بررسی نقش اتصالات ثابت در شبکه‌های فشار ضعیف توزیع برق

احمد مزیدی

شرکت توزیع نیروی برق مازندران

چکیده :

هدف بررسی کمی وکیفی اثرروشهای متعارف وغیراستانداردا تصالات ثابت در شبکه‌های فشارضعیف توزیع ، ازنقطه نظرافزایش تلفات انرژی ،نوسانات ولتاژوکاهش ضریب اطمینان درتداوم برق‌رسانی درسیستم‌توزیع انرژی می‌باشدکه دراین راستاتحلیل تئوریک پدیده ها تبیین فیزیکی فرایند افزایش مقاومت درمحل‌اتصال (Contact Resistance) که میتواندناشی ازتغییرات مکانیکی ،فیزیکی وشیمیائی درنقاط اتصال (Contact Point) باشدمحورمطالب ارائه‌شده میباشدکه درنهایت براساس مقایسه وارزیابی برخی مقادیر اندازه‌گیری شده ومحاسباتی ،ارائه طریق جهت اتخاذ روشهای مناسب به منظورکاهش آثار مذکور ، میگردد.

شرح مقاله:

برخی معایب قابل توجه درساختارشبکه‌های توزیع برق ازدیدپرسنل فنی جرقه‌ای کوتاه ازروزنه‌ای‌کوچک بیش به نظر نمی‌آید درصورتی که ازدیدتحقیقاتی میتواندگذاری به فضائی‌کاملاًعلمی وتخصصی باشد.

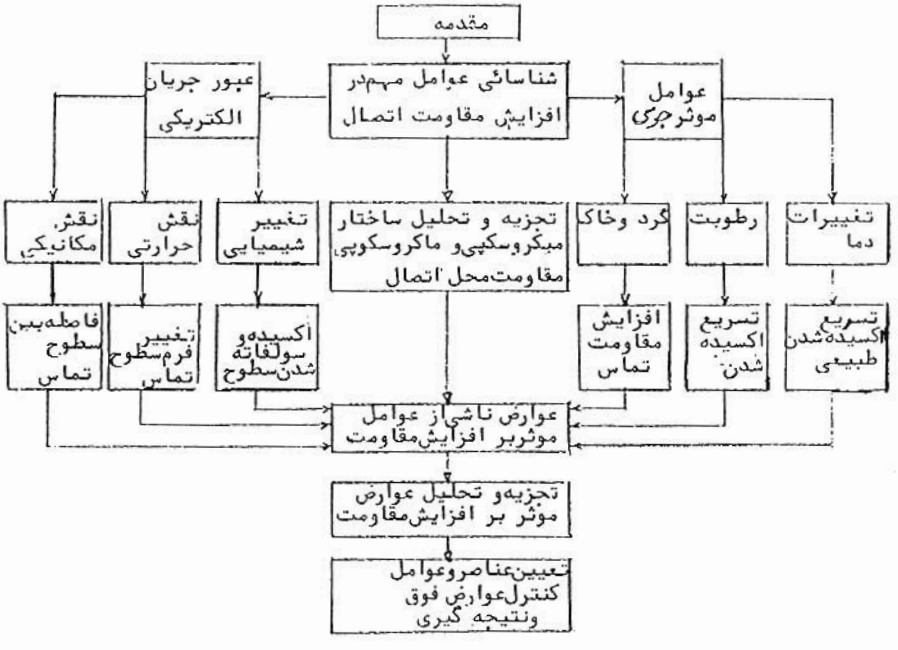
دلایل عبارتنداز:۱-عدم آگاهی علمی عمیق پرسنل فنی ازمفاهیم وفرایندفیزیکی پدیده‌های موجود درمسیرانتقال انرژی .

۲- عدم وجودآموزش اساسی ومستمربه منظورایجادمهارت فنی ،تدوین دستورالعمل و مشخصات فنی استانداردردرهرحوزه تخصصی .

۳-عدم برنامه‌ریزی دقیق ونظارت پیگیردراجرای‌کارهای فنی براساس دستورالعملهای مدون فوق به تبع کمبودهای مذکورو باورهاوعادات مبتنی بربرداشت‌های نادرست فنی درسطوح پایین وتسری آن به سطوح کارشناسی ؟!موجبات ناچیزشمردن‌برخی معایب بزرگ وبزرگنمائی برخی مسائل کوچک رافراهم آورده‌است . هدف دراین مقاله تحلیل ضعف برنامه‌ریزی وشناخت مدیریتی از امکانات بالقوه وبالفعل درون یک سیستم نیست بلکه اشاره به منشاءبرخی بن بست‌های‌تحقیقاتی میباشدازجمله مسائل به ظاهرکوچک درشبکه‌های توزیع وبویژه شبکه‌های هوائی فشارضعیف وجود رابط هاواتصالات ثابت میباشدکه اگربراساس دستورالعملهای استانداردداتصال موردنظربرقرار و مطابق دستورالعملهای فنی بهره‌برداری نگهداری شوند مسئله‌ای لااقل درکوتاه مدت وجودنخواهد داشت (صرفنظرازشرایط‌محیطی خاص) معهذا باتوجه‌به‌نکات مذکوربرقراری اتصالات‌به روش غیراستاندارد وبه روال معمول ومألوف پرسنل فنی و عدم بهره‌برداری مناسب،نیازبه بازنگری عمیق‌تر به مفاهیم ودستورالعملهای اجرائی مطابق با استاندارد واحیاءبرخی روشهاکه به بوته فراموشی سپرده شده است را،ضروری میسازد . رابط یاجمپرهادرشبکه‌های هوائی‌توزیع وبعضاً اتصال ترمینالها در داخل تابلو و ورودی یاخروجی ترانسفورماتوربه روشی غیراستانداردمانندعدم استفاده ازکلمپس ،کابلشو،فرم مناسب جمپروغیره موجبات افزایش مقاومت مسیربار،نوسانات ولتاژ وافت ولتاژوتوان رافراهم میاورد دربررسی و طراحی شبکه‌های‌آبرسانی ملاحظه میشودکه جهت

زانوهاوزوایای مسیر،افت معادلی تعیین میشود اما درطراحی شبکه‌های توزیع ،وجـود عـدم دقت درایجاد اتصالات و وجودعوامل غیرقابل اجتناب درجهت سست شدن آنهاافت هـای نـاشی ازآن معمولاً موردتوجه نمیباشددرصورتی که دریک شبکه فشارضعیف درطول مثلا" ۳۰۰متر باسیم مسی مقطع ۳۵ میلی مترمربع که بطورسرانگشتی مقاومتی حدود ۰/۱۵ اهم داردمیتواندبادویاسه جمپردر مسیر درطول زمان ، مقاومتی چندبرابرداشته‌باشدبه عبارت ساده‌ترشبکه ۳۰۰مـتری عـملاً شـبکه ۱۰۰۰متری میباشد شاهد مدعا برخی اندازه‌گیریها درجدول شماره (۴)برای‌یک شبکه‌باجریان کم میباشد لذادردنباله مطالب می‌پردازیم به تحلیل فیزیکی پدیدهٔ مزبوروعوارض ناشی ازآن .

