I.P.I.S

13

1 St . edition
April . 2002

جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic Of Iran

وزارت نیرو

Ministry Of Energy

سازمان مدیریت تولید و انتقال نیروی برق ایران (توانیر)

Iran Power Generation & Transmission Management Organization - Head Office (Tavanir)

۱۳

چاپ اول
اردیبهشت ۱۳۸۱

استاندارد صنعت برق ایـــران – مشـــخصات و خصوصیـــات

انرژی الکتریکی (کیفیت برق)

قسمت سوم ــ فلش و قطعی ولتاژ

Iran Power Industry Standards - Power Quality
Part Tree : Voltage Sag and Interruption

کمیسیون استاندارد « مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) - قسمت سوم - فلش و قطعی ولتاژ »

رئیس	سمت یا نمایندگی
نمازی صالح ، ابراهیم (فوق لیسانس مدیریت)	وزارت نیرو_ سازمان توانیر _ معاونت تحقیقات و فن آوری _ دفتر استانداردها
اعضاء	
آبسالان ، یوسف (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق کهکیلویه و بویراحمد
ابویی ، امیر (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق یزد
احمدی یزد ، محمد (فوق لیسانس مهندسی صنایع)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای تهران
اسدی ، ابوالفضل (فوق لیسانس مهندسی برق رشته قدرت)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای یزد
اسدی ، فرزاد (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو _ شرکت توزیع نیروی برق ایلام
اصغری فرد ، محمود (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو -شرکت توزیع نیروی برق تبریز
امیدواری نیا ، اسدا... (لیسانس مهندسی برق - قدرت)	وزارت نیرو _ شرکت توزیع نیروی برق خوزستان
امیریان ، حسین	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق زنجان

(لیسانس مهندسی برق)	
بخشنده ، مهرداد	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای مازندران
(لیسانس مهندسی برق)	
بهاری وند چگینی ،	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق قزوین
(لیسانس مهندسی برق)	
بهشتی ، محمد حسن	دفتر استانداردهای معاونت تحقیقات وفناوری سازمان توانیر
(لیسانس مهندسی برق رشته قدرت)	
ثقفی اصفهانی، مهدی	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق اصفهان
(فوق لیسانس مهندسی برق رشته قدرت)	
ثقه الاسلام ، سید احمد	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای فارس
(لیسانس مهندسی برق)	
جلالی ، مرتضی	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای تهران
(فوق لیسانس مهندسی برق)	
جوادی ، عبدا...	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق زنجان
(لیسانس مهندسی برق)	
جواهری ، احسان	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق مشهد
(لیسانس مهندسی برق)	
حسن پور ، رضا	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق مازندران
(لیسانس مهندسی برق)	

حسینیان ، سید حسین (دکتری برق)	شرکت مهندسین مشاور نیرو
خاتمی ، عبدا... (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای خراسان
خلجی ، علی (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای زنجان
خلیل پور ، آرام (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق گیلان
درودی ، عارف (دکتری برق)	شرکت مهندسین مشاور نیرو
رحمانپوری ، محمد (لیسانس مهندسی برق رشته قدرت)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق لرستان
رستم میری ، فریدون (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق غرب مازندران
سعادت نیا ، خانم (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو- شرکت برق منطقه ای کرمان
سیروس پور ، علی (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق همدان

صباوند منفرد ، حسن (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای آذربایجان
عربی ، عبدالرضا (لیسانس مهندسی برق)	وزرات نیرو- شرکت توزیع نیروی برق کهکیلویه و بویراحمد
غلامعلی پور ، علی اکبر (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای تهران
کرمی ، خانم (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای زنجان
لطفی ، شاپور (فوق لیسانس مدیریت صنعتی)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای آذربایجان
محمدیان ، حسین (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای مازندران
نجفی نیا ، مرتضی (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق مشهد
نظری ، محمود (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای غرب
نظریان ، پیمان (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای زنجان

هاشمیان ، مجید (فوق لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت برق منطقه ای خراسان
همایونمهر ، عقیل (فوق لیسانس مهندسی برق)	دفتر استانداردهای معاونت تحقیقات وفناوری سازمان توانیر
یاری ، مجید (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق ایلام
یاری ، محمد مهدی (لیسانس مهندسی برق)	وزارت نیرو - شرکت توزیع نیروی برق همدان .

