٩٦

تحديد (وإزالة) الأعطال في الأجهزة الطبية

Medical Device Troubleshooting

Joseph F. Dyro
President, Biomedical Resource Group
Setauket, NY
Robert L. Morris
Oregon Health & Science University
Portland, OR

إن الهدف من تحديد (وإزالة) الأعطال هو إصلاح أو تصحيح خطأ في نظام جهاز ما. ويقدم هذا الفصل مقدمة جيدة لتحديد منطقي لأعطال الأجهزة الطبية، وأنظمة التكنولوجيا الطبية، والأجهزة العلمية والتحليلية. إن المواد المُقدَّمة في هذا الفصل مرتكزة على النظرية العامة لتحديد الأعطال، مع التركيز على التقنيات والإستراتيجيات العامة.

الطريقة العامة لتحديد الأعطال

General Approach to Troubleshooting

يقدِّم هذا القسم لمحة عامة لعملية تحديد منطقي للأعطال، بينما تخوض الأقسام الأخرى في هذا الموضوع بمزيد من التفصيل.

طريقة الأنظمة Systems Approach

يتكون نظام جهاز ما من ثلاثة عناصر رئيسية هي: المُشَغِّل، والبيئة، والجهاز. يمكن أن يكون الفشل في نظام الجهاز أو سوء أدائه نتيجة لصعوبات في أي واحد من المكونات الثلاثة للنظام.

المُشَغِّل: عادة ما يتخذ المُستخدِم النهائي القرار الأولي بأن الفشل أو العطل الذي قد سبب المشاكل يمكن أن يكون نتيجة لعوامل مثل التشغيل غير الصحيح أو غير المناسب، أو إعداد عناصر التحكم بشكل غير صحيح.

البيئة: إن البيئة الإجمالية المحيطة بالجهاز ومشاكل المُشَغِّل يمكن أن تكون متعلقة بعوامل بيئية وغيرها من العوامل مثل درجة الحرارة، أو تيارات الهواء، أو الأوساخ، أو الاهتزاز، أو التغذية الكهربائية غير الصحيحة، أو التداخلات الكهربائية أو الكيميائية، أو دخل يتجاوز المجال الديناميكي، أو الكواشف السيئة، أو الإلكترودات السيئة.

الجهاز: إن الجهاز هو من يقوم بمهمة مثل القياس أو التحكم. تقع إخفاقات الجهاز في فئتين عامتين: (١) غير كهربائية (على سبيل المثال، الوصلات المفكوكة أو المكسورة، أو الأوساخ، أو التآكل، أو الاستهلاك الميكانيكي، وهذه هي المصادر الأكثر احتمالا لإخفاقات الجهاز)؛ و(٢) الإلكترونية (فشل عنصر أو دارة). وبصفة عامة، فإن الجزء الإلكتروني للجهاز هو الجزء الأكثر وثوقية.

إن المشكلة الأولى لتحديد الأعطال هي تحديد ما إذا كان العطل في التشغيل أو البيئة أو مكونات الجهاز لنظام الجهاز. والغرض من منهجية تحديد الأعطال هو جمع المعلومات عن ضعف الأداء أو فشل نظام الجهاز بطريقة منطقية ومنهجية. وتشمل الأسئلة التي ينبغي طرحها ما يلي:

- كيف يتصرف النظام عادة؟
- ما هي ظروف الفشل؟
- ما هي الأعراض الناجمة عن الفشل؟
- ما هو سبب الفشل؟

خطوات تحديد الأعطال Steps in Troubleshooting

- تحديد الأعراض وتحليلها.
  - الاستماع والتفكير والبحث والشم والتشغيل.
  - استخدام جميع مصادر المعلومات المتاحة مثل الكتيبات أو سجلات الصيانة أو الأشخاص الآخرين أو الوكيل أو المُصنِّع.
  - وصف الأعراض بشكل واضح ودقيق ما أمكن. كما أن التصريح بأن الجهاز لا يعمل، على الرغم من أن ذلك قد يكون صحيحاً، ليس تعبيراً واضحاً ومفيداً عن الأعراض.
- تحديد موقع المشكلة بالنسبة إلى وحدة وظيفية.
- حصر المشكلة في دارة.
- تحديد العنصر أو المشكلة الخاصة.
- تحديد سبب الفشل.
- استبدال أو تصحيح العنصر المعطوب أو المشكلة وتصحيح أسباب الفشل.
- التحقق من التشغيل والمعايرة الصحيحة.
- إكمال حفظ السجلات.

يجب المباشرة بطرح الأسئلة وإيجاد الحلول لها. ووضع الأسئلة ببساطة قدر الإمكان. واختيار الأسئلة التي يمكن الإجابة عليها بسهولة والتي من شأنها أن توفر أقصى قدر من المعلومات للمساعدة في العثور على الخطأ.

والإجابة على الأسئلة عن طريق التفكير والمراقبة والاختبار. والرجوع إلى الخبراء أو المُصنِّعين أو الوكلاء. والنظر في الكتيبات أو الكتب أو الكتالوجات أو مصادر البيانات الفنية الأخرى.

يجب إبداء الملاحظات وإجراء الاختبارات انطلاقاً من الأبسط إلى الأكثر تعقيداً. كما يجب التفكير في الفشل ودرجته وأسبابه ومساره الزمني وأشكاله. وبعبارة أخرى، مع الأخذ في الاعتبار المعلومات التي في متناول اليد:

- ما هو الأكثر احتمالاً للفشل؟
- ماذا كان السبب الأكثر احتمالاً للفشل؟
- كيف يمكن تصحيح الخطأ والسبب؟

الاحتفاظ بسجلات. تساعد السجلات الجيدة بشكل مباشر على إبقاء المرء متقدماً في تسلسل منطقي، وتتبُّع ما تم القيام به. تساعد السجلات في المستقبل في توفير مرجع في حال إخفاقات إضافية في نفس الجهاز أو أي جهاز مماثل. ويمكن استخدامها لتوفير تغذية راجعة للمُصنِّعين وعملائهم وتوفير معلومات إدارية للمساعدة في اتخاذ قرارات الإصلاح أو الاستبدال. ويمكن أن تُستخدَم السجلات للكشف عن وجود مشكلة في جهاز معين قد تتطلب تعديل من أجل التصحيح.

الخطوات المنطقية في تحديد الأعطال Logical Steps in Troubleshooting

إن تحديد الأعطال هو بذل الجهد للعثور على العنصر أو العناصر المنفصلة التي فشلت وذلك بدءاً من مستوى النظام والعمل وصولاً إلى العنصر المنفصل. ويتم فيما يلي ذكر إجراء خطوة بخطوة تم تكييفه من Aston (١٩٩٠م). وفي تحديد الأعطال، قد يتبع المرء الخطوات المبينة فيما يلي حتى يتم تحديد المشكلة، ومن ثم ينتقل إلى الخطوة ٢٥.

١- تقييم بيئة التجهيزات من خلال الحواس البشرية (أي العينين والأذنين والأنف واللسان واليدين).
٢- النظر في أخطاء المُشَغِّل.
٣- التقييم على مستوى النظام.
٤- التحقق من التوصيلات.
٥- حصر الجهاز الذي توجد فيه المشكلة.
٦- التحقق من تشغيل الجهاز.
٧- فحص كابلات المريض والتوصيلات والملحقات.
٨- استخدام أجهزة تحديد أعطال التجهيزات.
٩- التحقق من رسائل خطأ التشخيص عندما تكون متوفرة.

١٠- تنفيذ إجراءات الاختبار الذاتي للتجهيزات.

١١- فتح صندوق الجهاز ومعاينة الجهاز من الداخل.

١٢- إجراء تقييم على مستوى الوحدة.

١٣- التحقق من كافة التوصيلات.

١٤- تحليل الأعراض من أجل عزل المشكلة على مستوى اللوحة.

١٥- استخدام مساعدات التشخيص المتخصصة وكتيبات الصيانة وبرامج التشخيص.

١٦- تحليل تاريخ التجهيزات (مثل العمر وانجاز الصيانة الوقائية والإصلاحات السابقة).

١٧- تحليل البيانات لعزل المشكلة.

١٨- التشاور مع الممثل الفني للمُصَنِّع.

١٩- إجراء القياسات عند نقاط الاختبار.

٢٠- تحليل البيانات لعزل المشكلة على مستوى اللوحة.

٢١- أخذ قياسات باستخدام المخطط الصندوقي للجهاز.

٢٢- تحليل البيانات لعزل المشكلة على مستوى اللوحة والمكونات الملحقة.

٢٣- إجراء قياسات باستخدام مخططات الرسوم التوضيحية للوحدة.

٢٤- تحليل البيانات لعزل المشكلة على مستوى العنصر.

٢٥- عندما يتم إيجاد المشكلة وتصحيحها، ينبغي اتخاذ إجراءات للتقليل من تكرارها إلى الحد الأدنى (على سبيل لمثال، التعليم أثناء الخدمة أو استبدال الجهاز أو زيادة الصيانة الوقائية).

خصائص ومهارات القائم بتحديد الأعطال Troubleshooter Characteristics and Skills

الخصائص Characteristics

يتمتع القائم بتحديد الأعطال الجيد بالخصائص التالية:

- الفضول حول الأسباب التي جعلت الأمور على ما هي عليه وحول كيفية عمل الأشياء، كلاً على حدة ومعاً.
- تأسيس شامل في المواد الأساسية، ليس فقط الكهربائية، بل أيضاً الميكانيكية والبصرية والكيميائية.
- فهم جيد للمبادئ العامة ووظائف وخصائص الأجهزة وأنظمة الأجهزة والكمبيوترات.
- معرفة المبدِّلات وخصائصها.
- معرفة المكونات الأساسية التي يتم بناء الجهاز منها مثل:

المقاومات، والمكثفات، والمحولات، والمُحرِّضات، والديودات، والترانزستورات وغيرها من أنصاف النواقل، والدارات المتكاملة التمثيلية والرقمية، والمحركات، والمفاتيح، والأسلاك، والكابلات، والموصلات، ولوحات الدارات، والقبضات، والمثبتات.

- معرفة أنماط فشل الأجهزة والمكونات.
- معرفة قدراته الذاتية (على سبيل المثال، متى يتوقف عن طلب المساعدة ومتى يطلبها).
- البراعة اليدوية الجيدة.
- طريقة منهجية ومنطقية تجاه المشاكل، ولحل المشاكل.
- القدرة على العمل بشكل جيد مع الناس.

المهارات Skills

يتطلب تحديد الأعطال قاعدة معارف واسعة بما فيها الإلكترونيات والفيزياء والكيمياء والبصريات والميكانيك ونظرية القياس وتشغيل التجهيزات. ويتطلب تحديد الأعطال المهارات العملية التالية:

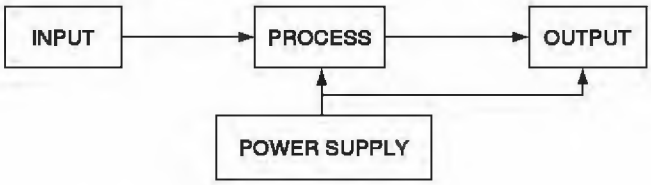
- المراقبة الدقيقة: معرفة ما الذي يجب البحث عنه، ومتى يُبحث عنه وأين يُبحث عنه.
- الاستخدام الفعال لكتيبات خدمة الجهاز، وغيرها من مصادر البيانات الفنية.
- الاستخدام السليم للأدوات اليدوية والآلات الصغيرة- باستخدام الأداة أو الجهاز المناسب للقيام بالمهمة التي هي في متناول اليد، واستخدامها بشكل آمن وصحيح.
- تقنيات اللِحام الجيدة: باستخدام كاوي (أداة لِحام بالتسخين) جيد ونظيف واتباع ممارسة سليمة لمنع إلحاق الضرر بالمكونات الحساسة ولوحات الدارات والعزل.
- المعرفة بتجميع الجهاز وتفكيكه وطرق نزع مكوناته: بالبدء بحذر وبعناية بتدوين ترتيب الأشياء لمنع حدوث صعوبات إضافية والسماح بإعادة تجميع مناسبة.
- الوعي والممارسات الجيدة للسلامة: ليس فقط بالنسبة للقائم بتحديد الأعطال ولكن أيضاً لملاحظة وتغيير تلك الأشياء التي يمكن أن تشكِّل خطراً على المُشَغِّل أو مُستخدِم الجهاز.

الوصف العام للأجهزة

General Description of Instruments

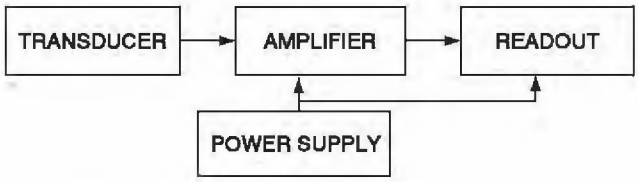
يقدِّم هذا القسم طريقة عامة لوصف الأجهزة من خلال استخدام المخططات الصندوقية الوظيفية وتأكيد قيمتها في تحديد أعطال الأجهزة وفهمها.

يبين الشكل رقم (٩٦,١) مخططاً صندوقياً وظيفياً كنموذج لأي جهاز.



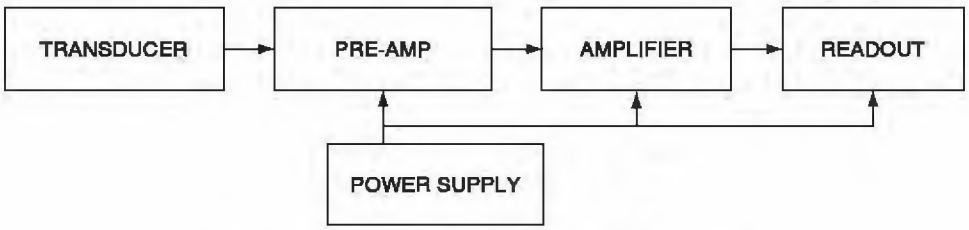
الشكل رقم (٩٦,١). المخطط الصندوقي الوظيفي لجهاز عام.

يمكن للمخطط الصندوقي الوظيفي أن يكون أكثر تفصيلاً ومخصصاً لجهاز محدد، كما هو مبين في الشكل رقم (٩٦,٢).

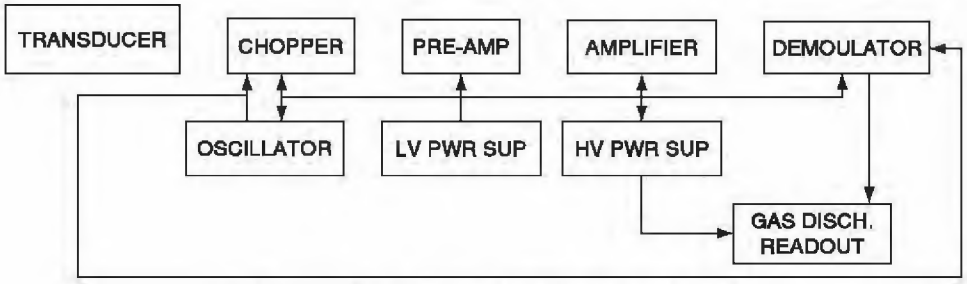


الشكل رقم (٩٦,٢). المخطط الصندوقي الوظيفي الموَسّع.

يبيّن الشكل رقم (٩٦,٣) توَسُّعاً إضافياً للمخطط الصندوقي الوظيفي. يمكن تكرار هذه العملية لتوسيع المخطط الصندوقي الوظيفي للحصول على زيادة في التفصيل والمساعدات في فهم تشغيل الجهاز ومناطق المشاكل المحتملة. يبين الشكل رقم (٩٦,٤) مخططاً خاصاً بجهاز مع مزيد من التفاصيل.



الشكل رقم (٩٦,٣). توَسُّع إضافي بالمخطط الصندوقي الوظيفي.



الشكل رقم (٩٦,٤). المخطط الصندوقي الوظيفي الخاص بجهاز.