الگوریتم مراحل تجزیه وتحلیل تئوری :



تجزیه وتحلیل فیزیکی :

هرنوع سیستم یادستگاه الکتریکی تولیدانتقال وتبدیل انرژی ،متشکل ازقسمتهای کوچکتر میباشد که انرژی انتقالی بناچار ازمحل اتصال یاتماس دوقطعه عبورمی‌نماید که به آن نقطه تماس الکتریکی (Point of Electrical contact)گویندواجزاءمرتبط درنقطهٔتماس راعناصرتماس نامندوجوداتصالات در مسیر عبوربار (جریان‌الکتریکی) درحالت کلی امری اجتناب‌ناپذیربوده ودر اینگونه مواردبه صورکلی زیرقابل تفکیک میباشد.

اتصالات ایستایاثابت (Stationary Contact) : جمپرها،ترمینالهاوانواع اتصالات ثابت دیگر اتصال قطع ووصل (Switching contact):کلیدها،سکسیونرها، کنتاکتورها...

اتصال لغزشی(Sliding Contact):کلیدهای غلطکی ،جاروبک،پتانسیومتر

ازنقطه‌نظر موضوع مورد بحث‌این‌مقاله ، دو نوع اتصال ثابت ولغزشی (ازنوع‌بطئی) مدنظرمیباشد،هرچندازلحاظ کلی هدف بررسی تلفات ودیگرعوارض درنقاط اتصال اجزاءشبکه فشارضعیف موردنظربوده‌است معهذاچون فرض است که اجزاءعناصررابط به منظورقطع و وصل مکرر،مانندکنتاکت ،کلیدها،سوئیچ واتصالات پیش‌بینی‌شده دیگر،دارای ویژگیهای استاندارد و مبتنی براصول زیرمیباشد.

۱-دارابودن حداقل مقاومت الکتریکی درمسیرعبورجریان برای کنتاکتهاواتصالات ثابت

۲-توانائی تحمل تنش حرارتی ومکانیکی درصورت بروزاتصالی واضافه جریان

که دراینگونه اتصالات مقاومت نقطه تماس اتصال چندمیلی اهم بوده ودرمقاطع کوتاه تا چندصد میلی‌اهم میتواندتغییرنماید، لذا ازبحث موسّع ودقیق درموردآنهاخودداری گردیده و صرفاًازاین جهت که دررابطه باعملکرداتصالات‌ثابت‌درشبکه‌های توزیع‌قابل مقایسه میباشدنگاهی گذرا برآن خواهیم داشت .

اتصالات یاکنتاکتهاباقطع و وصل دائم

الف :کنتاکتهائی که دراکثر طول عمر خودبصورت بسته‌وباعبورجریان‌ازآن توام‌است (BreakingContact)

ب- کنتاکتهائی که دربیشترطول عمرخودبصورت بازمیباشند.(Making Contact)

مانندکنتاکتهای رله‌ها یا فرمان آنها

دررابطه باکنتاکتهای یک قطع کننده، عوامل قابل‌بررسی، سرعت قطع ،جنس موادکنتاکت ،سطح اتصال، فشارنگهدارنده کنتاکتها،شرایط محیطی کنتاکت دربرابرعوامل جوی مانند رطوبت ، حرارت ، اندوکتانس، ولتاژقطع مدار وعامل خاموش‌کننده میباشند. درساخت عناصرقطع‌و وصل‌کننده ویژگیهای فوق هرکدام با رعایت برخی اصول فیزیکی درطرح دستگاه ،تأمین‌میشوند.

از خصوصیات مزبوربرخی مانندماهیت فیزیکی وشیمیائی سطح کنتاکت ،تعدادنقاط سطح تماس ونیروی نگهدارنده دوعنصراتصال ، موردتوجه میباشند.

اتصالات نیمه ثابت یالغزشی :درحالت کلی یک کنتاکت ثابت و دیگری متحرک‌که امکان لغزش برروی آن بدون قطع عمل تماس بین دوسطح رادر مسیراتصال دارد، موردتوجه میباشد.این نحوه اتصال ازآنجائیکه دربرخی‌مواردمانندلحظات عبورجریان اتصالی ازمحل تماس‌به علت تنش مکانیکی توام‌باجابجائی ولغزش نامنظم است لذاازنقطه نظرتجزیه تحلیل تئوریک موردتوجه میباشدمانندتغییرات مقاومت ناشی‌از عبورجریان درجمپرها، درموارد بروز اتصال کوتاه درمسیرانتقال انرژی ،(جمپرهای ناقص) .

ویژگیهای اتصالات ثابت :

درراستای الگوریتم ارائه شده می‌پردازیم‌به شناسائی عوارض وبه تبع آن عوامل مهم درافزایش مقاومت اتصال . هدف نهائی ازبحث اتصالات ثابت کاهش تلفات‌انرژی ، نوسانات ولتاژوجریان و عدم قطع مسیرانتقال انرژی میباشدکه بصورت افزایش مقاومت الکتریکی ، ایجادفاصله ویاافزایش مقاومت بصورت متغییردرنقاط تماس ویاگسیختگی محل اتصال آشکارمی‌گردد ومیتواند ناشی از فرآیندهای زیر باشد،

الف -افزایش مقاومت الکتریکی وافزایش‌تلفات انرژی بطورمستقیم ،که ناشی ازفرایندهای شیمیائی اکسیداسیون سطحی که ناشی ازتماس باجریان هوادرشرایط رطوبت ،دماوخوردگی ناشی ازسایش واکسیداسیون مکررکه منجربه ایجادفاصله بین دوسطح گردیده و وجود گردوخاک ولایه چربی بهمراه ،کاهش نقاط سطح تماس بعلت تغییرشکل سطح وکاهش نیروی فشارنده دوسطح ، میباشد.

ب- نوسانات ولتاژوجریان ناشی ازایجادفاصله بین دوسطح تماس ،که بصورت قوسهای الکتریکی بافرکانس نامعین برقرار ، ودرولتاژشبکه بصورت تضاریس باحامل موج اصلی انتقال انرژی به دستگاه‌های مصرفی انتقال می‌یابد،ازطرف دیگررانش هوای‌جوی درحالت طبیعی نیزبرتداوم

موقعیت نقاط برقراری قوسهااثرگذاشته وبرمؤلفه نوسانی جریان عبوری نیزتأثیردارد.که بنوبه خوددرتلفات ونهایت نوسانات موثراست.این ایجادفاصله میتواند ناشی ازتداوم اکسیداسیون.مکرر،تنشهای مکانیکی ناشی ازمیدان الکترومغناطیسی درهنگام عبورجریان اتصال کوتاه ازمحل اتصال.باشد گرچه تنش حرارتی میتواندوگانه عمل نمایدبدین صورت.که :

تغییرشکل پلاستیک سطح تماس باحذف نیروی نگهدارنده منجربه کاهش مقاومت می‌شود. همزمان تنش مکانیکی نیزدرجهت کاهش نیروی نگهدارنده بوده واحتمال قطع اتصال نیزوجوددارد.