دبیر

اعرابیان - آقای مهندس یزدان لیسانس مهندس برق	شرکت مهندسین مشاور نیرو

یادآوری : با توجه به تعداد ۱۱ جلسه برگزار شده برای استاندارد کیفیت برق افراد فوق الذکر در تمامی و یا در تعـداد بیش از ۳ جلسه حضور داشته اند.

فهرست مندرجات ..... صفحه

پیشگفتار ..... ب

مقدمه ..... پ

۱ هدف ۱

۲ دامنه کاربرد ۱

۳ مفاهیم اساسی ۱

٤ ویژگی ها ۹

پیوست الف – شناخت بهتر فلش و روشهای کاهش آن (اطلاعاتی) ۱۷

پیوست ب – تخمین مشخصه های مختلف فلش ولتاژ (اطلاعاتی) ۲۲

پیوست د – تخمین فلش ولتاژ با استفاده از روش فاصله بحرانی (اطلاعاتی) ۳٤

پیوست هـ – مثالی در رابطه با ارزیابی دامنه فلش های ممکن که در یک مشترک

بزرگ صنعتی نمونه (اطلاعاتی) ۵۱

پیوست و – اصول اساسی حفاظت (اطلاعاتی) ٦۷

پیوست ز – واژگان (اطلاعاتی) ۹۰

پیش گفتار

استاندارد " مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) - قسمت سوم - فلش و قطعی ولتاژ " که پیش نویس آن توسط وزارت نیرو ـ سازمان توانیر ـ معاونت پژوهشی ـ دفتر استانداردها و در کمیسیون مربوط تهیه و تدوین شده و مورد تصویب مقام محترم وزارت طی بخشنامه شماره ۷۰۱۰/۳۰/۱۰۰ مورخ ۸۱/۲/۱۰ قرار گرفته است ، اینک به استناد بند «ز» ماده یک قانون تاسیس وزارت نیرو مصوب ۵۳/۱۱/۲۸ و ماده ۷ قانون سازمان برق ایران مصوبه ۱۹/٤/۱۳٤٦ و ماده ۳ آئین نامه اجرائی بند «ج» ماده ۱۲۲ قانون برنامه سوم توصعه اقتصادی و اجتماعی و فرهنگی جمهوری اسلامی ایران به عنوان استاندارد صنعت برق ایران منتشر می شود.

برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت های ملی و جهانی در زمینه صنایع ، علوم و خدمات ، استانداردهای ملی ایران در مواقع لزوم تجدید نظر خواهد شد و هرگونه پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود ، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت . بنابراین برای مراجعه به استانداردهای ایران باید همواره از آخرین تجدیدنظر آنها استفاده کرد.

درتهیه و تدوین این استاندارد سعی شده است که ضمن توجه به شرایط موجودونیازهای جامعه، در حد امکان بین این استاندارد و استاندارد ملی کشورهای صنعتی و پیشرفته هماهنگی ایجاد شود.

منابع و مآخذی که برای تهیه این استاندارد به کار رفته به شرح زیر است :

1-M.F. McGranaghan, D.R. Mueller, Voltage sags in industrial systems" , IEEE Trans. On Industry Application Vo1.9, No.2,1993.

2-R.C. Dugan. M.Mc Grangham . " Electrical power systems quality", McGraw- Hill, Newyork, 1996.

