاصة عن دوران المصعد وترسل من ثم إشارة إطلاق تعريض إلى المولد للسماح للتعريض بالحدوث. تستخدم معظم دارات قفل التعريض دارات تحسس بالتيار تعمل بطريقة مماثلة. وبمجرد دوران المصعد فإنه يتم التحسس للتيار المار من خلال أحد أسلاك الثابت عن طريق ملفات محول خاص (حساس للتيار). يعطي هذا المحول بعدها إشارة تأكيد مفادها أن "الدوار جاهز" إلى الدارة المنطقية للتحكم بالتعريض في المولد للسماح للتعرض بالاستمرار.

يُسمى الجزء من المصعد حيث يحدث الإنتاج الفعلي للأشعة السينية بالهدف. يتكوّن الهدف عادة من التنغستن (tungsten) أو الرّنيوم (rhenium) أو الغرافيت (graphite) أو الموليبدينوم (molybdenum) أو مزيج من هذه المواد. تُستخدم هذه المعادن بسبب نقاط انصهارها العالية وأعدادها الذرية المرتفعة. فكلما زاد العدد الذري كلما أصبح الهدف أكثر فعالية في إنتاج الأشعة السينية.

إن قطر الهدف من الاعتبارات الهامة في تصميم أنبوب الأشعة السينية. إن لهدف بقطر كبير قدره أربع بوصات على سبيل المثال سعة حرارية أكبر (تصل إلى ٣٠٪ وأكثر) ومعدل أعلى لزمن تعرض قصير من هدف قطره ثلاث بوصات. يمكن أن يُعزى تحسن المعدلات الحرارية إلى **المسار المحرقي** ***(focal track)*** الأكبر الذي يساعد على

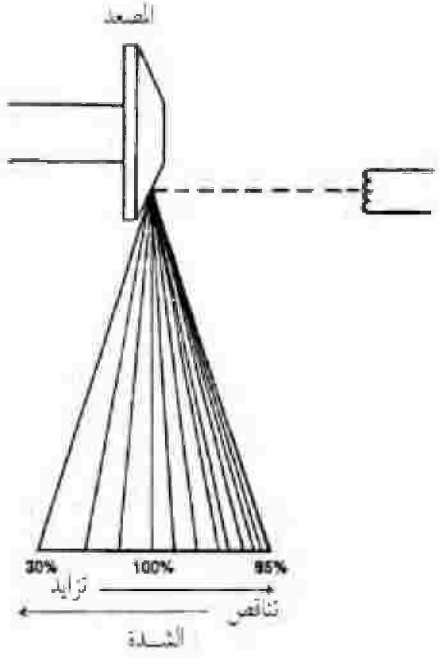
تبديد الحرارة. يتم تحديد المعدلات الحرارية للمصعد **بالوحدات الحرارية *(heat units)*** أو ***HU*** اختصاراً. ومن أجل الوحدات أحادية الطور فإن وحدة حرارية واحدة تساوي **واحد كيلوفولت ذروة في واحد ميلي أمبير في واحد ثانية *(1 kVp x 1 mA x 1 second)***. وقد تم اختيار الوحدة الحرارية كوحدة قياس لأنها أسهل بكثير للعمل معها من وحدة **الواط الثانية *(watt-second)*** التقليدية. تتراوح المعدلات الحرارية النموذجية لمصعد أنبوب أشعة سينية لتصوير شعاعي عام بين ٣٠٠٠٠٠ إلى ٤٠٠٠٠٠ وحدة حرارية.

تحدد **زاوية الهدف *(target angle)*** بشكل مباشر التغطية الحقلية للأشعة السينية والمعدل الحراري للأنبوب وحجم البقعة المحرقية الفعال لأنبوب الأشعة السينية. تعطي زاوية هدف صغيرة حجم بقعة محرقية فعال أصغر ولكن مع تغطية فيلم منخفضة (انظر الملحق ب (Appendix B)). كما أن زاوية هدف أصغر ستسمح بمعدلات تعرض للأنبوب أكبر لزمن قصير.

ومن ناحية أخرى، فإن زاوية هدف أكبر سوف تزيد من التغطية الحقلية للأشعة السينية وستعطي حجم بقعة محرقية فعال أكبر وستقلل من معدل التعريض للأنبوب. يكمن الهدف عند اختيار أنبوب أشعة سينية في اختيار أدنى زاوية هدف تحقق تغطية الفيلم المرغوب فيها.

إن **الأثر الكعبي (أو أثر الميلان) *(heel effect)*** ظاهرة في أنابيب الأشعة السينية يجب أن تؤخذ في الاعتبار أيضاً عند اختيار زاوية هدف. يتم تعريف أثر الميلان (أو الأثر الكعبي) على أنه **"التغير في معدل التعريض مع زاوية انبعاث الإشعاع من المحرق"**. يوضح الشكل رقم (١٢) أن الإشعاع يتناقص في الطاقة تدريجياً في الاتجاه نحو المصعد، ويرجع هذا إلى التضعيف (التوهين) الأكبر للأشعة السينية عند مرورها عبر سماكة "كعب" المصعد. تنتج زاوية هدف أصغر أثراً كعبيًا أكبر.