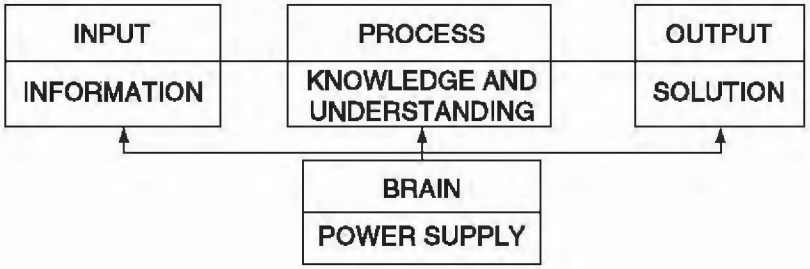
يمكن تقسيم صندوق وحيد في مخطط صندوقي وظيفي (على سبيل المثال، وحدة التغذية بالطاقة (انظر الشكل رقم ٩٦,٣) إلى مخطط صندوقي وظيفي خاص به. ويمكن تصوّر وحدة التغذية بالطاقة على سبيل المثال في الشكل رقم (٩٦,٥).

لا يوجد لكثير من الأجهزة مخططات رسوم توضيحية كاملة. ويوجد فقط مخططات صندوقية وظيفية، ومخططات توصيل بينية، ومخططات جزئية. وينطبق هذا على أي جهاز تقريباً يحتوي على دارات متكاملة. ويتم بالنسبة للأجهزة الرقمية تجهيز مخطط منطقي. والمخطط المنطقي ما هو إلاّ مجرد مخطط صندوقي وظيفي مُفَصَّل.

الشكل رقم (٩٦,٥). المخطط الصندوقي الوظيفي لوحدة التغذية بالطاقة.

إذا فهم المرء جهازاً واحداً، فإنه يعرف شيئاً عن كل جهاز. وإذا فهم نوع واحد من الأجهزة، مثل مقياس الطيف الضوئي، فإنه يعرف وظيفياً عن كل جهاز يستخدم أو يقيس الضوء. وإذا فهم وحدات وظيفية، مثل وحدات التغذية بالطاقة ومكبرات الصوت، فإنه يعرف شيئاً عن كل جهاز يتضمن هذه الوحدات. إذا فهم المكونات والمقاومات والمكثفات وأنصاف النواقل، فإنه يعرف شيئاً عن كل جهاز يحتوي على هذه المكونات.

إن المعلومات في المخطط الصندوقي الوظيفي لتحديد الأعطال هي الدخل؛ والمعرفة والفهم هي العملية؛ والحل هو الخرج، والدماغ هو التغذية بالطاقة، كما هو مبين في الشكل رقم (٩٦,٦). وكما هي الحال مع الأجهزة، فعندما لا تعمل التغذية بالطاقة، فإن لا شيء يعمل بشكل جيد. إن لدى الأجهزة والمكونات أوجه شبه أكثر من الاختلافات. يمكن تطبيق المعرفة المكتسبة من خلال دراسة جهاز واحد أو عنصر على جميع الأدوات والأجهزة.



الشكل رقم (٩٦,٦). المخطط الصندوقي الوظيفي لنظام تحديد أعطال.

الأعراض والتحليل
Symptoms and Analysis

يقدم هذا القسم معلومات مُفَصَّلة عن أول وأهم جزء من عملية تحديد الأعطال: تحديد الأعراض وتحليلها. يتم تكرار تحديد الأعراض وتحليلها باستمرار طوال عملية تحديد الأعطال. ففي كل خطوة، يتم تكرار ما يلي مراراً وتكراراً: تحديد الموقع بالنسبة إلى وحدة وظيفية، والحصر بدارة، وتحديد مكان العنصر المعطوب، وإعادة تحديد الأعراض وتحليلها من خلال عملية الاستماع والنظر والشم والتشغيل والاختبار. إن التفكير وطرح الأسئلة لتوجيه عملية التفكير ضروريين.

عملية التفكير Thought Process

يساعد استخدام الأسئلة التالية في توجيه عملية التفكير عندما يسعى القائم بتحديد الأعطال إلى تحديد ومعرفة المزيد عن أعراض المشكلة.

- ما هي الأعراض المعروفة؟
- هل يمكن التحقق من الأعراض؟
- هل ظهرت الأعراض تدريجياً أو فجأة؟
- هل الأعراض موجودة دائماً ؟
- هل الأعراض موجودة فقط في ظل ظروف معينة (مثلاً، بعد الإحماء، أو مع إعدادات تحكم معينة)
- هل الأعراض موجودة فقط بشكل متقطع وبطريقة لا يمكن التنبؤ بها؟ وهذه هي الحالة الأكثر صعوبة وربما تتطلب تطبيق دقيق لإجهاد حراري أو كهربائي أو اهتزازي أو أي إجهاد آخر لتحديد ظروف الفشل ولإعادة إنتاج الفشل. إن حفظ سجلات ظروف الفشل مهم جداً. إن التداخل مع جهاز أو نظام آخر غالباً ما يظهر كمشكلة متقطعة توجد فقط عندما يعمل نظام توليد التداخل.
- هل هناك أية أعراض أخرى؟
- ما هو السلوك العادي أو المتوقع للجهاز؟
- كيف يختلف السلوك الفعلي عن العادي؟
- هل يمكن إعادة تحديد الأعراض مجدداً بطريقة مختلفة من شأنها أن تكون أكثر دقة ويمكنها توفير المزيد من المعلومات؟
- ما هي الفحوصات أو الاختبارات الأسهل التي يمكن إجراؤها للتحقق من الأعراض؟

عند الاستفسار عن طبيعة المشكلة، فإنه ينبغي على المرء صياغة وتشكيل أسئلة سهلة الإجابة وتتطلب فقط إجابات بنعم أولا. وينبغي أن تكون الأسئلة مصممة بحيث يستطيع جواب ما إلغاء أجزاء كبيرة من النظام من الأخذ في الاعتبار لاحقاً كمصدر محتمل للمشكلة. تتضمن الأمثلة على هذه الأنواع من الأسئلة ما يلي:

- هل عَمِلَ الجهاز على الإطلاق بشكل صحيح في ظل الظروف التي يُعزى إليها الفشل؟
- هل الجهاز موضوع في المأخذ الكهربائي؟
- هل تم تشغيله؟
- هل الفيوز (المنصهرة) بحالة جيدة؟
- هل هناك خرج؟ هل هو طبيعي؟
- هل هناك دخل؟
- هل تشير الأعراض إلى وجود خلل محتمل في التغذية بالطاقة أو وحدة وظيفية أخرى؟

يجب أن يكون المرء مرناً بالأسئلة. وإذا لم يكن من الممكن أو من الصعب الإجابة عن سؤال، فيجب إعادة صياغته أو الانتقال إلى سؤال مختلف. يجب على المرء استخدام جميع مصادر المعلومات المتاحة عند تحليل الأعراض وعند طرح الأسئلة والإجابة عليها. قد تكون الأسئلة وإجاباتها مؤقتة أو غير نهائية وخاضعة للتغيير. أنها ليست سوى مساعدات لاكتساب المعلومات بحيث يمكن حل مشكلة. فهي ليست المشكلة الحقيقية. إن الاتجاه في تحديد الأعطال هو دائماً من العام إلى الخاص ومن النظام إلى الجهاز إلى الوظيفة إلى العنصر. والاتجاه في الاختبار هو من الأبسط إلى الأكثر تعقيداً.

البحث عن الأدلة Looking for Clues

تشغيل عناصر التحكم Operate the Controls

- تذكر تسجيل الإعدادات الأصلية للتحكمات. يمكن أن تكون المشكلة ناتجة عن ضبط الوضعية غير الصحيحة للتشغيل المناسب.
- هل جميع أضواء المؤشرات (على سبيل المثال، إنذارات التنبيه) تعمل بشكل صحيح؟
- هل تتصرف التحكمات بشكل طبيعي؟ مراقبة أداء الجهاز وجميع قراءة الخرج والمؤشرات.
- هل تبدو التحكمات مناسبة؟
- هل للتحكمات تأثير مناسب على تشغيل الجهاز؟

الاستماع والنظر والشم والشعور Listen, Look, Smell, and Feel

تشكّل الأحاسيس والدماغ التجربة ونظام التحليل الأفضل والأكثر مرونة في العالم. ينبغي الاستماع إلى المُشَغِّل أو المُستخدِم وإلى الجهاز فيما يتعلق بالأصوات الطبيعية وغير الطبيعية، مثل:

- المعلومات فيما يتعلق بظروف وأعراض الفشل من المُشَغِّل.
- الخشخشات والصرير والطنين. يمكن أن تشير هذه إلى استهلاك أو عدم تزييت أو حركة.

- الأزيز أو الطنين. يمكن أن يشير كل منها إلى دارة قصر، وتقوّس، وهالة جهد عالٍ، وتحميل زائد للمحولات.
- الضجيج أو الصمت المفرط. يمكن أن يشير كل منها إلى جزء مكسور أو معطوب مثل مروحة التبريد.

ابحث عما يلي:

- الضرر والاستهلاك المادي. (يبين الشكل رقم ٩٦.٧) زر محني على اللوحة الأمامية لحاضنة رضيع).

الشكل رقم (٩٦,٧). اللوحة الأمامية لحاضنة رضيع تبين زراً محنياً.

- توصيلات أو وصلات مفكوكة أو غير مناسبة أو غير صحيحة أو غير متوافقة. ويبين الشكل رقم (٩٦,٨) موصّلين على كبل مبدِّل ضغط، وكلاهما له أرجل (pins) محنية. كشف التحقيق أن المُشَغِّل كان يحاول توصيل الكبل إلى المأخذ غير الصحيح على جهاز مراقبة ضغط الدم.
- الأوساخ أو الغبار أو الوبر أو التآكل أو التسريبات أو الطفيليات. (يبين الشكل رقم ٩٦.٩) تراكم الوبر حول عناصر التحكم في درجة الحرارة في حاضنة رضيع). كما يمكن رؤية علامات تلطيخ للسوائل. يظهر الشكل رقم (٩٦.١٠) لوحة دارة الكترونية مطبوعة تعج بالنمل الأحمر. كان النمل على ما يبدو مجذوباً بواسطة الروائح المغرية المنبعثة من اللوحة في جهة مثبتات ترانزستور الطاقة.
- العزل أو المكونات أو لوحات الدارات أو الشاسيه المحترقة أو المتفحمة أو المتغير لونها. يبين الشكل رقم (٩٦.١١) ثقب وعلامات حرق كهربائي ناتجة عن التيار الكهربائي لكبل الطاقة المار من خلال الشاسيه لوحدة التحكم بتعديل الارتفاع للعوارض المتوازية. ولم يكن الكبل محمياً بشكل كاف بحلقة مثبّتة ومخفّف إجهاد.
- العلاقات الفيزيائية– تُستخدَم هذه لبناء الصورة الذهنية للعلاقات الوظيفية.

- التشغيل الميكانيكي السليم، أي ليس هناك تثبيتاً أو رجاً.
- طرق لتفكيك الجهاز أو الوحدة.

Tues, Sept 9, 2003

The 3 cables picture here were picked up by clinical engineering staff from Neurology today. Staff should be reminded that if a connector doesn't seem to fit properly, it should not be forced ... and when one cable doesn't fit, forcing a second or third cable is not a proper response (It also can delay and possibly prevent access to diagnostic data on the patient). Please seek help from other knowledgeable staff or contact clinical engineering for assistance.

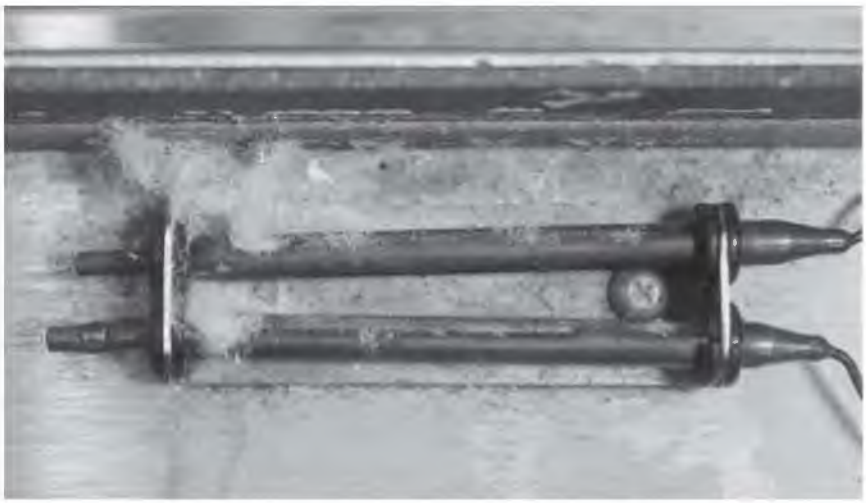
The replacement cost of these cables is $ ____ and this kind of damage cannot be reliably repaired.

الثلاثاء ٢٩ أيلول (سبتمبر) ٢٠٠٣م

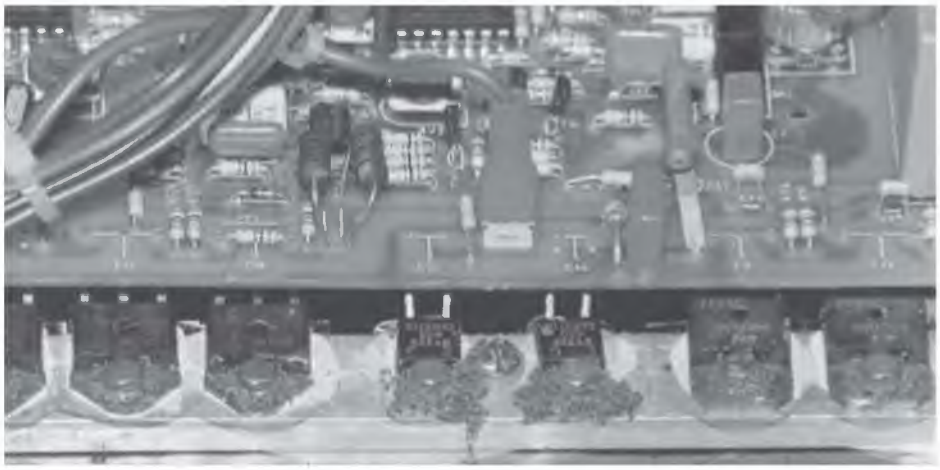
تم نزع الكابلات في الصور الثلاثة من قبل كادر الهندسة الإكلينيكية في قسم العصبية اليوم. ينبغي تذكير الكادر بأنه إذا كان الموصِّل غير مناسب فإنه ينبغي عدم توصيله بالقوة. ... و عندما لا يكون أحد الكبلات مناسباً فإن توصيل ثانٍ و ثالثٍ بالقوة هي استجابة غير صحيحة (وقد يؤخر هذا أيضاً أو يمنع الدخول إلى بيانات التشخيص للمريض) فالرجاء البحث عن مساعدة من الكوادر الأخرى ذات المعرفة أو الاتصال بالهندسة الإكلينيكية للمساعدة.

إن تكلفة استبدال مثل هذه الكابلات هي ..... دولار وهذا النوع من الضرر لا يمكن إصلاحه بوثوقية

الشكل رقم (٩٦,٨). أرجل (pins) محنية في الموصِّل ناتجة عن خطأ المستخدم.



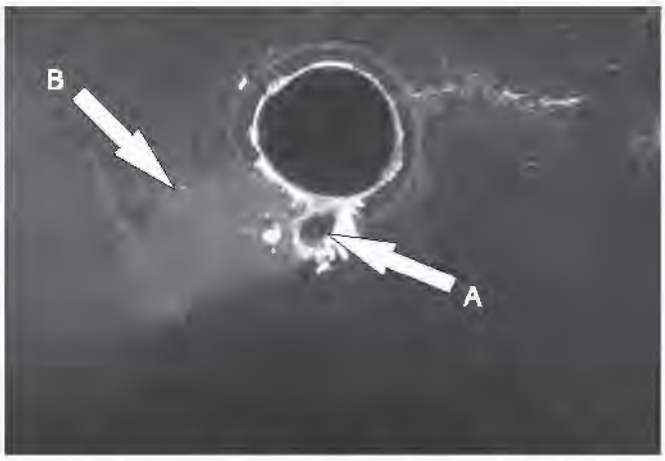
الشكل رقم (٩٦,٩). تجمُّع الوبر والسوائل على وحدة التحكم في درجة الحرارة لحاضنة رضيع.



الشكل رقم (٩٦,١٠). تجمع النمل على لوحة دارة مطبوعة.