3-C.Beeker, W.Braun, " Proposed chapsed chapter 9 for prodicting voltage sags(dips) in revision to IEEE std 493, the Gold Book", IEEE Trans. On Industry Applications, Vol.30,No.3,1994

4- D.Caldron, M. Fauri and L. Fellin, " Voltage sag effects on continuous industrial processes: desensitizing study for textile manufacture, " in proc. 2 nd Int. conf. Power Quality., palo Alto, CA, Electric power Research Institute, 1992, pp. 1-7.

5-L.Conrad, C,Grigg, and K.Little " predicting and preventing problems associated with remote fault clearing voltage dips, IEEE Trans . Ind. Appl., Vol.27, pp. 167- 172, Jan./Feb. 1991

6-D. Dorr, " Power quality study – 1990 to 1995, initial results, " in IEEE – APEC 1992 conf., paper 92 CH 3089 – 0/0303.
7-E. Gulachenski, " New England Electric's power quality research study , " in proc, 2 nd int. conf. Power Quality., palo Alto, A,Electric power reserch institue, 1992, pp. F-11:1-10

8- ANSI/IEEE std. 493-1990, IEEE recommended practice for design of reliable industrial and commercial power systems.

9- J.G. Anderson," Lightning performance in transmission lines" in EPRI transmission line reference book, pp. 545-597

10- IEEE 449, " Recommended practice for emergency and standby power industrial and commerical applications.

11- D.M.Sauter." Voltage fluctuations on power systems, " in Westinghouse Electric Utility Engineering Reference Book, Distribution systems, 1965,P.362.

12-H.Y. Bollen, " Fast assesmetns methods for voltage sage in distribution systems" , IEEE Trans. On Industry App;ications, Vol.32,No6,1997.

13- H.J. Bollen, T.Trayjasanat, Assessment of the number of voltage sags experienced by a large industril customer" IEEE Trans. On Industry Application, Vol.33, No.6,1997.

14- L.E. Conard, H.J.Bollen , " Voltage sag coordination for reliable plant operation", IEEE Trans. On Industray Application, Vol.33,No.6,1997.

15- P. Vinett, R. Temple, " Application of a superconductiong magnetic cnergy storage device to improved facility power quality", In proceeding of the second international conference on power quality: End – use applications and perspectives (PQA 92), Allanta, september 28-30, 1992.

16- J. Bruke, Power distribution engineering: fundamentals and applications, Marcel Dekker, Newyork, 1994.

17- EPRI RP 3098 –1, An Assessment of distribution power quality, Electric power research institute, Palo Alto,calif.

18- T. Roughan and P. Freeman. " Power quality and the electric utility : Reducing the impact of feeder on customers, : in proceeding of the second International conference on power Quality : End 0\- use applications and perspective (PQA 92) , Atlanta september 28-30, 1992.

19- IEC 61000-2-1, Electromagnetic compatibility – part 2 : Enviroment – section 1 : Electromagnetic environment for low – frequency conducted disturbances and signalling in public power supply systems.

20- IEC 61000-2-2, Electromagnetic compatibility part 2 : Environment – section 2 : Conpatibility levels for low – frequency conducted distubances and signalling in public low – voltage power supply systems.

مقدمه :

استاندارد مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) از قسمت های مختلفی به شرح زیر تشکیل شده است که می بایستی همراه مراجع الزامی آنها مورد استفاده قرار گیرند.

قسمت اول - کلیات

قسمت دوم - حدود مجاز هارمونیک ها

قسمت سوم - فلش و قطعی ولتاژ

قسمت چهارم - تغییرات ولتاژ و فرکانس

قسمت پنجم - پایداری و پدیده های گذرا

قسمت ششم - زمین کردن

قسمت هفتم - کیفیت برق تحویلی به انواع مشترکین

قسمت هشتم - مشخصات فنی وسایل اندازه گیری و معیار انتخاب آن ها

قسمت نهم - دستورالعمل اندازه گیری کیفیت برق ، بازرسی و اطمینان از کیفیت آن

برای آشنایی بیشتر کاربران این استاندارد علاوه بر قسمتهای فوق گزارش های فنی مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق) در قسمتهای دیگری که جنبه اطلاعاتی وآموزشی دارد با عناوین زیر تهیه شده است.