ج - قطع جریان انرژی : این پدیده.بستگی تام به افزایش مقاومت بین دوسطح به هرنحوممکن وبه تبع آن افزایش دماوگسیختگی اتصال دراثرذوب شدن(تغییرپلاستیک) داردومیتواندناشی ازفرم نامناسب اتصال بویژه درجمپرهاباشد.نمونه‌هایی ازاتصالات نامناسب که منجربه پدیده‌های‌فوق میشونددرشکل (۱)ملاحظه مینمائید .

حال می پردازیم به ساختارتئوریک عوامل موثربرکنترل‌کننده پدیده‌های مذکور:

مقاومت درسطح تماس***

حداقل بودن مقاومت‌تماسی بین دوسطح متصل بهم قابل تحلیل به دومرحله زیرمیباشد.

۱- مراحل اولیه با فرض اینکه سطح تماس ازمواداضافی وآلوده ناخواسته پاک است .دراین حالت مقدارمقاومت درنقطه مزبورواستحکام اتصال (ثبات مقاومت)بستگی تام به چگونگی‌سطح تماس (اندازه سطح ،شکل ،صاف وصیقلی بودن)،جنس سطوح و نیروی نگهدارنده دوسطح تماس دارد، وبه تبع آن ازآنجائیکه اتصال درنقاط معدودی ازسطح تماس است ،سطح نرمال تماس (Nominal Contact Area) باسطح تماس واقعی (Actual contact Area) متفاوت میباشد.

مقاومت نقاط اتصال : دوسطح هرچندصاف وتمیزفلزی هرگاه‌به هم فشرده شوند،دریک یاچند ناحیه خیلی کوچک درسطح باهم تماس دارندنه درتمام سطح . شکل (۲)فرمول Holm برای مقاومت نقاط اتصال ،برای سطوح مسطح و همجنس‌بصورت مقابل است :شکل (۸)

مقاومت ماده نقاط‌اتصال :P

$$R=\frac{P}{2na} \qquad \text{ف(۱)}$$

تعدادنقاط اتصال :N

شعاع متوسط سطح تماس :a

درحالت کلی میکروسکوپیک ،عوامل مؤثردرمقاومت اتصال (نقاط تماس)عبارتنداز :

۱- مقاومت فشاری (Constriction Resistance)این مقاومت ازنوع انقباضی ناشی از فشار دو سطح بوده که فرم ساده محاسبه آن درسطورقبل آمده‌است .

۲- مقاومت‌لایه‌ای‌براساس‌اثر تونل (Film Resistance ofTunnel effect)معمولاً لایه اکسید یا سولفات فلزمحل‌اتصال ،بصورت غشاءنازک درحدچندانگسترم میتواند مقاومت قابل توجهی در مسیر عبورجریان ایجادنمایددراین حالت توجیه عبورجریان براساس مکانیک موجی ،مشابه عبور نورازیک غشاءفلزی باضخامت قابل مقایسه باطول موج آن می‌باشد،این مقاومت بطورقابل توجهی تابع فشاربین دوسطح اتصال میباشد ودرعین حال باتوجه به اینکه تابع ضخامت لایه حائل بوده ،تابع انرژی کار،فلزتشکیل دهنده کنتاکتهای‌اتصال میباشد.معهذادراثرحرارت زیادمیتواندلایه دستخوش تغییراتی مانندتجزیه وهدایت بیشترازحالت‌نرمال گردد.

۳-مقاومت لایه چسبنده (Coherer Resistance) :هرگاه‌لایه یاغشاءحائل (اکسیدویاسولفات) از ضخامت بالائی (300 Å) برخوردارباشددراینحالت ولتاژ (100^{V} - 2)بین دوسراتصال برقرارمیشودکه باتوجه به نوع‌فلزاتصال‌وساختارمولکولی لایه‌مشابه عایقها،شکست درلایه ،اتفاق افتاده ودرمرزحالت ذوب برای فلزسطح تماس ،به ولتاژحدود 0.5^{V} کاهش می‌یابدکه این پدیده میتواندتأثیرنوسانی ولتاژنیزبهمراه داشته باشد.

۴-مقاومت ناشی ازگردوخاک .(Dust Resistance): گردوغبارموجوددرهوای آزادمی‌تواند به تدریج ،بویژه درمناطق آلوده ،غشائی ازخاک به ضخامت 1μm ایجادنماید البته درمحیطهاباریزش باران وشستشوئی طبیعی ویاخشک‌شدن گردوغبارورانش هوا،مانع ایجادلایه ضخیم می شود. معهذا آلودگی به میزان فوق درسطوح آزادعادی بوده والبته فشارنیروهابه میزان ۱۵میلی گرم‌میتواندبه آسانی موجب حذف لایه‌گردوخاک‌گردیده امالایه اکسیدراازبین نمی‌برد . مقاومتهای بزرگ حتی‌تا ۱۰اهم می‌تواند،درحالتیکه فشاربین سطوح کنتاکتهاکم‌باشد،(درحدکمتراز ۱میلی گرم‌نیرو) بوجود آید. پائین‌ترازاین‌حدمعمولاً بیشتراز ۱۰۰اهم میباشد،معمولاًمقادیراندازه‌گیری شده درعمل به علت عدم رعایت‌کلیه جوانب ازلحاظ اندازه‌گیری مقادیربیشتری رانشان‌میدهد.مقاومت محل تماس بطورکلی مقاومت تماسی یااتصال سطحی(Contact Surface Resistance) نامیده میشودودرصورت اعمال

نیروی نگهدارنده (فنر-کلمپس)ازفرمول تجربی زیر بدست می‌آید.