قم بِشم ما يلي:

- المحولات ذات درجة الحرارة المرتفعة. يمكن أن يشير هذا إلى وجود خلل في المحولات أو قصر خارجي أو حمل زائد أو فشل التبريد.
- المقاومات المحروقة أو المقاومات التي لا يمكن قراءة رمز اللون عليها. وهذا يمكن أن يكون ناجم عن القيمة المنخفضة بسبب تأثيرات العمر، أو فشل مكوِّن آخر أو وظيفة، أو فشل التبريد.
- العزل المحترق أو المتفحم. وهذا يمكن أن يكون ناجماً عن دارة قصر، أو زيادة في تدفق التيار، أو عنصر قريب سخن إلى درجة عالية.



الشكل رقم (٩٦,١١). حروق على الشاسيه نتجت عن قصر في كبل الطاقة.

تحسس ما يلي:

- البقع الساخنة. يجب الحذر من الحرق أو الصدمة.
- الحواف الخشنة أو البقع المستهلَكة. يمكن أن تشير هذه إلى أشياء مثل استهلاك ميكانيكي، أو محاذاة أو تجميع غير صحيحين، أو أجزاء مكسورة.
- التشغيل السلس. إن عدداً قليلاً من الأجهزة مصمَّم للعمل بطريقة فيها ارتجاج أو غير نظامية.

يجب عدم النظر بالمخططات التوضيحية أو البدء في أخذ القياسات حتى يتم إجراء العملية السابقة بأكملها. يمكن حل معظم (٨٠٪ تقريباً) مشاكل نظام الجهاز باستخدام الفهم العام والخاص للأجهزة والأنظمة والمعرفة التي يمكن اكتسابها من خلال الاستخدام الدقيق لحواس البصر والسمع والشم واللمس.

الشريط الأبيض كدليل إضافي More Clues-White Tape

لقد تم استخدام الشريط الأبيض (الشريط الطبي اللاصق) بشكل صحيح لسنوات عديدة لتثبيت القثاطر في موقعها أو لربط الضمادات. يُستخدم الشريط الأبيض في بعض الأحيان بشكل غير مناسب لإجراء إصلاح مؤقت في جهاز طبي. إن مراقبة الشريط الأبيض، أو مجرد بقايا الشريط الذي تم تطبيقه سابقاً، هو دليل في تحديد الأعطال حيث إنه يكشف عن ذلك الموقع وطبيعة المشكلة.

حقق Shepherd وDyro (١٩٨٢م) في استخدامات الشريط الأبيض. ففي أحد الأمثلة، غطى الشريط الأبيض مأخذ ثرمستور يُستخدَم في جهاز تدفئة مُشِعّ. حددت المناقشات مع الممرضة بأن المأخذ كان مفكوك من دون الشريط وأن تدفئة الطفل حديث الولادة كانت متقطعة. فقد أجرت الممرضة إصلاح مؤقت سمح للجهاز بمواصلة عمله. وفي حالة أخرى، غطى شريط أبيض قابس تحكم بسرير في مكان إدخاله في السرير. كان الغرض من الشريط هو منع المأخذ من السقوط من وصلته المقترن به. وفي مناسبة أخرى، تم ملاحظة عدة طبقات من شريط أبيض حيث تم لفها

حول مُرسِل تخطيط كهربية القلب (ECG). حددت المناقشة مع الممرضة أن المُرسِل قد سقط في منتصف الليل وتحطم الغلاف. لقد لفت الممرضة الشريط الأبيض حول الغلاف، وقد بدأ المُرسِل بالعمل من جديد، وعاد إلى الخدمة. وفي حالة أخرى، لوحظ الشريط الأبيض في الجزء الخلفي لجهاز يحمل فيوزاً في موقع تركيب فيوز الجهاز. لقد كان غطاء الفيوز مفقوداً أو مكسوراً، ولكن الشريط سمح باستمرار عمل الجهاز.

ينبغي ألا يكون تحديد الأعطال محدوداً بطاولة المختبر وفحص فقط تلك الأجهزة التي تم الإبلاغ عنها بأنها فشلت ووصلت إلى قسم الهندسة الإكلينيكية للإصلاح. يجب على المهندس الإكلينيكي وفني الهندسة الطبية الحيوية أن يكونا متيقظين في جميع أنحاء المستشفى. إن وجود موصِّل معطوب في كابل الـ ECG، أو كسر واجهة مقياس في وحدة الجراحة الكهربائية، أو شريط أبيض على مزلاج سرير جهاز تدفئة مُشِعّ هي دلائل على أن المشاكل الأساسية موجودة بالأجهزة التي قد تظهر في نهاية المطاف على حساب المريض حتى ولو بدا الجهاز أنه يعمل بصورة مُرْضِيَة.

وجد Shepherd و Dyro (١٩٨٢م) أيضاً شريط أبيض تم استخدامه لخفض الإنذارات عالية الصوت والمُثارة. ففي إحدى الحالات كان الشريط موضوعاً فوق جزء الخرج السمعي لجهاز تدفئة طفل حديث الولادة لخفض مستوى الصوت. وفي الحالة الثانية، كان الشريط موضوعاً فوق زر إعادة الضبط (reset) الذي كان يُستخدَم عادة لإسكات إنذار جهاز تدفئة مُشِعّ بشكل مؤقت. شَغَّل الشريط الزر "in" بحيث لم يعد بالإمكان أن يحدث إنذار. فقد كانت دارات الإنذار، في الواقع، في وضع إعادة ضبط بشكل دائم. وقد أصيب الطفل حديث الولادة بحروق شديدة من قبل جهاز التدفئة بينما كان الشريط في الاستخدام. لقد دفعت هذه الاستخدامات وغيرها Kermit (١٩٩٣م) إلى المطالبة بقيود مشددة على الشريط الأبيض.

تحديد الموقع والعزل والمكان
Localization, Isolation, and Location

يواصل هذا القسم عملية تحديد الأعطال لتحديد موقع العطل وعزله (حصره) وتحديد مكانه. وسوف يتم اتباع التقنيات العامة في المقطع آنفاً بالنسبة للأعراض والتحليل. إن التسلسل العام الواجب اتباعه هو تحديد الموقع بالنسبة إلى وحدة عمل، والعزل بالنسبة إلى دارة (الحصر بدارة)، وتحديد مكان العنصر المعطوب.

- "وحدة العمل" هي جزء من جهاز تؤدي بعض الوظائف الرئيسية. عادة ما تقابل هذه الوحدة صندوق في المخطط الصندوقي الوظيفي للجهاز. ومن الأمثلة على ذلك وحدات التغذية بالطاقة، والمضخمات، والمذبذبات (الهزازات)، والمضخمات الأولية.
- "الدارة" هي جزء من جهاز تؤدي وظيفة ثانوية إلكترونية. إنها جزء من وحدة العمل. وتشمل الأمثلة مرحلة دخل المضخم، ومرشح وحدة التغذية بالطاقة، ومنظم وحدة التغذية بالطاقة، وقيادات خرج المضخم.

- يضبط "العنصر" دارة أو تيار أو جهد. وتشكّل مجموعة العناصر المتصلة مع بعضها البعض دارة. وتشمل الأمثلة عن العناصر كل من المفاتيح والمقاومات والمكثفات والمحولات والترانزستورات والدارات المتكاملة والمصابيح.
- تُستخدَم العناصر لصنع الدارات. وتشكّل الدارات وحدة العمل. وتشكّل وحدات العمل الجهاز أو الأداة. يمكن أن تكون الأجهزة مرتبطة معاً لتشكّل نظاماً.

يجب على المرء دائماً القيام بأسهل الأمور أولاً. ويجب الأخذ في الاعتبار ما هو الأكثر احتمالاً أن يكون المشكلة، والتحقق من ذلك أولاً. إذا كانت المشكلة لا تكمن في ما اعتقده المرء انه كان المشكلة، فيجب عليه التوقف والتفكير قبل المضي قدماً. كما يجب على المرء أن يكون دائماً منتظماً، ويسجل نتائجه وبذلك يعرف ما قد تم التحقق منه وما هو معروف لتعمل بشكل صحيح.

تحديد الموقع (الحصر) بالنسبة إلى وظيفة Localization to a Function

إن معرفة ما هي الوظائف ضروري قبل أن يمكن تحديد موقع العطل بالنسبة إلى وظيفة. يجب على المرء أن يكون قادراً على رسم المخطط الصندوقي. وإذا كان القليل معروف عن الجهاز، فسوف يكون المخطط الصندوقي بسيط جداً. وكلما عُرِفَ المزيد عن الجهاز، أمكن إنشاء مخطط صندوقي أكثر شمولاً وتفصيلاً. إذا لم يتم إيجاد المشكلة بعد اتباع خطوات الأعراض والتحليل المذكورة آنفاً، يجب عندئذ تنفيذ ما يلي:

- اتخاذ قرار فيما يتعلق بالسبب الأكثر احتمالاً وذلك استناداً إلى الأعراض.
- تحديد ما يجب اختباره أو قياسه وكيفية ذلك للتحقق من القرار.
- المباشرة بطريقة منهجية منطقية بحيث يمكن معرفة ما تم القيام به وما هي أجزاء الجهاز التي وجد أنها تعمل بشكل صحيح.
- تكرار العملية المذكورة آنفاً حتى يتم تحديد موقع المشكلة، ومن ثم تصحيحها.

الاستراتيجيات العامة للاختبار والقياس General Strategies of Testing and Measuring

إن جميع الأمور الأخرى متساوية. وعادة ما يكون التحقق أولاً من جهود التغذية بالطاقة فكرة جيدة.

الاستبدال: غالباً ما يكون الاستبدال أسرع وسيلة لإيجاد وحدة عمل مُعطّلة، ولكن من أجل أن تكون فعالة، فإنه يجب أخذ عدة عوامل في الاعتبار منها:

- التفكير قبل الاستبدال. قد يكون العطل الفعلي من النوع الذي سوف يسبب الفشل في البديل. على سبيل المثال، إذا فشل منظم الـ ٥ فولت وكانت تغذية الـ ٥ فولت في الواقع ٨,٥ فولت، فإن استبدال اللوحات المنطقية أو الدارات المتكاملة من النوع TTL لن يؤدي إلاّ إلى تلف البدائل بدلاً من حصر العطل. إن التحقق من التغذية بالطاقة قبل الاستبدال فكرة جيدة.

- إنها بشكل عام ليست فكرة جيدة لاستبدال وحدات وظيفية عالية الطاقة والتيار و/أو الجهد بطاقة عالية، لأن ذلك قد يؤدي إلى ضرر وحدة التغذية بالطاقة وربما البديل.
- يجب التأكد من أن البديل يعمل. فليس من المفيد استبدال إحدى الوحدات المعطوبة بأخرى مثلها.
- عند استبدال لوحات الدارات، فقد يكون هناك جسور (jumpers)، أو مفاتيح أو عناصر تحكم على اللوحة يجب ضبطها بشكل صحيح قبل أن يعمل البديل بشكل صحيح. إن أحد الأمثلة على ذلك هو لوحة الذاكرة في الكمبيوتر التي غالبا ما تضم مفاتيح وجسور يجب ضبطها لإعطاء العنوان الصحيح إلى وحدة المعالجة المركزية (CPU).
- قد يتسبب استبدال عنصر يعمل بعنصر آخر معطوب ببساطة بفشل مزيد من المكونات إذا لم يتم أخذ سبب الفشل الأصلي في الاعتبار وتصحيحه.

طريقة من الدخل إلى الخرج: تتضمن هذه الطريقة قياس أو اختبار الدخل بالنسبة إلى وحدة وظيفية. إذا كان القياس مرضٍ، فيجب النظر بعدئذ في خرج الوحدة. وإذا كان الخرج مرضٍ، فيجب عندئذ أن تكون الوحدة تحت الاختبار جيدة. ويجب الانتقال إلى الوحدة التالية.

طريقة من الخرج إلى الدخل: هذا الطريقة هي نفس الطريقة المذكورة آنفاً، إلاّ أن الخرج هو أول ما يتم اختباره. إن الاختيار بين طريقة الخرج إلى الدخل أو طريقة الدخل إلى الخرج هو مسألة ارتياح. ويجب استخدام أيهما أسهل وأسرع.

طريقة التقسيم النصفي: إنها طريقة جيدة للاستخدام إذا كان هناك عدد كبير من الوحدات الوظيفية المتطابقة على التسلسل أو عدد من لوحات الدارات المتطابقة في الجهاز. يجب اختبار أو قياس خرج الوحدة أو لوحة الدارة التي تقع في المنتصف. إذا كانت النتائج صحيحة، يكون عندئذ النصف الأول من الوحدات جيداً، والمشكلة يجب أن تكمن في النصف الثاني. يجب تقسيم النصف الثاني من الوحدات إلى نصفين، وقياس الإشارة. إذا كانت الإشارة غير صحيحة، فإن المشكلة تكمن بين النصف و٤/٣ من الوحدة. تحصر القياسات الإضافية المشكلة بوحدة أو لوحة دارة معينة. إن طريقة التقسيم النصفي فعالة جداً في البحث عن المشكلة إذا كان عدد الوظائف المتطابقة المتصلة على التسلسل كبير. ومع ذلك، يتم القيام بعدة افتراضات هي:

- جميع وحدات الدارات موثوقة بالتساوي.
- لا يوجد إلاّ عطل واحد فقط.
- جميع القياسات متشابهة وتأخذ نفس المقدار من الوقت.

إن معظم الأنظمة لا تتكون من وحدات متصلة على التسلسل فقط، بل تضم فروع على التوازي وحلقات تغذية راجعة. والتوصيلات التي تجعل تحديد موقع العطل معقداً هي:

- التفرق (Divergence) : يغذّي خرج إحدى الوحدات اثنتين أو أكثر من الوحدات الأخرى. يجب التحقق من كل خرج بدوره، ومن ثم مواصلة البحث عن الوحدة المعطوبة في المنطقة التي تكون مشتركة بين المداخل غير الصحيحة.
- التقارب (Convergence) : يغذي اثنان أو أكثر من خطوط الدخل وحدة وظيفية وحيدة. أولاً، يجب التحقق من المداخل في نقطة الالتقاء. إذا كانت جميعها صحيحة، فإن العطل يقع ما بعد نقطة الالتقاء. أما إذا كان هناك دخل غير صحيح، فيجب أن يكمن العطل في دارة الدخل تلك.
- التغذية الراجعة (Feedback) : إن خرج الوحدة متصل بدخل الوحدة نفسها أو بدخل وحدة سابقة.

إن أنظمة التغذية الراجعة هي أكثر تعقيداً. وهناك نوعان من التغذية الراجعة.

التغذية الراجعة المُعدِّلة (Modifying Feedback) : تحدث التغذية الراجعة المُعدِّلة عند استخدام التغذية الراجعة لتعديل الخصائص المميزة لنظام. إن أحد الأمثلة عن التغذية الراجعة المُعدِّلة هو التحكم الآلي بالربح المُستخدَم في أجهزة استقبال الراديو ومضخمات الفيديو. غالباً ما يكون من الممكن قطع حلقة التغذية الراجعة، والتحقق من كل دارة داخل الحلقة على حدة، من دون تغذية إشارة عطل حول الحلقة. من الأفضل عادة قطع حلقة التغذية الراجعة عند دخل الوحدة. ويجب الحرص على عدم الإخلال بشروط الانحياز. في حالة وجود إشارة تغذية راجعة بتيار متناوب (AC)، فإنه يمكن قصرها إلى الأرضي بواسطة مكثف مناسب.

التغذية الراجعة المستمرة (Sustaining Feedback) : تحدث التغذية الراجعة المستمرة عندما تكون التغذية الراجعة ضرورية قبل إمكانية وجود أي خرج. تُستخدَم التغذية الراجعة المستمرة في العديد من أنظمة التحكم بالموضع حيث يتم استخدام إشارة تغذية راجعة متناسبة مع موضع بعض أجهزة الخرج، لإلغاء أثر إشارة دخل ما. إن معظم أجهزة تسجيل الرسم البياني من نوع سيرفو(servo) تناسب هذا الوصف. عندما يتم قطع التغذية الراجعة من الدخل، فقد يكون من الممكن حقن إشارة مناسبة بدلاً من التغذية الراجعة، وبعد ذلك التحقق من وحدات الدارة داخل الحلقة.