قسمت اول - مفاهیم و تعاریف کیفیت برق

قسمت دوم - منابع و مراجع استانداردهای کیفیت برق

قسمت سوم - تجزیه و تحلیل نتایج وضعیت موجود کیفیت برق

استاندارد مشخصات و خصوصیات انرژی الکتریکی (کیفیت برق)

قسمت سوم

فلش وقطعی ولتاژ

۱ هدف

هدف از تدوین این استاندارد شناخت وبررسی مفهوم فلش ولتاژ ، تخمین مشخصات و بررسی اثرات آن بر پایداری تجهیزات می باشد.

۲ دامنه کاربرد

این استاندارد شناخت مفهوم فلش ولتاژ ، روش های تخمین مشخصات فلش ولتاژ و اثران آن بر پایداری تجهیزات را در بر می گیرد.

۳ مفاهیم اساسی

فلش ولتاژ ، کاهشی در دامنه ولتاژ موثر با طول دوره کوتاه مدت (۰/۵ سیکل تا یک دقیقه) است که معمولا" علت آن ایجاد اتصال کوتاه در شبکه و یا راه اندازی موتورهای بزرگ بوده و شرکت های برق با مسائیل مختلفی درخصوص آن مواجه می باشند.

دلایل متعددی برای بررسی فلش ولتاژ وجود دارد که از مهم ترین دلیال می توان به وجود بارهای حساس در برخی از مشترکین اعم از مسکونی ، تجاری و صنعتی اشاره نمود. وسایل مورد استفاده توسط مشترکین مانند کنترل کننده ها ، محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت ، کامپیوترها و غیره به فلش ولتاژ بسیار خساس هستند.

حتی رله ها و کنتاکتورهایی که برای راه اندازی موتورها استفاده می شوند نسبت به این پدیده حساسیت نشان می دهند. از سوی دیگر در اثر ایجاد هر گونه اشکال در شبکه ، ممکن است حافظه کنترل کننده های کامپیوتری پاک شود. علاوه بر آن فرایندهایی که توسط این کامپیوترها

کنترل می شوند روز به روز پیچیده تر شده ودر نتیجه مدت زمان بیشتری طول خواهد کشید که آن ها مجدداً راه اندازی شوند، بنابراین وقوع فلش یاقطعی ولتاژ نسبت به گذشته تاثیر بیشتری خواهد داشت.

قبل از بررسی کامل فلش ولتاژ لازم است تفاوت بین یک قطعی (فقدان کامل ولتاژ) و فلش ولتاژ مشخص شود. قطعی زمانی اتفاق می افتد که وسیله ای حفاظتی ، مدار تغذیه یک مشترک مشخص را قطع کند. چنین عملکردی در شبکه های برق هنگامی رخ می دهد که اتصال کوتاهی در شبکه اتفاق افتد. از طرف دیگر ، در هنگام اتصال کوتاه ممکن است در محدوده وسیعی از شبکه قدرت ، امکان ایجاد فلش ولتاژ وجود داشته باشد. ایجاد اتصال کوتاه در فیدهای موازی یا در شبکه انتقال باعث تولید فلش ولتاژ می گردد ولی نتیجه آن قطعی ولتاژ نخواهد بود ونتیجتاً امکان وقوع فلش ولتاژ بسیار بیش از قطعی ولتاژ خواهد بود.

دامنه و طول دوره زمانی ، دو مشخصه اصلی فلش ولتاژ هستند. در این استاندارد دامنه فلش به معنی ولتاژ موثر به وجود آمده در اثر یک واقعه بوده که واحد آن بر حسب درصد یا پریونیت بیان می گردد. برای مثال ، دامنه فلش ۹۰ درصدی بدین معناست که ولتاژ ۱۰ درصد نسبت به مقدار نامی خود افت کرده است. طول دوره زمانی فلش ولتاژ بستگی به مشخصه تجهیزات حفاظتی دارد.