E :فاکتوری است که به جنس ،شکل ،صافی سطح تماس ،میزان آلودگی ،میزان اکسیده شدن فلزات بستگی داردومطابق جدول زیر میباشد:

$$R_{cr}(\Omega)=\frac{E}{F^{n}} \qquad \text{ف (۲)}$$

n عددنمائی که بستگی به تعدادنقاط تماس داردو تابع چگونگی شکل (نقطه ،خط ،سطح)محل تماس میباشد

برای تماس نقطه‌ای محل اتصال : n=0.5

برای تماس دریک خط محل اتصال : n=0.7-0.8

برای سطوح باچند نقطه تماس : n=0.7-1

برای تماس سطح باسطح n=1

F(N) :نیروی فشارنده دوسطح به یکدیگر

Copper	$1.0 \cdot 10^{-3}$
Silver	$0.5 \cdot 10^{-3}$
Tin	$5 \cdot 10^{-3}$
Aluminium	$1.6 \cdot 10^{-3}$
Brass	$6.7 \cdot 10^{-3}$
Steel	$76 \cdot 10^{-3}$

جدول شماره (۱)

انواع اتصالات ازنقطه نظر شکل اتصال عبارتنداز :

۱ـ اتصال نقطه‌ای (Point contact) مانندکنتاکتهای کروی - کروی ،مخروطی - صفحه و....که دراین حالات NCA وACA برابرند.

۲ـ اتصالات طولی یاخطی (Line contact) مانندا تصال رشته‌های سیمهای هوائی بیکدیگریارئوستا،دراین حالت حداقل دردونقطه یاسطح کوچک باهم تماس دارند.

۳ـ اتصالات صفحه‌ای (Plane Contact): مانندا تصال کنتاکتهای کلیدها،سکسیونرها. دراینصورت درحداقل سه نقطه یاسطح کوچک تماس بین دوصفحه برقراراست .

درحالت ماکروسکوپیک نمونه‌هائی ازاشکال اتصالات مختلف فوق رامی‌توان درتصویر (۳) ملاحظه کرد قابل توجه اینکه نوع اتصال به لحاظ معدودبودن نقاط تماس ،شکل سطح تماس (بویژه درلبه‌ها) وبرجستگی‌های نقاط تماس (ناهمواری سطح)،درتوزیع جریان درمحل اتصال اثرقابل توجهی دارد.ازآنجائیکه چگالی جریان درنقاط تماس بیشتراست ،باعث افزایش حرارت درسطح تماس ،بویژه درحالت ایجادفاصله (عدم وجودنیروی فشاردهنده) موئین مابین دوسطح کنتاکت ،که توأم‌باجرقه‌وبرقراری قوس کوچک‌الکتریکی می‌باشدمی‌گردد.(اثرحرارتی فاصله‌وافزایش مقاومت).

هرنوع اتصال الکتریکی ایستابه عنوان یک هادی بامقطع متغیردربهترین شرایط بدلیل وجود

عوامل زیر،رفتار می‌کند .

۱ـ عوامل محیطی وخارجی طبیعی ،مانندانرعوارض جوی (رطوبت ،دما،گردوغبار،املاح شیمیائی)

۲ـ عوامل درونی اتصال همانندانرات ناشی ازعبورجریان زیادوتنش‌های مکانیکی ،حرارتی و تغییرات شیمیائی ناشی ازآن .

۳ـ عوامل مصنوعی که ناشی ازدخالت انسان بصورت طراحی ،ساخت وبهره‌برداری غیراستاندارد ویانامتناسب باشرایط محیطی وانسانی .

دراین راستاسعی می‌شود دررابطه باعوارض قابل کنترل وغیرقابل کنترل ناشی ازعوامل فوق بررسی وارائه طریق گردد.

عوامل جوی درحالت کلی درمراحل اولیه موجب اکسیداسیون سطحی بین دوسطح تماس ودر مقاطع بعدی دراثرتغییرات گرمائی جوی وجریان هوائی شدید(طوفان)توام بانوسانات مکانیکی برای مواردی چون جمپرهادرطول شبکه ویاکابل اتصال ترانس هوائی به تابلو موجب تغییر سطوح تماس میگردد .

فرآیند اکسیداسیون طبیعی بصورت زیراست .

مقاومت‌نقاط تماس‌درفضای‌آزادبعلت‌ترکیب‌بااکسیژن‌درسطح ،دارای لایه‌ای فلزی‌ازاکسید فلز مربوطه می‌گردد، دیاگرام شکل شماره (۴)افزایش مقاومت کنتاکتی برای ۱۰ فلز رابرای دوره‌های زمانی ۲ ساعت ،۷ روزو ۶ ماه‌نشان می‌دهد.دراین دیاگرام درجه رطوبت ثابت فرض شده است .

به تغییرات مقاومت کنتاکتی فلزهای مس ،نیکل وبرنزتوجه شود.

ملاحظه می شودکه مقاومت کنتاکت مسی می‌تواندتا ۱۰۰۰ اهم افزایش یابد($۱۰^{۳}$ - ۰.۰۱) ومواد نیکل (۱۰ - ۰.۰۱)اهم وبرنز(۱۰۰ - ۰.۱) اهم نیز، قابل توجه ازلحاظ پوشش کلمپس نگهدارنده می‌باشند ملاحظه میشود که پوشش آب نیکل برای کلمپس مناسب می‌باشد وکوپلینگ یاکلمپس برنجی نیز ازاتصال سادهٔ مس - مس مناسب‌تراست .

*

*اثرعبورجریان الکتریکی لایه اکسیدمس

بایدتوجه داشت که درحالت عبورجریان (درطول زمان) ،لایه اکسیدسطحی بامیزان مختلفی

ضخامت تشکیل‌دهنده رابوجودمی‌آورد. مثلا"تشکیل لایه اکسیدمس درچنددقیقه ،آلومینیوم درچندثانیه باضخامت ۲۰ آنگستروم بوجودمی‌آیدکه پس ازآن دردمای اطاق تا ۱۰۰ آنگستروم افزایش ضخامت خواهدداشت این عمل برای نیکل ،نیم ساعت بیشترطول خواهدکشید:نکته قابل توجه اینکه برای نقره ضخامت لایه اکسید ۱۰ آنگستروم درهوای معمولی است که این لایه دردمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد تجزیه می‌شود.

اکسیدمس بااینکه ارزش محافظتی دربرابرخوردگی دارد،امادارای مقاومت الکتریکی زیاد،گاه تا ۱۵۰۰۰۰ برابرمقاومت تماسی مس رادارد.

جدول شماره (۲)میزان چندبرابرشدن مقاومت تماسی راباگذشت زمان نشان می‌دهد ملاحظه می‌شودکه مقاومت نقطه تماس مس بامس به میزان ۱۵۰۰۰۰ برابرومس - برنج به میزان ۱۷۵۵ برابرمی‌تواندبرسد.(اثرنوع فلزکنتاکت برمقاومت تماسی که‌ناشی ازاکسیداسیون سطحی می‌باشد). مطابق جدول شماره ۳ ،مقاومت شیمیائی و میزان پایداری انواع فلزات دربرابراکسیده و سولفاته شدن را (Tarnishing) نشان می‌دهد،ملاحظه می‌شودکه مس هم حالت اکسیده وهم سولفاته‌شدن راپذیرابوده ومقادیرگویای تمایل فلزات به سمت افزایش اثرمذبورمی‌باشد.