العزل (الحصر) والموقع وتحديد السبب Isolation, Location, and Cause Determination

إن الحصر بدارة داخل وظيفة هو استمرار لعملية الأعراض والتحليل الموصوفة آنفاً. إن العامل الوحيد الإضافي الذي سيأتي إلى الاستخدام هو المعرفة التفصيلية للمرء بالدارات. عند الحصر بدارة، فإنه غالباً ما يكون من المفيد إلقاء نظرة على الرسوم التوضيحية إذا كانت متوفرة. يجب مواصلة التفكير والبحث والاستماع والشم والتحسس وأخذ القياسات.

تحديد موقع العنصر المعطوب Locating the Defective Component

- إن كل ما قيل آنفاً ينطبق هنا.

- عند البحث عن العنصر المعطوب، فإنه ينبغي الأخذ في الاعتبار العناصر التي هي أقل وثوقية وأكثر أرجحية للفشل.
- يجب التحقق من العنصر الأكثر احتمالاً أنه فشل أولاً.
- يجب تذكر استخدام أسلوب منهجي وفعل الأشياء السهلة أولاً.

عندما يتم إيجاد الخطأ When the Fault is Found

يجب تحديد سبب العطل. إذا كانت المشكلة هي عنصر معطوب، فيجب تحديد سبب الفشل قبل استبدال العنصر المعطوب. إن استبدال المقاومة المحترقة التي تم تضررها بسبب ترانزستور مقصور لن يؤدي إلاّ إلى استهلاك مزيد من المقاومات حتى يتم استبدال الترانزستور المقصور. يجب تصحيح المشكلة، واختبار التشغيل الصحيح للجهاز. ويجب مراجعة كامل عملية تحديد الأعطال والإصلاح، والنظر إلى الوراء على الطرق التي تم فيها إيجاد المشاكل وتصحيحها.

- هل كان هناك عوارض تم تجاهلها ولكن كان من شأنها في الواقع أن تساعد في العثور على المشكلة في وقت أسرع؟
- وبالأخذ في الاعتبار الأعراض المشابهة، هل يمكن إيجاد هذه المشكلة بشكل أسرع في المرة القادمة؟

يجب قياس الجهود والإشارات، بينما الجهاز يعمل بشكل صحيح، في النقاط الحرجة في الجهاز، وتسجيل القراءات في الكتيب أو على الرسم التخطيطي للرجوع إليها مستقبلا. كما يجب مراجعة كامل عملية تحديد الأعطال والإصلاح باعتبارها تجربة تعلم لمعرفة الأشياء التي تم القيام بها بشكل صحيح، وتلك الأشياء التي ينبغي القيام بها على نحو مختلف. يجب استكمال الأعمال الورقية الضرورية للحفاظ على سجلات دقيقة وكاملة.

تجهيزات وأدوات الاختبار
Test Equipment and Tools

يستعرض هذا القسم الاعتبارات الأساسية للقياسات والخصائص المميزة لأجهزة الاختبار المشتركة. يجب أن يكون القائم بتحديد الأعطال على دراية كاملة بالمبادئ الأساسية للقياسات، وبأجهزة الاختبار التي ينبغي استخدامها، وذلك للتمكن من الحصول على أقصى قدر من المعلومات من أي قياس يتم القيام به. يجب على المرء أن يعرف ما الذي ينبغي قياسه وأين ومتى وكيف ولماذا، ويجب أن يكون قادراً على تفسير نتائج القياس. يمكن أن يتطلب تحديد الأعطال مجموعة واسعة من الأدوات من حواس الإنسان الأساسية (العينين والأُذنين والأنف والفم واليدين) إلى الأجهزة المتخصصة مثل أجهزة تحليل جهاز التنفس الاصطناعي. وهناك أمثلة موضحة فيما يلي على الأدوات التي تساعد في تحديد الأعطال.

القياس Measurement

ينبغي ألا يكون هناك قياس من دون معرفة ما هي النتيجة المتوقعة من القياس وذلك قبل القياس. إذا كان المرء لا يعرف ما هو الجهد أو الإشارة التي ينبغي أن تكون لديه عند نقطة معينة في الدارة، فكيف يمكنه معرفة ما إذا كانت نتائج القياس صحيحة أو غير صحيحة؟ إن الغرض من استخدام أجهزة الاختبار وإجراء القياسات أثناء تحديد الأعطال هو الحصول على معلومات حول الفشل أو العطل، أو عن سبب الفشل أو العطل. وفيما يلي تعريفات لبعض المصطلحات الشائعة:

الدقة (Accuracy): وهي اقتراب القياس من القيمة "الحقيقية" أو"الصحيحة". كثيراً ما يتم التعبير عن الدقة كنسبة مئوية من القراءة أو نسبة مئوية من المجال الكامل. إن لدى أجهزة القياس الرقمية دائماً حداً إضافياً على دقتها بزائد أو ناقص واحد في الرقم الأقل أهمية، وذلك نظراً لطبيعة دارات العد الرقمية. إن الدقة المعروفة هي نتيجة المعايرة.

دقة القراءة الرقمية (Precision): وهي عدد الأرقام (الخانات) (digits) الرئيسية المتاحة لوصف قياس، وعادة ما يتم التعبير عنها بعدد الأرقام. على سبيل المثال، يمكن القول أن دقة القراءة الرقمية للقياس أو الجهاز هي خمسة أرقام أو ثلاثة أرقام ونصف. لا تتضمن دقة القراءة الرقمية بالضرورة أي شيء عن الدقة. فمن الممكن بناء أو شراء جهاز رقمي متعدد المقاييس لديه أربعة أرقام للعرض ولكن لديه محول رقمي/تمثيلي (D/A converter) بـ ٨ بت فقط. وإذا كان هذا هو الحال، فإن دقة القراءة الرقمية لمثل هذا الجهاز هي أربعة أرقام رئيسية، ولكن الدقة لا يمكن أن تتجاوز ٠,٥٪.

دقة التمييز (الوضوحية) (Resolution): وهي كيف يمكن قراءة قياس أو قيمة محدَّدة على نحو دقيق. عادة ما يكون التعبير عن دقة التمييز من الشكل "دقة تمييز ١٠٠ مايكرو فولت على مجال فولت واحد" (بالرجوع إلى مواصفات الـ DMM). يتضمن هذا التعبير أربعة أرقام ونصف أو خمسة أرقام لدقة القراءة الرقمية. إنها لا تقول شيئاً عن الدقة. في بعض الأحيان (وخاصة عند إجراء قياسات تفاضلية) فإن دقة التمييز العالية أكثر أهمية من دقة كافية لتطابق دقة التمييز.

قابلية التكرار (Reproducibility): إذا تم أخذ قياسات متكررة لنفس الإشارة، فإلى أي درجة ستتطابق نتائج القياسات المتتالية مع بعضنا البعض؟ تتأثر قابلية التكرار باستقرار جهاز القياس وإشارة المصدر.

الاستقرار (Stability): إذا تم قياس إشارة مستقرة وثابتة باستمرار، فإلى أي مدى تكون الدلالة على جهاز القياس مستقرة أو ثابتة؟

يؤثر استخدام جهاز القياس على كل ما يتم قياسه كلما تم إجراء القياس. يعود معظم التأثير إلى تغيير في بارامترات الدارات يسببه وصل مجسات جهاز الاختبار إلى نقطة في الدارة. تحتوي جميع أجهزة القياس الكهربائية أو

الإلكترونية على مقاومة دخل محدودة. قد تكون التأثيرات أولا تكون كبيرة. قد يكون التأثير بتغيير الكمية المُقاسة بحيث تصبح النتيجة غير مفيدة. إن وصل جهاز اختبار إلى إحدى الدارات لإجراء القياس يمكنه تغيير الطريقة التي تتصرف بها الدارة. إن محاولة قياس أو فحص إشارة عند نقطة حساسة في هزاز (مذبذب) قد يكون أحد الأمثلة على ذلك. يمكن لعملية محاولة إجراء القياس إزاحة التردد أو إيقاف الهزاز عن الاهتزاز. ويجب الأخذ في الاعتبار وفهم نتائج وصل مسرى الاختبار إلى نقطة في الدارة قبل تفسير نتائج القياس. إن تأثير وصل مسرى الاختبار إلى نقطة في الدارة عادة ما يسمى "بالتحميل". لا يؤثر التحميل على دقة القراءة الرقمية أو دقة التمييز للقياس، إلاّ أنه يؤثر على الدقة.

يتم أحياناً إجراء قياس ويكون ببساطة ليس مناسباً. إن أحد الأمثلة على ذلك يمكن أن يكون البحث مباشرة بواسطة راسم الذبذبات (راسم الإشارة) أو مقياس الفولت في قاعدة مضخم تيار متناوب (AC) بترانزستور بوصلة باعث مشترك. سوف يعطي القياس شيئاً عن شروط الانحياز الموجودة، ولكن لن يعطي إلاّ القليل جداً عن الإشارة. ونظراً لأنه يتم التحكم بالترانزستور عن طريق التيار الداخل إلى القاعدة بدلاً من الجهد، فربما لن يكون المرء قادراً على رؤية أي إشارة. وإذا رأى المرء إشارة، فإنها ستكون أصغر بكثير من المتوقعة.

صندوق السلامة الأصفر Yellow Safety Box

يحتوي صندوق السلامة الأصفر (Dyro, 1995) على معظم أجهزة وأدوات القياس المطلوبة في فحص الأجهزة الطبية، (الشكل رقم ٩٥,١٢). إن ميزته الرئيسية هي قابلية حمله مما يمكّن من تحديد الأعطال في المواقع النائية. إن صندوق السلامة الأصفر ملائم بشكل خاص من أجل التحقيق في الحوادث التي أُصيب فيها أشخاص بسبب الأجهزة الطبية.

وفيما يلي قائمة جزئية بالعناصر الموجودة في الصندوق وتطبيقاتها:

- أدوات يدوية (كماشات ومفكات ومفاتيح إنكليزية وملاقط إيقاف نزف.
- مقياس ضوئي.
- مقياس جهد رقمي (DVM).
- مقياس مستوى الصوت.
- أكياس جمع عينات (مسحات وأكياس بلاستيكية وفرشاة).
- أجهزة قياس (ميزان رسائل ومقياس قوة ومقياس شريطي ومقياس شريطي الكتروني ومسطرة ومقياس ميكروي وأداة قياس سماكة (بياكوليس) ومنقلة.
- كاميرا (ثابتة ومتحركة).

- شريط (أبيض وأسود وتحجيب).
- أدوات الحماية الشخصية (قفازات وكمامات الغاز وأقنعة الغبار ونظارات السلامة وسدادات الأذن).
- بطاريات (AA, AAA, D, C).
- كاميرا.
- مساعدات الفحص البصري (مصباح يدوي ولمبة رأسية (كشاف رأسي) وحلقة وعدسة مكبرة ٥ مرات- ٣٠ مرة (5X-30X)).
- أدوات وضع علامات (قلم حبر وقلم رصاص).
- ورق (نموذج تحقيق، ورسم بياني، ومُسَطَّر، وملاحظات، وملاحظات لاصقة (Post-It)).
- أفلام (400 ASA بتعرض ١٢و٢٤و٣٦؛ وفيلم فيديو).
- حلوى (بونبون) candy.
- جهاز محاكاة فيزيولوجية (انظر الفصل ٦٤ للحصول على وصف تفصيلي لصندوق السلامة الأصفر).

الشكل رقم (٩٦,١٢). صندوق السلامة الأصفر (Dyro, 1995).

أجهزة وأدوات الاختبار للأغراض العامة General Purpose Test Equipment and Tools

يتخصص العديد من الشركات في تصنيع وبيع أجهزة اختبار لأغراض عامة تؤدي قياسات فيزيائية مثل الوزن والأبعاد والضغط والتدفق والبارامترات الكهربائية (الجهد والتيار والمقاومة والتردد وشكل الموجة) ودرجة الحرارة والرطوبة والتألق والرطوبة النسبية وعد الجزيئات وتركيز الغاز ومستوى الصوت والزمن والقوة. وتشمل هذه الشركات Extech و Fluke و Ohaus و Tektronix و Chatillon و Hewlett-Packard.

ينبغي أن يكون مرفَق تحديد الأعطال والإصلاح مجهَّزاً بمجموعة كاملة من الأدوات اليدوية الأساسية مثل المفكات والمفاتيح (الإنكليزية وغيرها) والكماشات وأدوات القطع والكاويات (أدوات اللِحام) والعدسات المكبرة ومرايا الفحص والمثاقب والمطارق والمناشير. إن قائمة الأدوات الممكنة واسعة النطاق.

أجهزة الاختبار المتخصصة Specialized Test Equipment

يقوم الكثير من الشركات (على سبيل المثال، Metron وDNI Nevada, Inc) بتصنيع وبيع أدوات اختبار متخصصة مُصَمَّمة خصيصاً لاختبار نوع معين من الأجهزة أو الأنظمة الطبية، على سبيل المثال، أجهزة تحليل وحدة الجراحة الكهربائية، وأجهزة فحص جهاز التنفس الاصطناعي، وأجهزة تحليل جهاز إزالة رجفان القلب، وأجهزة تحليل مضخة الحقن، وأجهزة تحليل الـ SPO_2 (جهاز قياس تشبُّع الدم بالأوكسجين)، وأجهزة تحليل الـ ECG، وأجهزة مراقبة ضغط الدم غير الباضعة (NIBP)، وأجهزة مراقبة الجنين، وأجهزة تحليل الغازات (الأكسجين وثاني أكسيد الكربون وأكسيد النيتروجين والهالوجين وأكسيد الإيثيلين)، وأجهزة تحليل السلامة الكهربائية.

تقوم عدة شركات بتصنيع وبيع أجهزة اختبار خاصة بمنتجاتها، على سبيل المثال، Nellcor (مقاييس التأكسج النبضية)، وOhmeda (أجهزة التخدير وحاضنات الأطفال الرُضَّع)، وMedtronic (نواظم خطى القلب ومضخات الحقن القابلة للزرع والبرمجة).

تتوفر أجهزة المحاكاة للمساعدة في اختبار الأجهزة الطبية. وهي تأخذ بشكل عام مكان المريض الذي يُستخدَم عليه الجهاز الطبي. وتشمل أجهزة المحاكاة هذه فانتومات الأصابع، وأصابع الاختبار، وقياس التأكسج النبضي، ومعدَّل ضربات القلب، وضغط الدم، والـ ECG، واضطراب النَظْم، وجهاز المحاكاة الجنيني (الموجات فوق الصوتية، وECG الأم، ومقياس قوة المخاض(tocodynamometer)، والتغيرات نبضة بنبضة)، ودرجة الحرارة، والتنفس (الممانعة)، وفانتومات الصدر، والرئتين.

يشارك الكثير من الشركات في تصميم وتصنيع وبيع وتوزيع الفئات المذكورة آنفاً من أجهزة الاختبار لاستخدامها من قبل المهندسين الإكلينيكيين في المستشفيات وبيئات الرعاية الصحية المنزلية. إن الجدول رقم (٩٦,١) هو قائمة جزئية لبعض هذه الشركات التي لم يرد ذكرها آنفاً. يذكر الجدول رقم (٩٦,٢) معظم أجهزة الاختبار والأدوات المُستخدَمة في قسم الهندسة الطبية ذي الخدمة الكاملة.

الجدول رقم (٩٦,١). شركات صانعة لأجهزة الاختبار (قائمة جزئية).

شركات صانعة لأجهزة الاختبار			
Alnor	Riken	Manley Lung Simulator	Bio-Tek Instruments
Bacharach	TIF	Mini-OX	Clinical Dynamics
BAPCO	Timeter	Netech Corporation	ComfortCheck
BC Biomedical	TSI	Nuclear Associates	Dale
BC Group International., Inc	UMA	Ohmic	Mallinckrodt

الجدول رقم (٩٦,٢). أجهزة وأدوات اختبار قسم الهندسة الإكلينيكية.