اتصال کوتاه در شبکه می تواند در سیستم توزیع و در سیستم انتقال رخ دهد. اتصالی های روی سیستم انتقال می تواند روی مشترکین بیشتری تاثیر بگذارد. حتی مشترکین تا صدها کیلومتر دورتر از نقطه اتصالی نیز ممکن است فلش ولتاژ را تجربه کنند.

اکثر خطاهای ایجاد شده در شبکه از نوع خطاهای تک فاز به زمین است. اتصالی های سه فاز شدیدتر بوده اما خیلی به ندرت اتفاق می افتند. خطاهای تک فاز به زمین در اثر شرایط محیطی مانند صاعقه ، باد و یخ روی خطوط انتقال ، فوق توزیع و توزیع حاصل می شوند. حیوانات و فعالیتهایی مانند حمل ونقل وسایل در زیر خطوط انتقال نیز ممکن است موجب ایجاد خطا شود.

اگرچه شرکت های برق از وقوع بسیاری از اتصالی ها جلوگیری می کنند ولی نمی توانند به شکل کامل آن ها را حذف کنند.

صاعقه معمولی ترین علت ایجاد اتصال کوتاه در روی خطوط هوایی انتقال ، فوق توزیع و توزیع است. صاعقه می تواند با برخورد مستقیم به هادی فاز و یا توسط برخورد به یک شی ء زمین شده مثل سیم گارد و سپس با ایجاد قوس برگشتی به سیم فاز موجب خطا شود. معمولا" این گونه خطاها موقتی است.

همان طوری که بیان گردید خطای تک فاز به زمین مرسوم ترین علت ایجاد فلش ولتاژ در یک مشترک است. ولتاژ فاز اتصالی شده در نقطه اتصالی به سمت صفر می رود. ولتاژ در پست و دیگر فیدرهای موازی بسته به فاصله نقطه تا محل خطا تغییر می کند. در شبکه های انتقال ، ولتاژ فاط اتصال کوتاه شده ، در نقطه ای دور از آن وابسته به امپدانس کلی شبکه خواهد بود. به طور کلی دامنه فلش ولتاژ در یک محل مشخص بستگی به امپدانس سیستم ، امپدانس خطا ، نوع اتصال ترانسفورماتور و مقدار ولتاژ قبل از وقوع فلش دارد. از طرف دیگر میزان تاثیر فلش وابسته به میزان حساسیت تجهیزات خواهد بود.

اکثر فلش های به وجود آمده در اثر اتصال کوتاه ، دارای مشخصه مشابهی هستند. اتصالی معمولا" هنگامی شروع می شود که ولتاژ بیش از تحمل عایقی شود چرا که قوس الکتریکی قبل از تماس فیزیکی آغاز می گردد.

این پدیده یک تغییر سریع ولتاژ را به همراه داشته و باعث ایجاد عدم تعادل ولتاژ نیز می شود. فلش ولتاژ هنگامی خاتمه می یابد که وسایل رفع خطا جریان اتصالی را قطع کنند و این معمولا" در نزدیکی صفر جریان اتصال کوتاه خواهد بودو بنا براین فلش ولتاژ با یک انتقال سریع از حالت دامنه کاهش یافته ولتاژ به دامنه عادی ولتاژ خاتمه می یابد.

شایان ذکر است که فلش ولتاژ یک پدیده آماری است و مشخصات آن بستگی به عوامل ایجاد اتصال کوتاه و نیز محل اتصال کوتاه دارد. بنا براین نمی توان سطوح مجازی برای فلش ولتاژ در شینه های مختلف ارایه نمود. از سویی باتوجه به اینکه امکان هیچ گونه کنترلی بر محل اتصال

کوتاه (که در دامـــــنه فلش ولتاژ تاثیر زیادی داشته) وجود ندارد ، لـذا در ایـن اسـتاندارد بـه روش های محاسبه فلش ولتاژ در یک سیستم قدرت و طریقه بررسی میزان تاثیر فلـش ولتـاژ بـر تجهیزات پرداخته خواهد شد.