يعوِّض المهندس عن الأثر الكعبي أثناء التركيب بتركيب أنبوب الأشعة السينية في اتجاه (بالنسبة لمستقبل الصورة) يقلل من الأثر الكعبي إلى الحد الأدنى. وكقاعدة عامة فإنه يتم عادة وضع المصعد عند النهاية الرأسية للطاولة أو المستقبل.



الشكل رقم (١٢). الأثر الكعبي (أو أثر الميلان). يتم تضعيف حزمة الأشعة السينية عند مرورها عبر سماكة مادة الهدف.

لا بد أيضاً من أخذ حجم البقعة المحرقية لأنبوب الأشعة السينية في الحسبان عند اختيار أنبوب أشعة سينية. إن محرق الأنبوب أو **حجم البقعة المحرقية الفعال** على علاقة مباشرة بحجم سلك الفتيل و، كما ذُكر آنفا، بزاوية الهدف. إن معظم أنابيب الأشعة السينية المصنَّعة اليوم هي أنابيب مزدوجة المحرق توفر بقعة محرقية صغيرة وبقعة محرقية كبيرة.

يتراوح المحرق الصغير لأنبوب الأشعة السينية من أجل التصوير الشعاعي العام عادة بين (٠,٦) ملم و (١,٠) ملم، في حين يتراوح حجم البقعة المحرقية الكبير بين (١,٠) ملم و (٢,٠) ملم. تتطلب التطبيقات التي تتطلب تصويراً تفصيليًّا دقيقاً (أي تصوير الأوعية الدموية) أحجام بقع محرقية أصغر. إن أصغر أحجام البقع المحرقية المستخدمة في التصوير الشعاعي مستخدمة في التصوير الشعاعي للثدي، مع كون المحرق (٠,١ ملم/ ٠,٣ملم) هو ثنائي البقعة المحرقية الأكثر شيوعاً. تكمن عيوب استخدام حجم بقعة محرقية صغير مع ذلك في أن المعدلات الحرارية الكلية للأنبوب ومعدلات التعريض لزمن قصير منخفضة بشكل كبير.

إن نوع **الغلاف الخارجي (البيت) لأنبوب الأشعة السينية *(x-ray tube housing)*** اعتبار هام آخر في اختيار أنبوب ما. تحدد معدلات تسخين وتبريد الغلاف الخارجي للأنبوب بشكل مباشر نوع وحجم الغلاف الخارجي. توضح هذه المعدلات (التي تُعطى عادة في شكل رسوم بيانية) التراكم الحراري الأقصى المسموح به في وحدة الزمن

لغلاف خارجي معين. يستطيع المهندس من الرسوم البيانية (المتضمَّنة مع معلومات معدلات الأنبوب) تحديد مدى سرعة تبديد الغلاف الخارجي للحرارة. إن سعات التخزين الحراري النموذجية للأغلفة الخارجية لأنابيب الأشعة السينية المستخدمة في التصوير الشعاعي العام تقدر بما يزيد على مليون وحدة حرارية!

لا تعتمد معدلات التسخين/ التبريد على حجم الغلاف الخارجي فقط، وإنما أيضاً على طريقة التبريد المستخدمة. يمكن لأنابيب الأشعة السينية أن تكون: **مبردة بالهواء** (مع أو من دون مروحة خارجية)، **ومبردة بالزيت**، وحتى **مبردة بالماء**. إن الأنابيب المبردة بالهواء هي الأكثر شيوعاً في الاستخدام لتطبيقات التصوير الشعاعي العام. يتم تجهيز العديد من الأنابيب المبردة بالهواء بمدوِّر هواء (أي مروحة صندوقية) تزيد إلى حد كبير من المعدل الحراري للغلاف الخارجي للأنبوب. إن للأنابيب المبردة بالزيت والماء سعات حرارية أكبر، وبالتالي فإنها تُستخدم لتطبيقات خاصة ذات تقنية عالية. يتم تدوير الزيت (أو الماء) في الغلاف الخارجي عن طريق مضخة وإرساله إلى مبادل حراري بعيد حيث يتم تبريده ومن ثم إرساله إلى الأنبوب عبر خراطيم خاصة.

هناك أمر آخر ينبغي أخذه في الاعتبار عند اختيار نوع الغلاف الخارجي للأنبوب لاستخدامه في تركيب أشعة سينية معين وهو يتعلق **بالزاوية القرنية *(horn angle)***. تصف الزاوية القرنية للبيت العلاقة بين منفذ الأنبوب ومقابس الجهد العالي للأنبوب، أو "القرون". يتم قياس الزاوية القرنية لأنبوب معين بالدرجات (الراديان). على سبيل المثال، إن غلافاً خارجياً بزاوية قرنية قدرها صفر درجة سيكون لديه مقابس الجهد العالي ومنفذ الأنبوب كلاهما يتواجهان في نفس الاتجاه؛ أما في حال زاوية قرنية قدرها ١٨٠ درجة فستشير مقابس الجهد العالي إلى الاتجاه المعاكس تماماً لمنفذ الأنبوب. يجب أن تكون الزاوية القرنية صحيحة للتركيب الخاص للأنبوب الذي سيتم استخدامه بحيث يكون المصعد موجهاً بشكل صحيح، وأيضا بحيث يمكن سحب الكابلات بشكل ملائم. ومن أجل السهولة، فقد تم ذكر تسميات الزوايا القرنية المعيارية (القياسية) في الملحق ج (Appendix C).