اثرات جریان الکتریکی درحالت کلی بصورت زیرخلاصه می شود.

الف : باتوجه به اینکه ضریب حرارتی اکثرفلزات مثبت است افزایش جریان مترادف باافزایش مقاومت درنقاط اتصال است امااز‌طرف‌دیگرافزایش حرارتی ناشی ازافزایش مقاومت وجریان جاری درمحل اتصال ،درحالت نرمال به علت انبساط فلز، موجب افزایش نقاط اتصال وکاهش مقاومت می‌شودکه تاحدی نیزتابع تغییرات حرارتی محیط می‌باشدالبته درصورتی که افزایش دمابه میزان زیادموجب تخریب ساختمان بلوری فلزدراثرتنش حرارتی نشود تغییرنقاط اتصال الاستیک بوده و قابل برگشت به حالت اولیه خودمی‌باشدتغییرات مقاومت اتصال درحالت عبوربارازمحل اتصال و بی‌باری مطابق جداول اندازه‌گیری شده شماره (۴)ملاحظه‌میشود.

ب - اثرحرارت درافزایش یاکاهش مقاومت تماس یک رفتاردوسویه ونامطلوب است بدین معنی که افزایش حرارت درمحل اتصال مستلزم افزایش مقاومت به میزان قابل توجه ازقبل می‌باشدکه ناخواسته است دراینصورت اگرپدیده مرزی پلاستیسیته (خمیری شدن فلز وتمایل به ذوب شدن) قبل ازگسیخته شدن هادی درمحل اتصال بوقوع پیوسته وبرگشت حرارتی سریع داشته باشیم ،بعلت درهم رفتگی سطح تماس (جوش خوردن)می تواندرکاهش مقاومت اتصال مؤثرباشداماچون نوع

جوش کنترل نشده می‌باشدموردتوجه قرارنداده‌ایم وازطرف دیگرمستلزم حفظ نیروی فشارنده دوسطح است که نمی‌توان به اتکاءجمپرهائی که صرفا"ازبافت یاتنیدن رشته‌های سیم برروی هم می‌باشند،اعتمادنموده وازآنجائیکه مس ویژگی اخیررامانندفلزاتی چون نقره ،پالادیم ، رودیوم وایریدیم و..... ندارد نیازمندتوجه بیشترمیباشداگرموقعیت اتمها(ساختارکریستالی فلز)دراثرتنش حرارتی و مکانیکی وفشاربین دوسطح تخریب وموجب درهم ریختگی شبکه گرددموجب تغییرموقعیت نقاط اتصال می گرددواین مرحله همراه باصاف ونرم شدن سطح تماس می‌باشدکه درصورت ادامه منجربه ذوب فلزمی گردد. (درحالت عبورجریان اتصال کوتاه)

جداول شماره (۵) نقاط نرمی(Softening Point) وذوب(Melting Point) چندفلز رادر مقایسه بامس نشان می‌دهد.

منحنی شماره(۵) تغییرات مقاومت دوسطح تماس رابه ازای تغییرات حرارت نشان می‌دهد نتیجه می‌شودکه درشرایط نرمال افزایش حرارت تاحدمعینی (۳۰۰ - ۱۰۰ درجه سانتیگرادبرای نقره ومس) موجب افزایش و پس ازآن کاهش وسپس مجددا"افزایش ودرنهایت باذوب شدن وسیالیت فلز درسطح تماس کاهش قابل توجه می‌یابد.

دراین حالت اولا"مقاومت محل اتصال دراثرحرارت مشابه یک هادی معمولی افزایش مقاومت نداشته ثانیا"ضریب حرارتی (α) ازحدنرمال خودکمترمی‌شود وازفرمول مقابل بدست می‌آید.

$$R_{c.r.hot} = R_{C.r.cold}\left(1+\frac{2}{3}.\alpha.\theta\right) \qquad \text{ف (۳)}$$

عامل مهمی که درکاهش اثراکسیداسیون سطحی ،افزایش نقاط تماس، جلوگیری ازتغییرو ناهمواری سطوح تماس نقش تعیین کننده‌ای داشته ودرنهایت برکاهش مقاومت محل تماس موثر می‌باشد نیروی فشارنده دوسطح(F) است . اماقبل ازاینکه به این عنصرمهم بپردازیم نگاهی گذرابه اثرات ورابطه ولتاژ بین دوسطح تماس باخوردگی وتغییرمقاومت هاوافزایش حرارت بین دوسطح خواهیم داشت .

افت ولتاژ بین دوسطح تماس $(V)_{c.r}$ بستگی به عواملی چون مقاومت تماس یاایستا $(R_{c.r})$ تفاوت درجه حرارت فلزات محل اتصال ومحیط(τ_c) وضریب هدایت حرارتی سطوح فلزی λ وسطح تماس دارد.

فرمول تجربی زیربیانگراین رابطه‌است که درآن :

ρ:مقاومت نقاط تماس

$V_{c.r} = 4\sqrt{r}\lambda.\tau_c.R_{cr}$ ف(۴) r:شعاع متوسط سطح تماس

$R_{c.r} = \frac{\rho}{2r} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{A}{\pi}} = \sqrt{\frac{F}{\pi\sigma}}$ ف(۵) F:نیروی فشارنده در دوسطح

σ:ضریب تحمل سختی مواداتصال

مطابق منحنی شماره (۶)مقادیرافت ولتاژبین دوسطح اتصال برای مس ونقره نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود درصورت وجودنیروی فشارنده کافی(F) بین دوسطح مقدارافت ولتاژ بین 10-50 mv درحالت نرمال می‌باشد،اماگرنیروی F نباشد ویابدلیلی کاهش یابدچطور؟

فرض درفرمول فوق بدلیل کاهش نیروبمیزان ۵۰٪ ،مقدارr وازآنجاR_{cr} چه میزان افزایش می‌یابد هرچنداین تغییرات بافرض خطی بودن تغییرات سطوح ،بوده‌است که الزاما"اینگونه نمی‌باشد ومی‌تواندافت ولتاژ بیشترباشدوباتوجه به اینکه عملا"تا۱۵۰۰۰۰ برابرمی توانداافزایش یابدملاحظه می‌شودکه می‌تواند چه افت ولتاژی باشد هرچندتغییرات انبساط سطوح دراثرحرارت درکاهش مقاومت درهنگام عبورجریان مؤثراست امابه بهای ایجادنوسانات ولتاژ درشروع بارگذاری شبکه که نیازبه تحقیق بیشتری دارد.