أجهزة اختبار التخدير	أجهزة تحليل غاز التخدير	أجهزة فحص الكبلات والـ LAN
الصناديق والعربات والدمى	مقاييس الناقلية	أجهزة تحليل جهاز إزالة رجفان القلب
مقاييس نقطة الندى	أجهزة تحليل أجهزة الإنفاذ الحراري	أجهزة تحليل السلامة الكهربائية
أجهزة تحليل وحدة الجراحة الكهربائية	أجهزة اختبار أجهزة التنظير	أجهزة اختبار البيئية
ESD/الأشرطة الستاتيكية (الساكنة) والدواسات	جهاز محاكي لجهاز مراقبة الجنين	مقاييس التدفق
كواشف تسريب الهالوجين	مقاييس الرطوبة	أجهزة اختبار مضخة الحقن
مقاييس طاقة أجهزة الليزر	مساري ومجسات	مقاييس الضوء
أجهزة اختبار LIM/GFI	مقاييس MAS	أجهزة تحليل الغازات الطبية
أجهزة اختبار متنوعة	أدوات يدوية متنوعة	مقاييس متعددة الوظائف (Multimeters)
أجهزة مراقبة أكسيد النتروجين	أجهزة محاكات الـ NIBP	أدوات غير مغناطيسية
رواسم الإشارة (رواسم الذُّبْذَبَة)	أجهزة تحليل الأوكسجين	أجهزة تحليل نواظم الخطى
أجهزة محاكاة المريض	مقاييس إشعاع المعالجة الضوئية	أجهزة مراقبة خط الطاقة والـ EMF
لوازم التغذية بالطاقة	مقاييس وأجهزة قياس الضغط	أجهزة محاكاة أجهزة قياس التأكسج النبضي
مقاييس جرعة الإشعاع	مقاييس مستوى الصوت	مقاييس سرعة الدوران
مقاييس درجة الحرارة	مقاييس استطاعة الأمواج فوق الصوتية	أجهزة اختبار جهاز التنفس الاصطناعي
الأوزان والموازين	طاولات العمل والأثاث	فانتومات التصوير

المكونات
Components

يجب على جميع المهندسين والفنيين، سواء كانوا مشاركون في التصميم أو تحديد الأعطال أو الإصلاح، أن يعرفوا خصائص وصفات المكونات المُستخدَمة في الأجهزة الكهربائية والإلكترونية التي يعملون معها أوعليها. وفي حالة الصيانة والإصلاح، فإن المعرفة الدقيقة بالمكونات وخصائصها وأنماط فشلها مهمة للمساعدة في تحديد مكان الأعطال وإصلاحها أيضاً عندما تكون قطع الغيار الدقيقة غير متوفرة ويجب استخدام البديل في مكانها. ويتم في هذا القسم وصف بعض أكثر الخصائص أهمية للمكونات الرئيسية التي تكون ذات صلة بتحديد الأعطال.

المقاومات Resistors

الخصائص العامة General Characteristics

معدل الاستطاعة (Power Rating): تتوفر المقاومات العامة في معدلات استطاعة تتراوح من ١/٨ واط إلى ١٠ واط.

- ينبغي عدم تجاوز معدل الاستطاعة على الإطلاق.

- تنخفض معدلات الاستطاعة مع ارتفاع في درجة الحرارة المحيطة. ويُطبَّق عادة معدل الاستطاعة المنشور فقط مع درجة حرارة محيطة تتراوح ما بين ٢٠ درجة مئوية وتنخفض إلى الصفر في بعض درجات الحرارة وذلك اعتماداً على المواد المُستخدَمة في صنع المقاومة.
- ينبغي أن يكون معدل استطاعة المقاومة المُستخدَمة في دارة على الأقل مرتين من أي تبديد مطلوب للطاقة. ويوفر هذا هامش أمان كافٍ لمنع فشل سابق لأوانه.

السماحية (Tolerance): تأتي المقاومات بسماحيات معيارية تساوي ٣ ٪ و٥٪ و١٠٪ و٢٠٪ (نادراً ما تُستخدَم السماحية ٢٠٪ بعد الآن). تبقى المقاومة في حدود سماحية دقتها فقط إذا لم يتم وضعها تحت الإجهاد من خلال تجاوز استطاعتها أو درجة حرارتها أو حدود جهدها.

معامل ومجال درجة الحرارة (Temperature Coefficient and Temperature Range): تتغير قيمة المقاومة مع ارتفاع درجة الحرارة. ويعتمد مقدار التغير على المواد التي تم صنع المقاومة منها. ويعود بعض المقاومات إلى قيمته الأصلية (أو بالقرب منها) عندما يتم خفض درجة الحرارة، وسوف يظهر البعض أثر تباطؤ (hysterisis).

معدَّل الجهد (Voltage Rating): إن لدى المقاومات معدَّل جهد يجب عدم تجاوزه وإلاّ سينتج ضرر دائم للمقاومة. إن معدَّل الجهد هو حد أقصى حتى لو لم يتم تجاوز معدل استطاعة المقاومة.

الخطية أو التخفيض (المقاومات المتغيرة) ((Linearity or Taper (Variable Resistors): إن كيفية تغيُّر المقاومة بالنسبة لموضع عنصر الانزلاق هو بارامتر هام. إن معظم مقاييس الجهد المُستخدَمة في معظم دارات الصوت كعناصر تحكم بالمستوى أو الحجم لديها تخفيض لوغاريتمي لأن الأذن تستجيب بشكل لوغاريتمي لمستويات الصوت. تُطبَّق معدلات الاستطاعة عندما يتم تبديد الطاقة في جميع أنحاء العنصر المقاوم بأكمله. إن المقاومات المتغيرة الموصولة كأداة تنظيم للتيار هي سهلة الاحتراق إذا كانت الاستطاعة المُقدَّمة مُبدَّدة في جزء صغير من هذا العنصر.

المقاومات الثابتة Fixed Resistors

مركبات الكربون: يتم صنع المقاومات المركبة من جزيئات الكربون في مادة رابطة تساعد على التماسك والالتحام يتم ضغطها في شكل معين. وأنماط الفشل الأكثر شيوعاً هي التالية:

- ارتفاع في القيمة. ناتج عن هجرة الكربون أو المادة الرابطة تحت تأثير الحرارة أو الجهد أو الرطوبة. يسبب امتصاص الرطوبة الانتفاخ مما يجبر جزيئات الكربون على الانفصال.
- الدارة المفتوحة. تنتج بشكل رئيسي عن درجة الحرارة المفرطة. تنخفض مقاومات مركبات الكربون في القيمة مع ارتفاع درجة الحرارة. إن البعض لن يعود إلى قيمته الأصلية عندما يبرد وتنخفض قيمها ببطء مع التقدم في العمر حتى تشكل قصر ومن ثم تحترق مشكلة دارة مفتوحة.

مقاومات غشاء الكربون: يتم صنع مقاومات غشاء الكربون عن طريق وضع غشاء كربون على أنبوب من السيراميك. عادة ما يكون الغشاء على شكل حلزون على السطح الخارجي لقاعدة السيراميك. ويتم تغطيته بالطلاء لحمايته من الرطوبة والعالم الخارجي. وأنماط الفشل الأكثر شيوعاً هي التالية:

- الدارة المفتوحة. ناتج عن تفكك الغشاء بسبب ارتفاع درجات الحرارة. ويمكن أيضاً خدش الغشاء أو كسره.
- ضجيج عالي. بسبب سوء اتصال موصلات النهايات. عادة ما يكون نتيجة لإجهاد ميكانيكي ناجم عن سوء التجميع في الدارة.

مقاومات الغشاء المعدني: مُصنَّعة بنفس طريقة تصنيع غشاء الكربون ولكن باستخدام غشاء معدني كعنصر مقاوم. إن مقاومات الغشاء المعدني هي أكثر استقراراً من حيث درجات الحرارة وتتقادم ببطء أكثر من مقاومات مركبات الكربون أو مقاومات غشاء الكربون. إن أنماط فشل مقاومات الغشاء المعدني هي نفسها أنماط فشل مقاومات رقائق الكربون.

المقاومات ذات السلك الملفوف: يتم تصنيع المقاومات ذات السلك الملفوف من خلال لف سلك حول أنبوب سيراميك وتغطيته بطلاء من السيراميك. تُستخدَم المقاومات ذات السلك الملفوف في المكان الذي يكون مطلوب فيه تبديد طاقة عالية. إن نمط الفشل الرئيسي هو الدارة المفتوحة بسبب قطع في السلك، وخصوصاً عند استخدام أسلاك رفيعة، وبسبب التبلور التدريجي للسلك بسبب الشوائب. وقد يكون سبب الفشل أيضاً تآكل سببه رطوبة مُمتصة. تصبح المقاومات ذات السلك الملفوف مفتوحة أيضاً بسبب الفشل في توصيل النهايات الملحومة.

المقاومات المتغيرة Variable Resistors

إن حالات الفشل الجزئي شائعة و من هذه الحالات ارتفاع مقاومة تلامس عنصر الانزلاق مما يسبب الضجيج. وعادة ما يكون هذا بسبب الغبار أو الشحوم أو المواد الأخرى العالقة على العنصر. يمكن أن يكون الضجيج المفرط أيضاً بسبب استهلاك العنصر المقاوم. إن حالات فشل الدارة المفتوحة ترجع إلى التآكل أو الرطوبة أو درجات الحرارة المرتفعة أو استهلاك عنصر الانزلاق على العنصر المقاوم.

المكثفات Capacitors

تأتي المكثفات بأشكال وأحجام عديدة. ويتم تصنيفها في فئتين رئيسيتين: القطبية وغير القطبية.

المكثفات القطبية Polar Capacitors

إن المكثفات القطبية حساسة بالنسبة لقطبية جهود التيار المستمر (DC) المُطبَّقة عليها. وهي مُصنَّفة أيضاً حسب المعدن المُستخدَم للمصعد (anode). إن لدى المكثفات القطبية أو الكهروليتية نسبة سعة إلى حجم أعلى بكثير من

المكثفات غير القطبية. كما أن للمكثفات القطبية سماحية كبيرة. تتغير سعتها بشكل جذري مع درجة الحرارة والجهد والتيار والتردد. تصبح معظم الكهروليتات تحريضية عند ترددات تقع فوق بضع مئات من الكيلو هرتز.

إن الألمنيوم هو المادة المُستخدَمة الأكثر شيوعاً لصنع المكثفات القطبية أو الكهروليتية، وهي رخيصة نسبياً وتُستخدَم في الغالب كمرشحات للتغذية بالطاقة. إن عكس الجهد عبر مكثف كهروليتي عادة ما يسبب دارة قصر وسوف يتلف المكثف، بسبب الإحماء الزائد للكهروليت. يمكن أن ينفجر المكثف عندما يتعرض إلى تيارات عكسية أو جهود AC.

و من خصائص مكثفات الألمنيوم الكهروليتية أن معدَّل جهد الـ DC يتدهور مع الوقت. و ينخفض معدَّل الجهد في الدارة تدريجياً إلى القيمة المطلوبة من الدارة. إذا حدثت نبضات سريعة (spikes) لجهد كبير في مكثف ألمنيوم كهروليتي قديم، فإنه يمكن أن يسبب قصر وفشل المكثف على الرغم من أن مطال النتوء أقل من معدَّل جهد المكثف.

يتناقص معدَّل جهد مكثف الألمنيوم الكهروليتي تدريجياً نحو الصفر فولت عند تخزينها على الرف. ويمكن استعادة معدَّل الجهد من خلال عملية تسمى "التشكيل". يتم تطبيق الجهد على المكثف من خلال مقاومة (للحد من التيار) حتى ينخفض التيار إلى قيمة معقولة. وعندئذ يكون للمكثف معدَّل جهد يساوي الجهد المُطبَّق.

تحتوي المكثفات الكهروليتية على كهروليت سائل يشكِّل المهبط (cathode) أو الجهة السالبة للمكثف. يميل هذا الكهروليت إلى أن يجف مع التقدم في العمر مما يؤدي إلى تلف المكثف. قد يسبب الإحماء الزائد للمكثف تسرب الكهروليت من خلال مانع تسرب الضغط ويمكن أن يسبب جفاف الكهروليت.

إن أفضل طريقة لفحص المكثف الكهروليتي هي من خلال التبديل. إذا فشل المكثف بدارة مفتوحة أو انخفضت سعته، فيمكن فحصه بشكل سريع جداً من خلال وضع مكثف آخر على التوازي. لا يستطيع العديد مما يُسمّى بفاحصات السعة أن تفحص بفعالية المكثفات الكهروليتية. غالباً ما تفشل المكثفات الكهروليتية أو تتطلب الاستبدال بسبب زيادة مقاومتها التسلسلية المكافئة. إن معظم فاحصات المكثف لا تقيس المقاومة التسلسلية المكافئة للمكثفات التي تفحصها.

تستخدم مكثفات التانتالوم (Tantalum) الكهروليتية التانتالوم كمادة للمصعد. إن لمكثفات التانتالوم نسبة سعة إلى حجم أعلى من كهروليتات الألمنيوم كما أن لديها تسريب أقل ووثوقية أعلى. كما أن كهروليتات التانتالوم أكثر تكلفة من الألمنيوم أيضاً. ولا يتم تصنيع هذا المكثفات بمعدلات جهد أعلى من ٥٠ فولت تقريباً.

المكثفات غير القطبية Nonpolar Capacitors

إن المكثفات غير القطبية ليست حساسة لقطبية الجهد المُطبَّق، وهي مُصنَّفة حسب المواد المُستخدَمة كعازل فيها.

- إن مكثفات الرقاقة الورقية شائعة جداً في الأجهزة القديمة ولكنها نادراً ما تستخدم بعد الآن. لقد حلت محلها مكثفات الغشاء البلاستيكي. تميل المكثفات الورقية إلى الفشل بدارة قصر أو دارة مفتوحة متقطعة.
- إن لدى مكثفات السيراميك خصائص عالية التردد جيدة إلى حد ما. إنها لا تملك استقرار جيد للسعة وعادة ما تُستخدَم في الدارات حيث القيمة الفعلية للسعة ليست حرجة، مثل عمليات التجاوز (bypass). يمكن أن تفشل مكثفات السيراميك بدارة مفتوحة أو دارة قصر أو دارة مفتوحة متقطعة.
- يتم صنع مكثفات الغشاء البلاستيكي باستخدام العديد من الأنواع المختلفة للغشاء البلاستيكي. إن المايلر (Mylar) والبوليسترين (polystyrene) هي المواد المُستخدَمة الأكثر شيوعاً. إن المكثفات البلاستيكية هي النوع الأكثر شيوعاً المُستخدَم في بناء الدارات الإلكترونية. وعندما تفشل، يكاد يكون دائماً بدارة مفتوحة. والتحقق من هذا سهل حيث يتم ببساطة بأخذ مكثف آخر ووضعه على التوازي لمعرفة ما إذا كانت المشكلة قد تم تصحيحها.
- إن مكثفات الميكا (مادة شبه زجاجية تُستعمل كعازل كهربائي) مستقرة جداً من حيث القيمة ولها خصائص عالية التردد ممتازة. هي ليست مصنوعة بقيم سعات أعلى من ٠,٠١ مايكرو فاراد. إنها تميل إلى الفشل بدارة قصر أو دارة مفتوحة متقطعة.
- تُستخدَم المكثفات المملوءة بالزيت بشكل أساسي لإقلاع محرك أو تشغيله، وتخزين الطاقة، وتصحيح عامل الاستطاعة وإزاحة الطور لجهود التيار المتناوب (AC). تتوفر المكثفات المملوءة بالزيت بقيم سعات من ٠,٠٠١ – ٥٠ مايكرو فاراد. إنها تميل إلى أن تكون كبيرة من حيث الحجم، وعادة ما تفشل عن طريق تسريب الزيت العازل كهربائياً. قد يحتوي الزيت المُستخدَم، وخصوصاً في الوحدات التي صُنعت قبل عام ١٩٧٣م، على ثنائي الفينيل متعدد الكَلْوَرة (polychlorinated biphenyl) (PCB)، الذي يمكن أن يسبب السرطان بعد التعرض له لفترة طويلة.

أنصاف النواقل Semiconductors

الديودات (الثنائيات) Diodes

إن الديودات هي أدوات نصف ناقلة لديها وصلة واحدة (junction) فقط ويتدفق التيار فيها أيضاً باتجاه واحد فقط. يمكن أن تفشل الديودات بالفتح أو القصر. وهناك أنواع عديدة:

- **ديودات أو مقوِّمات الاستطاعة (Power diodes or rectifiers):** تتميز هذه الديودات بمعدَّلات تيار وجهد عالية. وأكثر ما تُستخدَم بشكل عام كمقومات في دارات التغذية بالطاقة أو غيرها من التطبيقات التي تتطلب تيارات مرتفعة نسبياً.

- **ديودات الإشارات (Signal diodes)**: إن ديودات الإشارات هي أصغر حجماً من ديودات المقوِّمات ولها معدَّلات جهد و/أو تيار أقل. إن لدى ديودات الإشارة سعة وصلة منخفضة جداً، مما يسمح لها بأن تُستخدَم من أجل الترددات العالية وفي تطبيقات التحويل.
- وهناك العديد من الأنواع الأخرى للديودات، مثل الديودات المُصدِرة للضوء (LED) وديودات زينر (Zener).