٤ ویژگی ها

٤-١ رابطه بین فلش ولتاژ و عملکرد تجهیزات

همچنانکه اشاره گردید فلش ولتاژ پدیده ای است که می تواند روی قابلیت اطمینان مشترکین صنعتی تاثیر به سزایی داشته باشد. کنترل کننده های مدرن ، فرآیندهای صنعتی و محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت نسبت به فلش های ولتاژ بسیار حساس هستند و وقوع فلـش ممکـن اسـت حتـی منجـر بـه خروج از مدار یک فرآیند صنعتی شود. توانایی در محاسبه و پیـش بینـی فلـش ولتـاژ یـک فرصتـی منحصر به فرد ایجاد می کنـد تـا بـا اسـتفاده از آن بتـوان از وقـوع بسـیاری از مسـایل و مشـکلات جلوگیری نمود. مثلاً می توان با کاهش دامنه و یا طول دوره زمانی فلش و یا تعداد وقوع آن از بروز مشکلات اجتناب نمود. همچنین با تغییرات کوچکی در مشخصات تجهیزات داخلی مشترکین صنعتی می توان به طور قابل ملاحظه ای تعداد خروج از مدار تجهیزات ، ناشی از فلش ولتاژ را کـاهش داد. همان طور که گفته شد دامنه و طول دوره زمانی فلش دو مشخصه اساسـی جـهت محاسـبه رفتـار و عملکرد تجهیزات مختلف مشترکین است. در این قسمت ابتدا اطلاعات مربوط به فلش ولتاژ (دامنـه و طول دوره زمانی) در یک منحنی رسم شده و سپس منحنی حساسیت تجهیزات روی همان منحنی کشیده می شود. با استفاده از این روش می توان مستقیماً تعداد قطعی های حاصل از فلش ولتـاژ در طول سال را برای یک تجهیز به خصوص به دست آورد.

٤-١-١ نحوه گزارش فلش های ولتاژ

٤-١-١-١ تعداد فازها

فلش ولتاژ هر فاز یک سیستم سه فاز معمولاً متفاوت است. در اثر اتصال کوتاه ، یک ، دو یا هرسـه فاز ممکن است با ولتاژهای به حد کافی پایینی مواجه شوند که فلش نامیده شدند. حتی اگر هـر سـه

فاز هم دچار فلش ولتاژ شوند ، مقادیر دامنه آن ها با هم متفاوت خواهد بود. بنا براین در هنگام وقوع یک فلش ولتاژ ، نمی توان فوراً مشخص نمود که دامنه مربوط به کدام فاز ، دامنه فلش واقعی در نظر گرفته می شود. به هر حال سه روش قابل ارایه می باشد که در زیر به آنها پرداخته می شود :

روش اول ، ارایه پایین ترین ولتاژ فاز مربوط به سه فاز برای هر واقعه است. این روش در بارهای سه فازی که به پایین ترین ولتاژ فازی حساس بوده و یا بارهای تک فازی که در سیستم سه فاز پخش شده اند و قطع یکی از آن ها کل فرآیند تولید را از کار می اندازد ، کاربردخواهد داشت. در این روش تنها یک فلش در هر خطا گزارش می شود. به هر حال اگر فلش ولتاژ در یک فاز اتفاق بیافتد ولی دو فاز باقیمانده دارای ولتاژ مناسبی باشند ، ممکن است که یک تجهیز سه فاز بتواند این پدیده را تحمل کند.