$F \rightarrow 0.5F \Rightarrow R_{cr} \rightarrow 1.4R_{cr}$

$Vcr = \frac{1}{2}\rho.I\sqrt{\frac{\pi\sigma}{F}}$ ف (۶) فرمول مقابل باتوجه به روابط مذکوربیانگراهمیت افزایش سطح تماس درکاهش مقاومت اتصال ونیاز به نیروی فشارنده راتأییدمی نماید.

منحنی شکل شماره (۷)بیانگرتغییرات مقاومت اتصال باولتاژدوسرآن می باشد،که بازای نیروی حداقل 0.5 grf ازنقطهA تاEکه مرزنهائی حالت پلاستیکی فلزمی‌باشدبیانگرکاهش مقاومت بوده ، اماولتاژ مقادیرافزایشی رانشان می‌دهد(تاحدود 0.5v برای مس)

***اثرفشاربین دوسطح تماس برمقاومت محل اتصال

ازمباحث مطرح شده معلوم گردیدکه عوامل قابل توجه درارابطه بااتصالات درجمپرها و ترمینالهای تابلوعبارتنداز:

۱ـ میزان سطح تماس وجنس دوسطح اتصال مانندسیم رابط (جمپر) وسیم فازوهمچنین اهمیت استفاده ازکابلشوبه منظورافزایش سطح وتغییرجنس محل اتصال نیزباتوجه به مطالب ذکر

شده روشن می شود.

۲ـ ماهیت فیزیکی سطح تماس که بستگی به نوع ماده کنتاکت یانقاط تماس وصاف بودن واندازه سطح آن دارد.

۳ـ سطح مفیدتماس بستگی به نیروی نگهدارنده دوسطح دارد.

عوارض مهم درحالت عبورجریان زیادایجادنیروی الکترومغناطیسی ،تنش حرارتی ومکانیکی حاصل است که می تواندمنجربه تغییرات زیرگردد.

۱ـ نقاط اتصال ناپیوسته وکاهش سطح تماس به جهت ایجادحفره وکنده شدن سطح فلز بصورت الاستیکی واکسیده شدن بیشترسطح تماس درمجاورت رطوبت .

۲ـ تغییرفرم سطح تماس بصورت پلاستیک

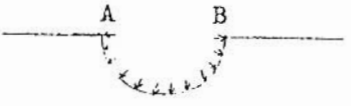
لذابمنظورجلوگیری ازاکسیده طبیعی وعوارض فوق ،نیروی نگهدارنده‌دوسطح تماس پیش‌بینی شود(Clamps) دراین راستابافرض تمیزبودن سطح اتصال دراغازبااعمال فشارمناسب حداکثر (3N) می‌تواندشرایط مطلوب که مقاومت تماس رابه حداقل رسانیده وضمناً"عدم تسریع عمل پلاستیسیته فلزات سطوح تماس رابوجودآورد، حاصل شود .

دربدوامرپدیده‌هائی که درهنگام عبورجریان زیاددرمحل اتصال توأم باتنش مکانیکی وتغییرفرم محل اتصال بوقوع می پیوندد(تغییرات دینامیکی)راموردبررسی قرارمی دهیم .

۱ـ اثرفشردگی (Pinch effect) درصورتیکه ازگازیاسیال یافلزی جریان زیادی بگذرد نیروهای الکترومغناطیسی بامسیرهای نامعین (مدنظرحالتی که فلز بصورت تقریباً" جامدو حامل جریان است می‌باشد)بوجودمی‌آیددراین حالت هادی مذاب مشابه تعدادی هادی نازکتر و موازی که جریان بصورت چندشاخه ازآنهاعبورمی کندتجسم می‌شود.این هادیهای فیبری فرضی دراین حالت جذب یکدیگرمی گرددودرنتیجه موجب تخریب می‌شوند و اگرمقطع هادی یکنواخت باشدباعث کاهش نقاط تماس واحتمالاً"برش وگسیختگی هادی شود(بنابراین بایدجمپرهاهم مقطع هادی متصل به آن باشد) وجودکلمپس دراین حالت به ثبات مقاومت محل تماس درمقداراولیه خود وکاهش اثر مزبور کمک می‌نماید.

۲ـ اثرکشش (Stretch Effect)

درشکل شماتیک مقابل هرگاه نقاط A وB محل اتصال جمپرهاباشددرصورت عبورجریان زیاد، نیروهای حاصل الکترومغناطیسی ،سعی می‌کنند جمپر (AB) را بصورت نیم دایره درآورندتاسطح محصوربین دوسرسیم ماکزیمم شود دراین حالت درواقع ماکزیمم فلوی ناشی ازجریان امکان عبورازحداکثرسطح ممکن راخواهدداشت ، درواقع هادی (جمپر) واسطه ،که حامل جریان است ،سعی می‌کنداز محیط باچگالی شاربیشترمیدان مغناطیسی به محیط بادانسیته شارکمتررانده شودبه عبارت دیگردر این حالت انرژی الکترومغناطیسی بطورشعائی در



امتداد شعاعهای نیم دایره باموٴلفه‌های تقریبا" یکسان توزیع شده ونیروی گسیختگی کمتری درمحل اتصالات وارد می‌شود.

متأسفانه درعمل همواره بطور مصطلح دررفتگی جمپریا سست شدن محل اتصال فیوزکات اوت راناشی ازارتعاشات مکانیکی حاصل ازجریان بادمی‌دانند درصورتیکه این پدیده بیشتر مؤثراست. جهت تحلیل دقیقتر، نیروی الکترومغناطیسی اخیررامحاسبه می‌نمائیم .

نیروی عمودی درامتدادشعاع واردبریک حلقه درحالت عبورجریان ازآن (بدون تغییرمقطع ازفرمول زیربدست می آید: ف (۷) $F'_R=\frac{1}{2}.i^2.\frac{dL}{dR}$

که درآن اندوکتانس هادی به طول l ومقطع r درفاصله R ازفازبصورت زیربدست می‌آید

هرگاه این هادی بصورت دایره باشدو $(l=2\pi R)$ ف (۸) $L=\mu.R(Ln\frac{8R}{r}-1.75)$

دراینصورت مقدارنیروی واردبه واحدطول ازنیم دایره سیمی بصورت زیرخواهد بودو با انتگرال‌گیری نیروی واردبرطول جمپربدست می آید $f_R=\frac{F'}{2\pi R}$

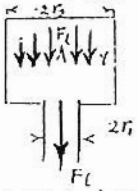
$$F_R=\int_0^{\frac{\pi}{2}} f_R.R.Cos\varphi d\varphi=f_R.R$$

حال می پردازیم به نیروی وارددرنقطه A یا B ف (۹) $F_R=10^{-7}\ .\ i^2.(Ln^{8R}/_r-0.75)$

درنقاط مزبوراگرامتداد رشته‌های سیم موازی هم بوده ومقطع سیم تغییرنکندمؤلفه نیروهای الکترومغناطیسی برسیم عمودی بوده ومولفه طولی نیرونداریم. امّااگرمقاطع متفاوت باشد مؤلفه طولی نیروی الکترومغناطیسی(Fl) راعلاوه‌برمؤلفه عمودی (F_R) خواهیم داشت. امتدادایـن نیروبسمت مقطع بزرگترمی‌باشد.