الترانزستورات Transistors

إن الترانزستورات هي أدوات ثلاثية النهايات (الأطراف) تحتوي على اثنين أو أكثر من الوصلات. فهي متوفرة في مجموعات مختلفة عديدة، وبمعدلات مختلفة للجهد والتيار والاستطاعة، وبقطبيات مختلفة. وهي عادة ما تفشل في الوصلات. يمكن أن تصبح الوصلة إما دارة مفتوحة أو دارة قصر، على الرغم من أن حالات فشل دارة القصر هي الأكثر شيوعاً في الترانزستورات عالية الاستطاعة. يمكن أن يكون الفشل ناتجاً عن الأسباب التالية:

- عملية التصنيع. يتم التقاط معظم هذه العيوب أثناء الاختبارات المختلفة لضبط الجودة والاختبارات التي أُجريت خلال عملية التصنيع. وتمتلك بعض الوحدات عيوب من شأنها أن تسبب الفشل السابق لأوانه في التجهيزات.
- إن معظم حالات الفشل ناتجة عن سوء الاستخدام؛ أو الممارسات السيئة للمعالجة؛ أو المعدَّلات المفرطة للاستطاعة أو الجهد أو التيار؛ أو الإحماء الزائد. يتم إلحاق الضرر بالعديد من الترانزستورات، ومعظم الدارات المتكاملة، إذا ما أتم إزالتها من الدارة أو تركيبها عليها وهي في حالة تشغيل.
- إن الكهرباء الساكنة هي مصدر مهم لحالات الفشل في جميع أنواع أنصاف النواقل، ولكن خصوصاً في الأدوات من نوع MOSFET. يجب اتباع احتياطات مناسبة أثناء الشحن والتخزين والمناولة والتركيب والإزالة واللحام.

الدارات المتكاملة Integrated Circuits

بصفة عامة، فإن كل التعليقات على الترانزستورات تنطبق على الدارات المتكاملة (ICs). وبسبب عدد الأرجل (pins)، فإنه يجب توخي الحيطة والحذر في إزالة الدارة المتكاملة، لمنع تلف الدارة المتكاملة أو الباقي من الدارة أو لوحة الدارة المطبوعة. من الضروري توخي حذر خاص عندما لا تكون الدارة المتكاملة موضوعة على قاعدة ويجب أن تكون غير ملحومة. يمكن أن تتضرر الدارة المتكاملة بسهولة بسبب الحرارة الزائدة من الكاوي أثناء لِحامها في لوحة دارة أو إزالتها منها. بصفة عامة، فإن الدارات المتكاملة هي عرضة للتضرر من الكهرباء الساكنة أكثر من الترانزستورات. إن الدارات المتكاملة من نوع MOS هي بشكل خاص عرضة للتضرر.

الفيوزات (المنصهرات) Fuses

إن الفيوزات هي أدوات ثنائية النهاية موجودة تقريباً في كل جهاز. إن الغرض من الفيوزات هو الحماية من الحرائق و/أو الضرر الناتج عن ذلك في الجهاز بسبب فشل دارة أو عنصر ضمن الجهاز. إن الفيوزات هي فريدة من نوعها بين المكونات الإلكترونية لأنه يمكن القول أن الفيوز يعمل بشكل صحيح عندما يفشل أو يحترق أو يفتح الدارات. وعندما يؤدي الفيوز وظيفته فإنه يجب استبداله.

هناك عدد من البارامترات تميز الفيوزات:

- معدَّل التيار: هي قيمة التيار المار خلال الفيوز الذي، إذا ما تم تجاوزه، فإنه يؤدي إلى ذوبان عنصر الفيوز أو تليينه، والفيوز إلى فتح الدارة.
- السرعة: كم المدة الزمنية التي يستغرقها الفيوز لفتح الدارة بعد أن تصل قيمة معدَّل تيار الفيوز إلى القيمة المكافئة أو تتجاوزها؟ إن الفيوزات مُصنَّفة في فئتين رئيسيتين للسرعة: "الاحتراق السريع" و"الاحتراق البطيء". وهناك العديد من الأشكال التي تتراوح بين " الاحتراق فائق السرعة" إلى "التأخير الطويل".
- معدَّل الجهد: إن الفيوزات مُصنَّفة تبعاً للجهد وذلك حسب مقدار الجهد الذي يمكن قطعه بشكل موثوق بواسطة الفيوز عندما يفتح. عندما يفتح الفيوز، فإن الجهد الذي يمكن أن يظهر على طرفي الفيوز يمكن أن يؤدي إلى تشكيل قوس ينتج عنه استمرار الكهرباء. ويجب قطع القوس لأن الدارة لا يمكن عندها أن تفتح وأن تمنع تدفق تيار إضافي.

إن قواطع الدارة هي مزيج وظيفي من الفيوز والمفتاح. تتمتع قواطع الدارة بميزة على الفيوزات وهي أنه يمكن إعادة تشغيلها. عندما يتم تجاوز معدَّل تيار قاطع الدارة فإنه يتم فتح مفتاح بشكل آلي يؤدي إلى قطع الدارة. يمكن تفعيل المفتاح يدوياً، وإعادة تشغيل قاطع الدارة لأداء وظيفته مرة أخرى. ليس هناك حاجة لاستبداله بعد أداء وظيفته كما هو الحال مع الفيوز. يتم تصميم قواطع الدارة بواحدة من آليتي التفعيل التاليتين؛ الحرارية والمغناطيسية.

- الحرارية: في قاطع الدارة الحراري، فإن التيار خلال القاطع يمر من خلال سخّان يقوم بتفعيل جزء المفتاح إذا تم تجاوز درجة حرارة معينة.
- المغناطيسية: في قاطع الدارة المغناطيسي، فإن الحقل المغناطيسي الناتج عن التيار المار من خلال القاطع يقوم بتفعيل جزء المفتاح من القاطع إذا تجاوز التيار القيمة الموضوعة مسبقاً.
- تعمل قواطع الدارة المغناطيسية بسرعة أكبر بكثير من قواطع الدارة الحرارية. وقد يحتاج القاطع الحراري من ٠,٢ – ٠,٥ ثانية لكي يفتح، في حين أن قاطع الدارة المغناطيسي سوف يفتح في ٠,٠٥ ثانية في ظل نفس الظروف.

تغيّر الفيوزات وقواطع الدارة معدلاتها وخصائصها تبعاً لدرجة حرارة التشغيل المحيطة والاهتزاز والعمر والعوامل البيئية الأخرى. تغيّر قواطع الدارة، وخصوصاً القواطع الحرارية، معدلاتها بعد عمليات التفعيل المتكررة. من المهم استبدال الفيوز أو القاطع بواحد من نفس الخصائص. ومن السيئ بشكل خاص استبدال فيوز احتراق سريع أو نظامي بنوع ذو احتراق بطيء. يمكن أن ينتج عن هذا ضرر خطير للدارة بسبب الوقت الطويل للتفعيل.

المعالجات الصغرية Microprocessors

يتضمن العديد من الآلات الحديثة معالج صغري والدارات المرتبطة به. من المهم أن يتمتع القائم بتحديد الأعطال ببعض المعرفة في كيفية تحديد وتصحيح الأخطاء في هذه الأجهزة. ومن المهم أيضاً شراء دارات متخصصة احتياطية، مثل ROMs، في الوقت نفسه الذي يتم فيه شراء الجهاز الأصلي لأن أمثال قطع الغيار هذه قد لا تكون متاحة في وقت لاحق، أوقد يتم تصنيعها وفقاً لمواصفات مختلفة. هناك زيادة في التركيز على أنظمة وأجهزة تبادل البيانات، بما في ذلك أنظمة المسافات القصيرة والطويلة. سيكون هناك تحسّن كبير في القدرة على الصيانة وبرامج التشخيص المُدمَجة. وهذا سوف يساعد المُشَغِّل والقائم بتحديد الأعطال. إن التشخيصات المُدمَجة مفيدة فقط إذا وعندما يكون المعالج نفسه يعمل. يمكن أن تمنع الأعطال التالية وسائل التشخيص من أن تكون مفيدة: ليس هناك طاقة أو خلل في التغذية بالطاقة؛ أو خلل في الساعة؛ أو خلل في الـ ROM؛ أو خلل في دارة متكاملة أو وظيفة طرفيتين.

استراتيجيات تحديد الأعطال والإصلاح Troubleshooting and Repair Strategies

إن الإستراتيجية المثلى لتحديد أعطال وإصلاح الأدوات القائمة على معالج صغري تعتمد على عدة عوامل، مثل:

- مقدار ما هو معروف عن هذا الجهاز ومعالجه الصغري والبرمجيات المرتبطة به.
- الكتيبات أو التوثيق المتوفر.
- أجهزة الاختبار المتوفرة.
- قطع الغيار المتوفرة.
- المعلومات المتوفرة من الوكيل المحلي أو الصانع.

هناك قواعد أو طرق محددة لتحديد الأعطال تكون دائماً صحيحة:

- يجب فحص وتصحيح أية مشاكل قد تكون موجودة في التغذية بالطاقة.
- ينبغي ممارسة التشخيصات المبنية في التجهيزات لمعرفة ما إذا كان يمكن كشف أية مشاكل.
- إن استبدال المكونات أو التجميعات الفرعية هو تقنية جيدة وسريعة، إلاّ أنها تتطلب قطع غيار تكون معروفة بأنها جيدة.

إذا كان لا شيء يعمل، تحقق مما يلي:

- التغذية بالطاقة.
- نظام الساعة.
- ذاكرة البرنامج (ROM).
- بتات (bits) العنوان (للتبديل (toggling)).

عند التحقق من أن الدارة المتكاملة تعمل أو عند فحص التغذية بالطاقة ينبغي دائماً قياس الإشارات على أرجل الدارة المتكاملة، وليس على لوحة الدارة أو النواقل. يمكن حل معظم مشاكل الأجهزة القائمة على معالج صغري وذلك من خلال اتباع الإرشادات البسيطة المبينة آنفاً. وتلك المشاكل التي لا يمكن حلها من خلال العملية المذكورة آنفاً عادة ما تتطلب اختبار وتحليل مكثفين.

التداخل والضجيج
Interferences and Noise

يهتم هذا القسم بمشاكل التداخل والضجيج. ليس هناك مجال آخر مثل التداخل والضجيج في تحديد الأعطال يسبب صعوبات كبيرة لشخصٍ مُحَدِّدٍ للأعطال متوسط المستوى، أوليس هناك مجال آخر مثلهما يصعب العثور عليه وتصحيحه. إن أحد أسباب الصعوبة هو أن مصدر الضجيج أو التداخل قد يكون خارجي بالنسبة للجهاز تحت الاختبار، وربما لا يكون موجوداً في منطقة الاختبار والإصلاح، وقد يكون المصدر متقطعاً. ويمكن تصنيف مشاكل الضجيج والتداخل إلى داخلية أو خارجية، وتتم معاملتها بطرق مختلفة.

الداخلية Internal

يحدث التداخل والضجيج الداخلي عندما يكون مصدر التداخل أو الضجيج داخل الجهاز. ويمكن أن يكونا ناجمين عن فشل أحد المكونات وعوامل ميكانيكية مثل توصيلات مفكوكة وتحويلات غير صحيحة للأسلاك. ويمكن لأنواع كثيرة من فشل المكونات أن يقوم بإدخال مقادير كبيرة من الضجيج في الدارة:

- المقاومات ذات الغشاء.
- المكثفات الورقية أو مكثفات السيراميك أو الميكا.
- الغبار أو غيره من المواد الأجنبية تحت عنصر الانزلاق لمقاومة متغيرة.
- أنصاف النواقل (ففي بعض الأجهزة، تكون وصلة نصف الناقل مُستخدَمة عمداً كمصدر للضجيج).

- تنتج الدارات المتكاملة الخطية في بعض الأحيان ما يُسمّى بـ "ضجيج الطلقة (shot noise)" أو "ضجيج الفرقعة (popcorn noise)".
- تقادم الموصلات، حيث تصبح متآكلة، وتجمع الغبار والأوساخ، وتفقد ضغط التلامس.
- تعاني المفاتيح من نفس المشاكل التي تعاني منها الموصلات.

تتضمن المصادر الميكانيكية للتداخل والضجيج ما يلي:

- أسلاك أو وصلات مقطوعة أو مفكوكة.
- انفكاك البراغي أو المسامير التي تمسك الجهاز معاً (وخصوصاً إذا كانت هناك اختلافات صغيرة في الجهد بين جزئي الجهاز أو إذا كان الجزأين يحتكان معاً).
- الكهرباء الساكنة التي تولدُّها الوصلات المفكوكة والتلامسات المحتكة بين مادتين مختلفتين.
- تحويل سيئ لمسرى الإشارة أو مساري الطاقة. بصفة عامة، فإنه ينبغي أن تبقى مساري الإشارة منفصلة عن مساري الطاقة، وينبغي أن تبقى مساري الإشارة منخفضة المستوى منفصلة عن مساري أو مصادر الإشارة عالية المستوى.
- يسبب الغبار أو النقاط الحادة في دارة عالية الجهد تفريغاً هالياً (corona discharge).
- فقدان اللوحات والتحجيب ووصلات التأريض.

إن قول إيجاد المصدر الداخلي للتداخل والضجيج وتصحيح المشكلة هو أسهل بكثير من فعله. وينبغي اتخاذ الخطوات التالية:

- إذا كان المصدر داخل الجهاز غير معروف، فإن أفضل طريقة هي المرور أولاً خلال الجهاز بعناية شديدة، وتثبيت جميع البراغي والوصلات المفكوكة بإحكام.
- يجب هز الكابلات والتوصيلات ولوحات الدارات والنقر على اللوحات بينما تتم ملاحظة حدوث الضجيج. يجب الحرص على عدم هز الأشياء كثيراً أو النقر عليها بقسوة كبيرة. فيمكن للمرء في هذه الحالة أن يسبب مشاكل أكثر مما يحل.
- يجب تنظيف جميع الأوساخ والغبار من الجهاز. ويجب إيلاء اهتمام خاص لتلك المناطق التي يوجد فيها الجهد العالي.
- يجب الفحص والتنظيف ومراقبة التشغيل بعناية لأي مفاتيح أو تلامسات ريليه (حاكمة) تقوم بتبديل طاقة عالية أو جهدٍ عالٍ.
- يجب مراقبة الضجيج أو التداخل بعناية بواسطة راسم إشارة. ويجب محاولة تحديد خصائص الإشارة غير المرغوب فيها.

- هل هي ذات صلة بالتردد أو معدل التكرار أو الدور أو بطريقة أو أخرى بإشارة نظامية متولدة داخل الجهاز؟
- هل يتضمن الجهاز تغذية بالطاقة بمفتاح أو منظم؟ هل الضجيج أو التداخل ذو صلة بتردد الفتح والإغلاق؟
- هل الضجيج أو التداخل ذو صلة بأي إشارة معروفة لدى المرء، مثل خط التغذية الرئيسي، أو ضعف تردد خط التغذية الرئيسي، أو المعدَّل العمودي أو الأفقي لشبكة مسح أنبوب الأشعة المهبطية (CRT)؟

- يجب محاولة حصر المصدر بوظيفة أو قسم أو دارة.
- إذا كان الضجيج موجوداً على خطوط توزيع الطاقة، فيجب فحص المكثفات بدقة في وحدة التغذية بالطاقة. ينبغي أن يكون هناك مكثف سيراميك أو آخر ذو خصائص جيدة عالية التردد، على التوازي مع كهروليتات المرشح الرئيسي لأن مكثفات الألمنيوم الكهروليتية تصبح أدوات تحريض عند ترددات فوق بضع مئات من الكيلو هرتز. وترتفع الممانعة مع إي زيادة إضافية في التردد.
- يجب فحص مكثفات التجاوز بعناية في أي دارة تولِّد إشارات عالية التردد أو مرتفعة المطال.