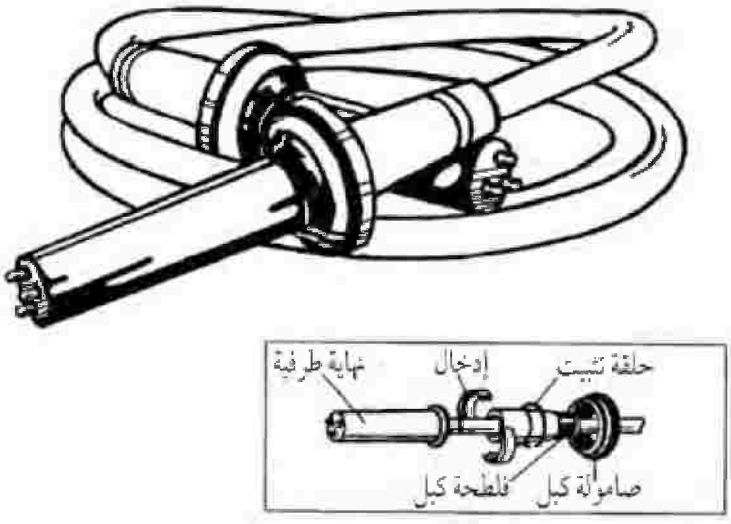
الاعتبار النهائي فيما يخص نوع الغلاف الخارجي للأنبوب يتعلق بكيفية تثبيت أنبوب الأشعة السينية إلى جهاز دعم الأنبوب. يمكن تركيب أنبوب الأشعة السينية مباشرة على داعم (حامل) الأنبوب عن طريق أربعة مسامير (براغي) (bolts). يتم إدخال هذه المسامير (البراغي) عبر لوح تثبيت الأنبوب في داعم (حامل) الأنبوب ومن ثم مباشرة في الغلاف الخارجي للأنبوب.

هناك طريقة أخرى لتركيب أنبوب أشعة سينية باستخدام **تثبيت ترنيون *(trunion mount)***. لا يتم في هذا النوع لتثبيت الأنبوب إدخال البراغي مباشرة في الغلاف الخارجي لأنبوب الأشعة السينية. بدلاً من ذلك تلتف **حلقات ترنيون *(trunion rings)*** حول الغلاف الخارجي للأنبوب وتثبت الأنبوب في مكانه. إن لمعظم تثبيتات حلقات ترنيون

مقابض لضبط الشد (tension adjustment knob) يمكن حلها بحيث يستطيع الفني تدوير الأنبوب من أجل مشاهد تصوير شعاعي خاصة.

كابلات الجهد العالي
The High Voltage Cables

يتم توصيل وحدة محول الجهد العالي إلى أنبوب الأشعة السينية عن طريق كابلات الجهد العالي التي تُسمى أحياناً كابلات التوتر العالي. يتم إنهاء نهايات كبل الجهد العالي بنوع من الموصلات يسمى **الموصِّل الرئيسي (الاتحادي)** ***(federal connector)*** وإدخالها مباشرة في المحول وأنبوب الأشعة السينية (الشكل رقم ١٣). يتم تغليف نهايات الكبل بمادة عازلة كهربائياً مُشتقة من النفط عند النهاية الطرفية لأنبوب الأشعة السينية، أو يتم إضافة زيت عازل خاص إلى آبار محول الجهد العالي لمنع الأقواس الكهربائية.



الشكل رقم (١٣). كبل جهد عالٍ بموصل رئيسي (اتحادي).

هناك مكوّنان هامان للموصل الاتحادي هما: **حلقة إحكام انضغاط التأريض ومانع التسرب المطاطي.** يجب استخدام حلقة إحكام التأريض في مقابس أنبوب الأشعة السينية والمحول لضمان تأريض كابلات الجهد العالي بشكل آمن. أما مانعات التسرب المطاطية فهي ضرورية لتوفير التباعد الصحيح في مقبس الجهد العالي ولمنع دخول الرطوبة.

تضيف كابلات الجهد العالي مقداراً معيناً من السعة (capacitance) إلى دارة الجهد العالي بسبب بنية هذه الكابلات. ويتحدد مقدار السعة من خلال بنية الكابلات و طول الكابلات أيضاً. إن لزيادة السعة أثراً ترشيحيًّا على شكل موجة الجهد العالي ، ويجب لذلك أخذها في الحسبان أثناء المعايرة.