خواهیم داشت :

ملاحظه می شودهرگاه $r_1=r_2$ باشدنیروی حاصل صفرخواهدشد اگرفرض فرم جمپر بصورت نیم‌دایره کامل باشد دراینصورت اگر$r_1=r_2$باشدنیروی $F_L=o$ ونیروی F_r حداقل خواهدشد.



$$F_L=10^{-7}.i^2.Ln\frac{r_2}{r_1}(N) \qquad \text{ف (۱۰)}$$

لازم به تذکراست که محاسبات براساس جریان DC بوده است ودرصورتیکه معادل جریان مؤثردرحالتAC درنظرگرفته‌شودنیروی‌نوسان‌بافرکانس‌دوبرابرنیروی‌طولی‌وشعاعی‌ایجادمی‌نماید.

بنابراین درعمل می تواندتنش مکانیکی بیش ازمیزان محاسبه شده باشد.

$$i_{max}=(1\text{-}1.8)Im \Rightarrow i_{max} \cong 1.8\sqrt{2}.Ie \Rightarrow F_{max} \cong C.i^2_{max}=6.48Ie^2 \qquad \text{ف (۱۱)}$$

ازمعادلات فوق ملاحظه می‌شودکه نیروی الکترودینامیکی طولی درمحل اتصال حـاصل از تغییرچگالی جریان‌موجب‌نیروی‌کشش طولی‌درجهت‌هادی‌بامقطع بزرگترمی شود.ازآنجائیکه سطح مقطع می تواندبدون وجودنیروی نگهدارنده کاهش یابددرنتیجه چگالی جریان به نسبت مـقاطع نبوده ومی‌تواندمتفاوت ومتغیرباشددرنتیجه تداخل دونیروی طولی وعمودی درطول جمپرموجب تکانش وتنش مکانیکی شدیددرنقاط ارتباط گردیده وباعث سست گردیدن آن درطول زمان می گردد.

اثرعامل نیروی نگهدارنده دوسطح اتصال برکاهش مقاومت درجدول شماره (۶) ومـنحنی شماره (۸) ملاحظه می شود.

معمولا"پدیده ایجادفاصله، ناشی ازتنش مکانیکی دراتصالی، درصورت عدم بافت مناسب و وجود فشارکمتراز(gr/mm^2) ۱درمحل اتصال می‌باشد فرمول تقریبی زیـر،حـدنهائی نـیروی لازم وقابل قبول جهت کاهش مقاومت اتصال رانشان می دهدهرچندبدلیل عدم تناسب خطی بین افزایش سطح تماس ونیروی واردفرمول ازدقت کافی برخوردارنمی باشد.

F :نیروی فشارنده دوسطح :

$F = \sigma . A$ (۱۲)ف

σ:ضریب مقاومت نهائی شکنندگی فلز : (Crushing Resistance Factor)

**نتیجه گیری :

بنابراین ازنقطه نظر تنیدن وبافتن رشته‌های هادی جهت اتصال جمپر علاوه بربکارگیری کلمپس جهت حداقل نگهداشتن مقاومت ایستای اتصال رعایت نکات زیربی فایده نمی‌باشد.

۱ـ جمپرباهادی هم مقطع باشد.
۲ـ رشته داخل هادیهابهم بافته ورشته‌های بیرونی بدورمابقی تنیده شودوتوسط کلمپس نیروی نگهدارنده تأمین شود.
۳ـ شکل جمپردرصورت تفاوت مقاطع سیمهادرمحل اتصال حتی المقدورنیم دایره بااستفاده ازمقره ثابت جهت نگهداری وسط جمپرباشد،حفظ شود.
۴ـ درتابلوحتما"ازکابلشوبمنظورافزایش سطح مقطع تماس وایجادنیروی نگهدارنده استفاده شود.
بارعایت نکات فوق دراتصالات ثابت بویژه جمپر،واتصالات تابلو،ونول ترانسفورماتورهاو غیره می توان ازافت ولتاژ،توان ،نوسانات ولتاژ باکاهش اکسیداسیون سطح تماس ، ازایجاد فاصله بین نقطهٔ تماس و تغییر سطح مفید، وکنترل وضعیت اولیه اتصال ودرنتیجه پایین نگهداشتن مقاومت تماسی درمحل اتصال ، جلوگیری نمود، به منظور تحقیق دررابطه باصحت وسقم روابط و دیاگرام‌های موردبحث، شبکه فشارضعیف خیابان شهیدعباسپورعلی‌آباد،بامشخصات زیرمورد بررسی قرارگرفته است .جدول شماره (۴)

مشخصات شبکه :طول شبکه :۳۷۲ مترمقطع سیم شبکه: ۳۵×۵ میلی مترمربع بارشبکه ۸۰ - ۱۰۰ - ۱۶۰ آمپرولتاژ ابتدای خط ۲۳۱ - ۲۳۰ - ۲۳۲ ولتاژ انتهای ۲۱۸-۲۲۱-۲۲۲ تعدادجمپر: ۳ عددمحاسبات واندازه‌گیری‌های انجام شده گویای این امراست که :

۱ـ استفاده ازنیروی نگهدارنده دوسطح تماس (نیروی فشارنده)درشبکه هوائی بصورت کلمپس وبااتصال پیچ مهره‌ای باکابلشو:مقاومت اتصال درحدناچیز ۰.۰۰۱ اهم وافت ولتاژ ۱۰ - ۵ میلی ولت

می‌باشدکه ازنقطه نظرتوان تلفاتی درحد٪۰/۰۰۵ می باشد۲ـ درصورت عدم استفاده ازنیروی نگهدارنده فوق‌الذکرومقادیربدست آمده بیانگراین امراست که اولا"رفتارمقاومت اتصال (ایستائی) درطول زمان وبویژه درحالت سردوگرم متغیربوده و وجودعوامل غیرقابل کنترل (عوارض ناشی ازاتصال کوتاه وغیره)بهیچوجه قابل پیش‌بینی درحدودمعینی نمی‌باشد ثانیا"درمواردی همچون باردارکردن شبکه (ازحالت سردبه گرم اتصال) ومواردنادر دیگری بطوردائم به علت وجود مقاومت بالای اتصال ، افت قابل توجهی تاحدود ۱۰ ولت می‌تواندوجودداشته باشد.