الخارجية External

يحدث التداخل أو الضجيج الخارجي عندما يكون مصدر التداخل أو الضجيج خارج الجهاز قيد الاختبار. يمكن أن يكون المصدر الخارجي أي من الأمور التالية:

- التداخل أو الضجيج المنقول عبر خط التغذية الرئيسي.
- التداخل أو الضجيج التي يتم إشعاعه عبر الهواء.
- التداخل أو الضجيج بسبب تغيُّر الحقول المغناطيسية أو الكهربائية على مقربة من الجهاز.
- التداخل أو الضجيج الناتج عن الأجهزة الأخرى في الجوار.

يمكن التخلص من المشاكل الناجمة عن التداخل الخارجي باستخدام ثلاث تقنيات عامة:

- تعديل الأجهزة الحساسة لجعلها أقل حساسية للتداخل. ويمكن القيام بذلك عن طريق التحجيب أو الترشيح أو التأريض.
- تعديل مصدر التداخل للتقليل من كمية التداخل التي يتم توليدها أو إرسالها. يتم ذلك من خلال التحجيب والترشيح والتأريض المناسبين.
- تحريك إما مصدر التداخل أو الجهاز الحساس إلى موقع لا تحدث فيه المشكلة.

يمكن أن يكون التداخل أو الضجيج ناجماً أيضاً من خلال وصل جهازين أو أكثر. والسبب الأكثر شيوعاً هو تدفق التيار في حلقة الأرضي. تحدث حلقات الأرضي عندما يكون جهازين أو أكثر متصلين مع بعضهما بطريقة يوجد فيها أكثر من اتصال واحد إلى الأرضي. تشكّل التوصيلات المتعددة حلقة يمكن من خلالها أن يتدفق التيار إذا كان هناك فرق جهد بين نقاط في الحلقة. ونظراً لأن المقاومة حول حلقة الأرضي صغيرة جداً، فإن هناك حاجة فقط إلى فروقات جهد صغيرة لكي تسبب تدفق تيارات كبيرة. تولّد هذه التيارات حقول مغناطيسية تؤدي إلى التداخل. وفي كثير من الأحيان، فإنه لا يمكن التخلص من جميع حلقات الأرضي في الممارسة الفعلية. إن المشكلة في الواقع هي ليست وجود حلقة الأرضي، فالمشاكل لا تحدث إلا عندما يتدفق التيار في الحلقة. إذا تم تخفيض التيار في حلقة أرضي، فإنه يتم تخفيض التداخل أيضاً. من الممكن في أغلب الأحيان إدخال مقاومة صغيرة القيمة (١٥- ٥٠ أوم) في الحلقة، مما يؤدي عادة إلى تقليل التيار بحيث لن يكون هناك أي تداخل ضار.

تجنب المزيد من المشاكل
Avoiding More Trouble

يقدّم هذا القسم معلومات لمنع أي إضافات إلى مهمة تحديد الأعطال الصعبة بالفعل. إن مجالات الاهتمام هي بشكل رئيسي الميكانيكية والكهربائية والقياس.

الميكانيكية Mechanical

الأداة المناسبة للعمل The Right Tool for the Job

يجب استخدام الأداة المناسبة للعمل خلال تفكيك وتجميع جهاز ما. يمكن أن يسبب استخدام الأداة غير المناسبة ضرراً من شأنه أن يحول دون إزالة برغي أو عنصر، أو أنها يمكن أن تسبب ضرراً كبيراً مثل نتوءات أو خدوش. على سبيل المثال، هناك على الأقل ثلاثة أنواع من البراغي المتصالبة.

- فيليبس (Phillips): يمكن تحديده لأن شق رأس البرغي لديه قاعدة مسطحة، والمفك أيضاً لديه رأس مسطح. وهذا هو النوع الأكثر شيوعاً من البراغي المتصالبة.
- بيرسون (Pearson): يبدو تماما مثل فيليبس، فيما عدا أن شق رأس البرغي لديه قاعدة مدببة، والمفك لديه رأس مدبب.
- مفك بوسي (Posi): يملك رأس مفك البراغي انحناء محدب ليتماشى مع رأس البرغي. يمكن تحديد رأس البرغي بواسطة خطوط إضافية بين الشقوق. يستخدم هذا النوع من البراغي في جميع أجهزة Hewlett-Packard وTektronix.

تأتي المفكات والبراغي في قياسات عديدة ويجب استخدام قياس المفك المناسب للبرغي. غالباً ما تكون البراغي والعزقات (الصواميل) مشدودة جداً ولا يمكن فكها بسهولة. يمكن استخدام تقنيات متعددة لفك البراغي.

يجب تنظيف رأس البرغي ووضع مفك براغي بقياس مناسب بشكل ثابت في رأس البرغي والقيام بفتلة مفاجئة سريعة بالمعصم. تؤدي هذه العملية في كثير من الأحيان إلى فك البرغي باستثناء البراغي صعبة الفك. إذا لم يتم فك البرغي، فيجب الضرب (بشكل خفيف) على قبضة مفك البراغي بمطرقة، ومن ثم المحاولة مرة أخرى فك البرغي بفتلة مفاجئة بالمعصم ويجب تطبيق عزم فتل على مفك البراغي أثناء ضربه بالمطرقة. يجب وضع زيت اختراق أو مذيب والسماح بامتصاصه، ومن ثم المحاولة مرة أخرى فك البرغي. إذا كان البرغي موضوع مع الورنيش أو اللكر أو مادة أخرى لمنع الانفكاك، فيجب تسخينه بواسطة الكاوي، ومن ثم محاولة فكه وهو دافئ.

إن الكماشات ثاقبة الرأس ليست مصنوعة لاستخدامها كمفتاح براغي لشد أوفك البراغي والعزقات. وبصفة عامة، فإن الكماشات لا يتم تصنيعها للاستخدام كمفتاح براغي. فهي تترك خدوش على العزقات والبراغي بحيث لا يعد مفتاح البراغي المناسب صالحاً.

ينبغي عدم استخدام كماشات قطع الأسلاك القطرية لقطع أسلاك الفولاذ أو المسامير والبراغي الصغيرة. فالفكين غير مُصَنَّعين لقطع مواد أقسى من سبائك النحاس. وهناك كماشة قطع خاصة مصنوعة لقطع الفولاذ.

هناك أنواع مختلفة عديدة من المطارق. والسبب هو أن كل نوع من الأنواع مُصَمَّم لاستخدامه لغرض معين. يتم تصميم مطارق معينة لاستخدامها لضرب الفولاذ، بينما يتم تصنيع أخرى من أجل دق المسامير. إن دق الفولاذ بمطرقة تم تصميمها من أجل دق المسامير خطير جداً، حيث يمكن للرأس أن يتحطم أو يتكسر، مما يؤدي إلى قذف شظايا صغيرة من رأس المطرقة الفولاذي هنا وهناك. ولقد تم إصابة عمال بالعمى من جراء استخدام المطرقة الخاطئة.

العلاقات الفيزيائية والاتحادات Physical Relationship and Alignments

يجب أن يكون المرء حذراً عند تجزئة شيء ما، وخصوصاً إذا لم يكن المرء معتاداً على الجهاز. ويجب عليه جعل طاولة العمل وما يحيط بها خالياً من جميع المواد والأدوات والأجهزة غير الضرورية. كما يجب المراقبة بعناية والتفكير قبل البدء بالتفكيك. يجب على المرء تحديد كيفية التجزئة والأدوات التي يحتاجها. إذا كان هناك نوابض أو أجزاء صغيرة أخرى يمكنها أن تضيع بسهولة أو توضع في غير محلها، فإنه ينبغي وضعها في حاوية صغيرة. يجب خدش أو وضع علامة على الشق بين الأجزاء قبل إبعادها عن بعضها مما يسمح بإعادة التجميع مع المحافظة على المحاذاة الأصلية. وهي تقنية خاصة ذات قيمة لاستخدامها عند تفكيك المحركات أو الأجهزة الأخرى ذات التناظر الاسطواني. عند تفكيك جهاز ما، فإنه من المفيد وضع الأجزاء بعيداً في منطقة خالية على طاولة العمل في نفس الترتيب الذي يتم إزالتها فيه. يتم إعادة معظم الأشياء معاً في ترتيب عكسي للتفكيك وتسمح هذه الطريقة للمرء بأن يتذكر الترتيب.

الكهربائية Electrical

هناك ثلاثة أسباب رئيسية للمشاكل الكهربائية التي يمكن أن تُضاف إلى الصعوبات التي يمكن أن يواجهها المرء: الساكنة (الستاتيكية) والعابرات ودارات القصر.

الساكنة Static

تسبب الكهرباء الساكنة ضرراً أكبر بكثير مما يدركه معظم الناس. يملك الشخص العادي سعة قيمتها بين ٢٥٠ و٥٠٠ بيكو فاراد. ولذلك فمن السهل تجميع شحنة ساكنة كافية لتوليد جهود من ٥- ٢٠ كيلو فولت مكافئة لطاقة مُخزَّنة تتراوح بين ٣- ١٠٠ ميلي جول. إن تبديد مثل هذه الطاقة الكبيرة في عملية تفريغ قصيرة المدة كاف لإلحاق الضرر بمعظم وصلات أنصاف النواقل منخفضة أو متوسطة الاستطاعة. يدرك معظم المهندسون بأن الكهرباء الساكنة يمكنها أن تلحق الضرر بعناصر الـ MOS والـ CMOS، ولكن من المهم إدراك أن العناصر ثنائية القطبية مثل الدارات المتكاملة من نوع TTL والمضخمات العملياتية والترانزستورات ثنائية القطبية يمكن أن تتضرر أيضاً.

بينما يتلف تفريغ الشحنة الساكنة عناصر الـ MOS عادة، فإن الأضرار التي تلحق بالعناصر ثنائية القطبية ليست واضحة عموماً. عادة ما ينتج عن تفريغ الشحنة وصلة ضعيفة تفشل في وقت لاحق تحت تأثير جهد عادي أو إجهاد حراري. غالباً ما تُظهِر الترانزستورات نتائج بيتا (betas) منخفضة أو غير مستقرة أو غير خطية إلى درجة كبيرة بعد تعرضها لتفريغ شحنة ساكنة. إن الكهرباء الساكنة مزعجة وخصوصاً عندما تكون الرطوبة النسبية أقل من ٤٠٪.

إن أفضل طريقة لمنع ضرر الكهرباء الساكنة هي أن يكون المرء مدركاً لها وأن يمنع تشكّل فروقات الجهد بسبب الكهرباء الساكنة. وينبغي اتباع التوجيهات التالية للتقليل من مخاطر الكهرباء الساكنة إلى الحد الأدنى:

- يجب تخزين ونقل الأجهزة الحساسة للكهرباء الساكنة في حاويات ناقلة للتيار. وعدم تخزين الدارات المتكاملة والترانزستورات في أدراج بلاستيكية، أو وضعها على بلاستيك أبيض من البوليستيرين.
- إذا كان ذلك ممكناً، فيجب أن يكون هناك منطقة من مساحة العمل مُجهزة بسطوح طاولة وألواح أرضية ناقلتين.
- توفير سوار معصم أو وسائل أخرى للوصل مع جهد الأرضي.
- لا ينبغي وصل سطح الطاولة الناقلة والألواح الأرضية وسوار المعصم مباشرة إلى نقطة الأرضي. وينبغي أن يتم الوصل إلى الأرضي من خلال مقاومة قيمتها ١٠٠ كيلو أوم. وسوف تسمح هذه المقاومة باستنزاف الشحنة الساكنة بشكل كاف، كما أنها مرتفعة بما يكفي لمنع وقوع خطر الصدمة إذا لامس المرء جهود عالية في الجهاز قيد الاختبار.
- عند التعامل مع دارات متكاملة ثنائية الخط (dual-in-line)، فيجب مسكها بالأصابع من طرفي العلبة. ويجب عدم لمس الأرجل إلاّ عند الضرورة للقيام بذلك.

- يجب استخدام كاوي لِحام مؤرَض الرأس.
- على الرغم من أن العنصر المُركّب على لوحة دارة هو بشكل عام أقل حساسية للكهرباء الساكنة، فإنه ليس كذلك دائماً، ويمكن لأنصاف النواقل أن تتضرر على الرغم من أنها مُركّبة في لوحة دارة.

العابرة Transients

يمكن أن تسبب النبضات السريعة (spikes) والأعطال أو غيرها من الجهود والتيارات العابرة فشل العنصر. وعادة ما تحدث هذه الأمور كنتيجة للفتح والإغلاق أو التغيرات المفاجئة في الجهود والتيارات.

- يجب عدم وصل أو فصل المكونات أو العناصر عندما تكون التغذية مُطبَّقة على الدارة.
- يجب عدم إزالة أو إدخال لوحات دارة مطبوعة عندما تكون التغذية في حالة عمل.
- يجب أخذ الحذر من العابرات التحريضية. حيث يمكن أن تكون ناجمة عن أشياء مثل المحركات والريليهات والمحولات، التي إما أنها غير مزوَّدة بوسيلة لتبديد طاقة الحقل المغناطيسي عند التشغيل أو إيقاف التشغيل، أو أن أجهزة الوقاية المزوَّدة قد باءت بالفشل.

دارات القصر Short Circuits

يمكن أن تكون دارات القصر ناتجة عن ما يلي:

- الوصل بالانحناء أو قصر نقطتين أثناء إزالة اللوحات أو محاولة الوصول إلى الدارة أو استبدال عنصر أو أثناء إجراء القياسات.
- استخدام أداة غير صحيحة أو استخدام أداة غير مناسبة.
- انزلاق المجس أثناء إجراء القياس أو أثناء وصل المجس.
- سكب سائل على الأداة أو الجهاز أوفيهما.

يمكن منع دارات القصر غير المقصودة من خلال مراعاة القواعد التالية:

- يجب على المرء أن يكون حذراً.
- يجب إطفاء الطاقة أثناء وصل مجسات الاختبار.
- يجب استخدام رأس المجس المناسب. وعدم محاولة القياس على أرجل الدارات المتكاملة بواسطة مجس غير حاد حيث إنه من السهل جداً أن ينزلق.
- يجب أن لا يكون هناك قهوة أو شاي أو كولا أو سوائل أخرى لا لزوم لها في مكان قريب عند العمل على أجهزة كهربائية أو إلكترونية.

القياسات Measurements

تنقسم المشاكل الناجمة عن القياسات إلى ثلاث فئات: أدوات غير مناسبة، وقياسات غير صحيحة، وتقنية قياس غير صحيحة.

الأدوات غير المناسبة Improper Tools

من المهم عند أخذ القياسات استخدام المجس المناسب أو رأس المجس المناسب. على سبيل المثال فإنه من الصعب جداً أخذ قياسات من الجهة الخلفية للوحة دارة ملفوفة بالأسلاك من دون استخدام رأس المجس المناسب. إن التباعد على الكثير من لوحات الدارات قريب جداً، ويكاد يكون من المستحيل منع مجس اختبار غير مناسب من ملامسة أكثر من نقطة واحدة في وقت واحد.

- يجب استخدام المجس المناسب.
- يجب استخدام المساعدات مثل المشبك للمرور إلى الدارات المتكاملة ثنائية الخط للوصول بسهولة إلى الأرجل.
- قد يكون من الضروري في بعض الحالات لِحام سلك إلى نقطة في الدارة للحصول على القياس، وبخاصة إذا لم يكن هناك لوحة توسيع للاستخدام.
- يمكن أن تكون لوحات التوسيع والكابلات مفيدة جداً. ويجب التذكر أن لوحات التوسيع لا تملك عادة مفاتيح للتأكد من أن العنصر الجانبي للوحة الدارة يقابل الاتجاه الصحيح.

تقنية القياس غير المناسبة Improper Measurement Technique

في حالة وجود تقنية قياس غير صحيحة، فإن فكرة القياس صحيحة، إلاّ أن القياس يتم بطريقة لا يتم فيها اكتشاف الخطأ أو أنه غير ظاهر. على سبيل المثال، إذا تم قياس خرج مُنظِّم الوحدة الإلكترونية للتغذية بالطاقة تحت شروط عدم تحميل، فإنه يمكن أن يظهر الخرج صحيحاً حتى لو كان هناك قصر بين القاعدة والباعث في ترانزستور التمرير التسلسلي. وللكشف عن هذه المشكلة يجب تحميل وحدة التغذية. تغيِّر لوحات التوسيع الخواص الكهربائية لنظام عالي السرعة أو الرقمي أو التمثيلي منخفض المستوى أو أي نظام آخر أو دارة حيث طول السلك مهم فيها. وقد لا تكون لوحات التوسيع مفيدة جداً في ظل هذه الظروف.