1. C.V.christie,Eletrical Engineering, fifth Edition MC Graw-Hill Book Company, Inc.

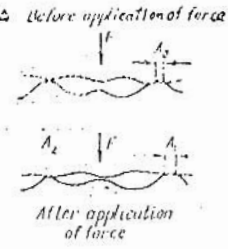
2. G.W.A.Dummer,Material for conductive and Resistive Functions, Hayden Book Company,Inc.

3. L.Ropstein,Electrical Control Equipment,Mirpublishers Moscow.

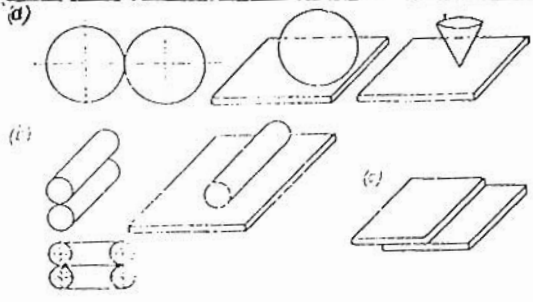
4. J.P.suchet, Electrical conduction in solid MaterialsFirst Edition 1975,Pergamon Press. Delhi.

5. S.P.seth,P.V.Gupta,Acourse in Electrical Egineering Materials Second Edition 1981 , Dhanpat Rai& sons

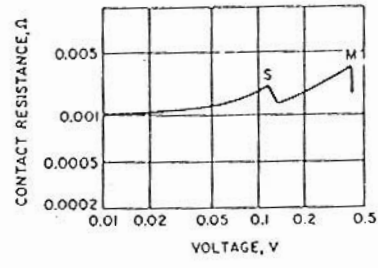
شکل(۱)

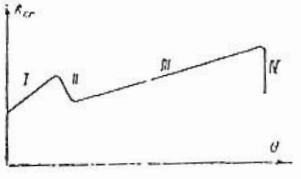


شکل(۲)

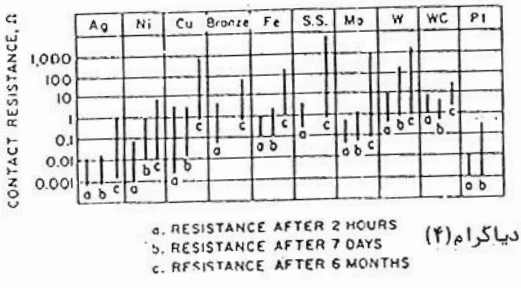


شکل(۳)

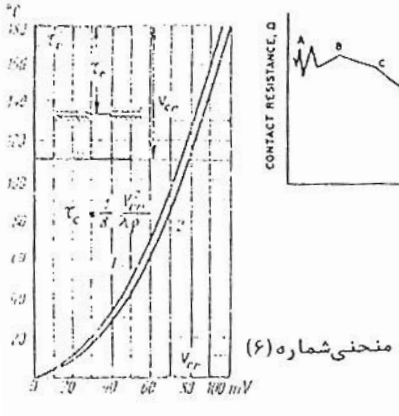




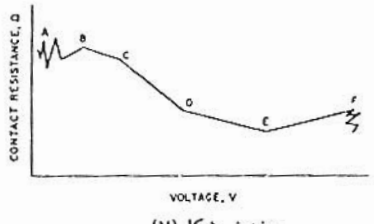
شکل(۵)



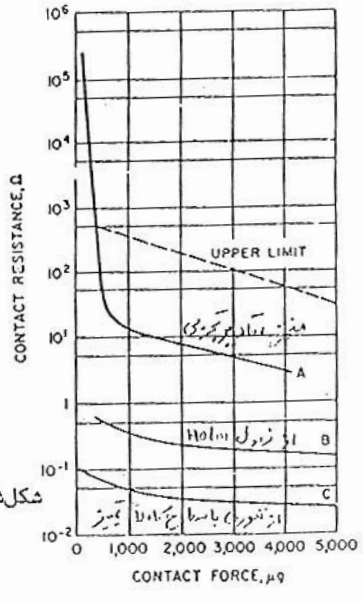
دیاگرام(۴)



منحنی شماره(۶)



منحنی شکل(۷)



شکل شماره(۸)

Contact material	Time of oxide film formation, in days, at Θ = 70°C	Increase in contact resistance
Silver—silver	22	5 fold
Copper—copper	36	150 000 fold
Copper—brass	38	1755 fold
Brass—brass	46	1820 fold
Steel—steel	57	900 fold

جدول شماره (۲)

Group 1	Group 2	Group 3	Group 4
Complete resistance to tarnishing	Resistant to sulphiding but oxidize at 350°C	Resist oxidation but sulphide	Oxide and sulphide
Platinum	Palladium	Silver	Tungsten
Gold	Copper–palladium	Gold–silver	Molybdenum
Rhodium	Platinum–ruthenium	Palladium–silver	Silver–tungsten
Platinum–iridium		Silver–copper (sterling and coin silver)	Silver molybdenum
			Silver–nickel
Platinum–gold–silver			Silver–graphite
			Copper

جدول شماره (۳)

مشخصات مقاومت اتصال (نقطه تماس) در حالات بی باری و باردار

نوع اتصال	مقاومت اتصال در حالت گرم (Ω)	مقاومت اتصال در حالت سرد (Ω)	افت ولتاژ (mV)	افت توان (W)	درصد افت ولتاژ	درصد افت توان	توضیحات
اتصالات داخل تابلو با نیروی نگهدارنده	<۰.۰۰۱	<۰.۰۱	۵–۱۰	<۲	<۰.۰۰۵٪	$<10^{-4}$٪	
اتصالات داخل تابلو بدون نیروی نگهدارنده	<۰.۰۱	<۰.۰۱	<۴۰	<۱۰	<۰.۰۰۱٪	$<2\times10^{-3}$٪	
اتصال از نوع جمپر با کلمپس	<۰.۱	<۰.۱	<۱۰۰	<۲۰	<۰.۰۵٪	$<10^{-3}$٪	
اتصال از نوع جمپر بدون کلمپس	<۰.۰۶	<۰.۷	<۱۰ (V)	<۲ (Kw)	<۵٪	<۱۰٪	براساس محاسبه افت ابتدا و انتهای خط و تعداد جمپرها

جدول شماره (۴)

Material	Softening		Melting	
	Temp., °C	Voltage	Temp., °C	Voltage
Copper	190	0.12	1,083	0.43
Silver	150–200	0.09	960	0.35
Gold	100	0.08	1,063	0.45
Platinum	540	0.25	1,773	0.70
Tungsten	1,000	0.4	3,400	1.0

جدول شماره (۵)

Pressure, g	Resistance, Ω	
	Minimum point	Maximum point
0.5	0.150	0.2
1	0.03	0.15
2	0.03	0.05
3	0.02	0.06
8	0.02	0.03
15	0.01	0.022
30	0.008	0.022
120	0.0045	0.0044
360	0.003	0.0044

جدول شماره (۶)