السلامة
Safety

إن هذا القسم حول السلامة: السلامة للقائم بتحديد الأعطال، والسلامة لمُشَغِّل التجهيزات، والسلامة للمريض فيما يتعلق بالأجهزة الطبية. هناك العديد من الطرق التي يمكن للمرء أن يُصاب من خلالها أثناء عمله على أو حول الأجهزة والأدوات. يمكن تصنيف مصادر الأخطار على أنها كهربائية أو ميكانيكية أو إشعاعية أو حروق أو بيولوجية.

الأخطار الكهربائية Electrical Hazards

التأثيرات الفيزيولوجية Physiological Effects

يُحدث التيار الكهربائي الضرر. ولا تؤدي التيارات الأقل من ٥٠٠ مايكرو أمبير (μA) إلى أي إحساس أو شعور. يتم تنبيه الأعصاب الحسية عند مستويات تيار من ٥٠٠ مايكرو أمبير إلى ٢ ميلي أمبير (mA)، وفوق قيمة ٢ ميلي أمبير يتم تنبيه الأعصاب الحركية، وتتقلص العضلات عندها. أما فوق ١ أمبير فإنه من المحتمل أن يكون هناك حروق كنتيجة لفقدان الطاقة وتوليد الحرارة في الأنسجة.

إن الحساسية الكهربائية تابع للتردد. إن التردد الذي تكون له الناس والأنظمة البيولوجية الأخرى أكثر حساسية يقع في المجال من ٥٠ إلى ٦٠ هرتز. عند الترددات الواقعة أعلى وأدنى من هذا المجال، فإن هناك حاجة إلى مزيد من التيار حتى يكون هناك شعور بأي إحساس، كما أن هناك حاجة إلى مزيد من التيار لوقف القلب عن الخفقان.

إن معظم الإصابات الناجمة عن الصدمات الكهربائية هي إصابات رضوض أو حروق. ينتج الرض عن "رد فعل الإجْفال" أو تقلصات العضلات بشكل مفاجئ. ومن أجل أن تحدث صدمة كهربائية، فإن هناك ثلاثة شروط يجب تحقيقها: (١) يجب أن يكون هناك فرق جهد؛ و(٢) يجب أن يكون هناك مسار لتدفق التيار؛ و(٣) يجب أن يتدفق تيار كافٍ.

قواعد السلامة لمنع الصدمة الكهربائية Safety Rules to Prevent Electrical Shock

- إذا كان ذلك ممكناً، يجب إطفاء كافة منابع التغذية بالطاقة أثناء العمل داخل الجهاز، وعند إزالة الأغطية واللوحات، وعند وصل مجس إلى نقطة اختبار عالية الجهد، وعند العمل في دارات مكتظة، وعند ترك جهاز بجهدٍ عالٍ مكشوفاً.
- إذا كان يجب أن تكون التغذية في حالة تشغيل، فيجب عندها على المرء استخدام يد واحدة فقط. ويجب إبقاء اليد الأخرى في الجيب، حيث لا يمكن ملامسة جزء آخر من النظام لتأمين مسار للتيار من خلال المرء. يجب أن يكون هناك مسار للتيار وفرق للجهد حتى يتم حدوث صدمة كهربائية.
- يتم تصميم التشابكات لغرض ما. ويجب الأخذ في الاعتبار عواقب السلامة قبل إلغاء التشابكات.
- يجب استخدام أدوات معزولة كلما وحيثما كان ذلك ممكناً.

إن الغرض من السلك الثالث أو "الأرضي" في كبل تغذية الجهاز هو حماية المستخدم أو المتعامل مع التجهيزات من الصدمة الكهربائية. يزيد استخدام الأجهزة غير المؤرضة من مخاطر الصدمة كهربائية. ومن المهم إدراك أن هذه التجهيزات تعمل تماماً من دون أن يكون سلك الأرضي سليم. والطريقة الوحيدة لمعرفة ما إذا كان الجهاز مؤرض هي قياس الاستمرارية من رجل الأرضي لمأخذ الطاقة إلى الهيكل (الشاسيه).

الأخطار الميكانيكية Mechanical Hazards

أدوات المُغذّاة بالطاقة Power Tools

يمكن أن تكون أدوات الطاقة المُغذّاة بالطاقة الكهربائية مثل المثاقب والمجالخ والمناشير خطرة. يجب تثبيت ما يجري العمل عليه عند استخدام ضغط المثقاب. يجب حماية العينين من الشظايا المعدنية والزجاج المتطايرين. كما يجب الاحتراس من الحواف الحادة التي يمكن أن تجرح. يجب عدم إلغاء التحجيب والواقيات التي يتم توفيرها للحماية. ويجب استخدام الملابس الواقية أو واقيات الوجه أو غيرها من المعدات الواقية. والأهم من ذلك، هو وجوب استخدام الأدوات والمعدات بشكل صحيح.

اسطوانات الغاز المضغوط Compressed Gas Cylinders

يُحتمل أن تكون أسطوانات الغاز المضغوط من الأجهزة الخطرة جداً. وعندما تكون مملوءة بضغطٍ عالٍ، فإن ضربة خفيفة نسبياً يمكن أن تحوّل الأسطوانة إلى صاروخ بقوة كافية لاختراق جدار إسمنتي. يجب أن تكون أسطوانات الغاز مؤمّنة دائماً بحيث إنها لا يمكن أن تنقلب. كما ينبغي أن تكون محمية من الضربات الحادة.

الرفع Lifting

يجب الرفع بعناية وبشكل صحيح. حيث يمكن لإصابات الظهر أن تحدث و تكون دائمة. يجب عدم محاولة رفع ما هو أكثر من المستطاع. يجب العثور على مساعدة. ويجب توخي الحذر بشكل خاص عند رفع مواد غير مريحة أو غريبة الشكل أو عند رفع أي شيء فوق الرأس.

أخطار الإشعاع
Radiation Hazards

الإشعاع غير المُؤيِّن Non-Ionizing Radiation

إن الترددات الراديوية والأمواج المايكروية (المتناهية الصغر) والضوء المرئي والأشعة فوق البنفسجية هي أشكال للإشعاع غير المُؤيِّن. إن التأثير الرئيسي لها هو حرق من نوع ما. ويمكن أن تسبب الترددات والأمواج المايكروية حروق خطيرة تظهر على شكل ثقب صغير في الجلد ولكنها تسبب أحجام متضررة أكبر تحت الجلد. وتُشفى هذه الحروق ببطء شديد، وهناك احتمال كبير بأن تصبح ملوثّة.

غالباً ما يظهر ضرر العينين على شكل إعتام لعدسة العين يمكن أن يسبب العمى. قد لا يتشكل إعتام عدسة العين إلا بعد سنوات من التعرض. يستخدم أو يحتوي العديد من الأجهزة العلمية على مصدر للضوء. وقد يكون المصدر أشعة تحت حمراء أو مرئية أو فوق بنفسجية؛ أو انفراغ غازي، أو قوس كهربائي، أو عنصر متوهّج، أو ليزر. إن الكثير من هذه المصادر هو ضوء مكثف أو ساطع جداً ويمكن أن يسبب ضرر خطير ودائم للعين. إن معظم

الناس مدركون لمخاطر الأشعة فوق البنفسجية، ولكن أطوال الأمواج تحت الحمراء هي على نفس القدر من الخطورة للعينين. يجب على المرء دائماً حماية عينيه وعيون زملائه من العمال عند العمل على أجهزة تشمل أجهزة الليزر أو غيرها من مصادر الضوء.

الإشعاع المُؤَيِّن Ionizing Radiation

لا يمكن رؤية الإشعاع المُؤَيِّن أو سماعه أوشمه أو الشعور به. لذلك يجب على المرء أن يعتمد على الأجهزة للكشف عن وجوده. يجب دائماً ارتداء الشارات الشريطية أو وسائل الكشف وقياس الجرعة الأخرى أثناء العمل حول أجهزة الأشعة السينية. ويجب عدم دخول الغرفة بدون ملابس واقية مناسبة عندما تكون الأشعة السينية في حالة تشغيل. وعند العمل مع النشاط الإشعاعي، يجب أن يكون المرء حذراً من التلوث أو التسريب.

تستخدم بعض الأجهزة كميات من النشاط الإشعاعي يُحتمل أنها خطيرة وتُعتبر هذه الكميات جزء لا يتجزأ من هذه الأجهزة. تتضمن الأمثلة وحدة العلاج بالكوبالت وكاشف تأين مُستخدَم في العديد من أجهزة التخطيط اللوني (chromatographic) الغازي. تحتوي بعض المفاتيح الإلكترونية عالية التيار والجهد على مصادر مُشِعَّة لتحقيق استقرار خصائص تشغيلها. فإذا كانت هذه المفاتيح مكسورة، فإنه يمكن تحرير كميات خطرة من النشاط الإشعاعي.

إشعاع الصوت Sound Radiation

يمكن أن يسبب الصوت عالي الكثافة فقدان سمع دائم وطنين في الأذنين. إن العديد من الأجهزة فوق الصوتية (وخصوصا أجهزة التنظيف بالأمواج فوق الصوتية الكبيرة وأجهزة التفتيت (disintegrators) بالأمواج فوق الصوتية الكبيرة المُستخدَمة لتمزيق الخلايا في البحوث البيولوجية) لديه خرج طاقة كافٍ لكي يسبب ألم في الرأس أو غيره من المشاكل. يجب استخدام سدادات الأذن. ووضع القطن في الأذنين هو أفضل من لا شيء.

الأخطار الأخرى Other Hazards

أخطار الحروق Burns Hazards

إن هذه في معظمها لا تحتاج إلى شرح. إن كاويات اللِحام الساخنة، والأنابيب المفرَّغة، وأجهزة التسخين، واللمبات، والمحركات، ومقاومات الاستطاعة، ومصارف الحرارة يمكنها جميعاً أن تسبب حروقاً مؤلمة. والقاعدة هي إمعان النظر بكل شيء ساخن والحذر منه.

الأخطار البيولوجية Biological Hazards

لا تنطبق هذه المخاطر إلا على بعض الأجهزة الطبية، مثل جهاز غسيل الكلى والأجهزة الجراحية وأجهزة مراقبة المريض، التي تم استخدامها على مرضى يعانون من أمراض معدية. إذا كان لدى المرء جهاز طبي يوجد عليه دم، فيجب عليه افتراض إمكانية كونه مُعدياً. لذلك يجب تنظيفه قبل القيام بأي تحديد للأعطال أو إصلاح. يجب

استخدام القفازات وغيرها من الملابس الواقية. إن أحد الأجهزة العامة التي غالباً ما تحتوي على أخطار بيولوجية هو جهاز الطرد المركزي (المثفّلة). فغالباً ما يكون السطح الداخلي للوعاء مغطى بمواد من أنابيب الطرد المركزي التي كُسرت أثناء الدوران السريع.

إن الضمان بأن الجهاز الذي يتم إصلاحه وإعادته للاستخدام آمن للتشغيل هو مسؤولية الشخص الذي يقوم بالإصلاح. وهذا يعني أن جميع التشابكات تعمل، وأن كل التحجيبات أو الواقيات موجودة وتؤدي عملها، وأنه لا توجد أسلاك كهربائية مكشوفة لصدم المُشَغِّل.

يشكّل المرضى فئة خاصة من مستخدمي التجهيزات. فهم غالباً ما لا يدركون المخاطر ولا يستطيعون تحريك أنفسهم. لا يعرف المرضى أنه ليس من المفترض تعرضهم لصدمة من قبل الجهاز الطبي. إنهم غالباً ما يكونون عرضة للإصابة أكثر من الأشخاص الأصحاء. فالمرضى الذين يعانون من أمراض القلب هم عرضة للمعاناة من الأضرار الناجمة عن صدمة كهربائية أكثر من الأشخاص الأصحاء.

الاستنتاج
Conclusion

لا توجد أسرار عميقة ومظلمة لتحديد الأعطال الفعال. إن تحديد الأعطال هو عملية تطبيق ما يعرفه المرء بالفعل بطريقة منطقية ومنهجية للحصول على معلومات إضافية ضرورية لإيجاد وتصحيح الأعطال في الأجهزة العلمية. إن أهم جهاز لتحديد الأعطال هو دماغ الشخص القائم بتحديد الأعطال وحواس البصر والسمع والشم واللمس. وأهم شيء يجب تذكره في تحديد الأعطال هو أن يكون منطقياً ومنهجياً. فيجب على المرء التوقف والتفكير وتخطيط الطريقة. إن السبب الأكثر شيوعاً للفشل الإلكتروني هو الحرارة وارتفاع درجات الحرارة. والسبب الأكثر شيوعاً للإحماء الزائد هو الأوساخ أو الغبار أو غيرها من المواد التي تغطي المكونات أو الدارات أو الأجهزة مما يؤثر على خصائص انتقال الحرارة وتدفق الهواء.

إن المحافظة على الأدوات نظيفة هو أفضل وسيلة للتقليل من تكرار الفشل. فهناك أعطال كثيرة غير الكترونية. قد يكون الفشل ناجماً عن عطل ميكانيكي؛ أو أسلاك أو توصيلات مقطوعة أو أجزاء مكسورة؛ أو براغي أو مسامير ملولبة أو وصلات أو مثبتات مفكوكة أو مفقودة؛ أو أجزاء مستهلكة أو غير متسقة. ويجب التذكر دائماً النظر والتفكير وفعل الأشياء السهلة أولاً.

يجب العمل من خارج الجهاز، ويجب أن يعرف المرء كل ما يمكنه من الخارج. إن فحصاً مرئياً دقيقاً، مع الحفاظ على وصف العطل في الذاكرة، هو مرشد مفيد. ويجب على المرء أن ينظر ويفكّر ويُشَغِّل. فيجب عليه البحث أولاً عن الأسباب الواضحة والبسيطة والمحتملة للمشكلة. كما يجب عليه الحفاظ على المخطط الصندوقي

الوظيفي في الذاكرة للمساعدة في توجيهه في البحث عن المشكلة. إن أحاسيس المرء ودماغه هي المزيج الأفضل لتحديد الأعطال.

يجب عدم الرجوع إلى الرسومات التوضيحية أو أخذ قياسات إلاّ بعد استخدام الحواس إلى أقصى حد ممكن. وإذا كان هناك حاجة إلى قياسات أو اختبارات أخرى، فيجب القيام أولاً بأبسطها أو أسرعها. ويجب على المرء عدم أخذ أي قياسات إذا كان لا يعرف ماذا ينبغي أن تكون نتيجة القياس. عند البحث عن أعطال أو مكوّن فيه خلل، فيجب البحث عن تلك الأكثر احتمالاً. يجب الأخذ في الاعتبار معدّلات الفشل وأنماط الفشل للمكونات والوحدات والأجهزة.

يجب التأكد من أن كافة التوصيلات نظيفة ولديها تلامس كهربائي جيد. إن الفشل الأكثر احتمالاً والأجزاء التي يجب فحصها أولاً (بعد الفحص المرئي الدقيق) في الأجهزة التي لديها إلكترودات خارجية أو مبدّلات هي الإلكترودات والمبدّلات والكابلات.

يجب عدم نسيان استكمال الأعمال الورقية، .فهذا عمل مهم. بعد إنجاز الإصلاح، يجب على المرء مراجعة كامل عملية تحديد الأعطال والإصلاح، ماراً على كل خطوة من الخطوات التي تم اتخاذها. ويجب على المرء سؤال نفسه عما إذا كانت العملية التي اتخذها هي الأكثر فعالية أو الأفضل في ظل الظروف السائدة. وهل سيتعامل مع المشكلة بنفس الطريقة إذا كان لديه جهاز آخر بأعراض مشابهة؟ وما الذي تعلمه من العملية برمتها؟

المراجع

References

Aston R. Principles of Biomedical Instrumentation & Measurement. Merrill, PA, Macmillan Publishing, 1990.

Dyro JF. Methods for Analyzing Home Care Medical Device Accidents. J Clin Eng 23(5):359–368, 1998.

Dyro JF. The Safety Box. Proceedings of the AAMI 30th Annual Meeting. Arlington, VA, Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 1995.

Kermit E. Medical Adhesive Tape Should Be a Controlled Substance. Boston, 28th Annual AAMI Meeting, 1993.

Shepherd M, Dyro JF. The Whimsical Use of White Tape (educational slide presentation), University of California, San Francisco, 1982.