روش دوم ، گزار هر سه فاز به عنوان وقایعی مجزا می باشد. این روش برای بارهای تک فاز یا حداقل کنترل کننده های تک فاز کاربرد دارد. در مونیتورینگ نتایج ، برای تخمین تعداد فلش هایی که یک بار تک فاز با آن مواجه می شود باید متوسط تعداد وقوع فلش در هریک از سه فاز محاسبه شود (توجه کنید اگر باری بین دو فاز قرار گرفته باشد ممکن است نسبت به بار متصل بین خط و نوترال با تعداد فلش های بیشتری مواجه گردد) . در روش های پیش بینی ، عموماً ولتاژها ، تنها برای اتصالی به زمین یک فاز محاسبه می شوند. در واقعیت احتمال وقوع خطا در هر سه فاز باهم مساوی است. این امر بدان معنی است که فلشی که در اثر یک اتصال فاز به زمین یا اتصال فاز ـ فاز به وجود می آید بعنوان $\frac{1}{3}$ فلش در فاز A ، $\frac{1}{3}$ فلش در فاز B و $\frac{1}{3}$ فلش در فاز C به حساب می آید.

روش سوم ، فرض می کند که بارهای سه فاز به متوسط ولتاژهای سه فاز حساس می باشند. این روش در هر حادثه تنها یک فلش را گزارش می کند. دامنه فلش گزارش شده ، در واقع متوسط دامنه فلش های به وقوع پیوسته در سه فاز خواهد بود وعموماً این دامنه با هیچ یک از فلش های سه فاز تطبیق نخواهد داشت. در این استاندارد از روش دوم استفاده خواهد شد.

٤-١-١-٢ مسئله وصل مجدد

عمل وصل مجدد اتوماتیک برای شبکه های قدرت عملی معمول است. در حضور این پدیده ، مسئله محاسبه تعداد فلش به دو روش انجام می گیرد.

در روش اول ، اگر چندین فلش در طی یک پریود کوتاه زمانی (مثلا" ۳ دقیقه) بـه وقـوع بپیونـدد ، تنها یک فلش در نظر گرفته می شود. برای مثال دو فلش ایجاد شده توسط یک عمـل وصـل مجـدد تنها به یک فلش به حساب می آیند. اساس این روش بر این امر استوار است که تجهیزات مشـترکین در اثر فلش اول از کار خواهند افتاد و فلش های بعدی که قبل از وارد شدن مجدد تجهیز به مدار رخ خواهند داد ، به دلیل تاثیر کم آن ها روی تجهیزات کمتر مورد توجه قرار خواهند گرفت. مشکل ایـن روش ، انتخاب پریود زمانی است که رخ دادن هر تعداد فلش در آن ، به عنـوان یـک فلـش در نظـر گرفته می شود. این پریود ممکن است درمصارف مختلف متفاوت باشد.

در روش دوم ، کلیه فلش ها حتی اگر در طول چند ثانیه اتفاق بیافتند ، به حساب آورده مـی شـوند. این روش تعداد فلش های به وقوع پیوسته را دقیقا" مشخص می سازد ، اما به هر حال ممکـن اسـت تعداد خروج از مدارهای تخمینی بیش از مقدار واقعی باشد.

در مبحث مونیتورینگ کیفیت برق ، هر دو روش فوق می تواند اعمال گردد، ولـی روش هـای پیـش بینی بستگی به تعداد خروج از مدار گزارش شده دارد. ممکن است برای هر واقعه این تعداد یکی بـه حساب آید و یا اینکه وقایعی که در یک توالی عملکرد وصل مجدد اتوماتیک صورت می پذیرد تنـها یک خروج از مدار شمرده شود. روش پیش بینی فلش باید دقیقا" کلیه این تغییرات را در نظر گرفتـه تا نتایج مناسبی را ارایه دهد. در این استاندارد از روش اول استفاده خواهد شد.

٤-١-١-٣ طول دوره زمانی

اکثر روش هایی که طول دوره زمانی را ارایه می دهند ، فلش ها را به صورت مستطیلی فـرض کـرده که در آن مدت زمان فلش ولتاژ نیز مشخص است. به هر حال در برخی اوقات فلش ها بـه صـورت مستطیلی نمی باشند. مثلا" گاهی اوقات در هنگام اتصالی ، مقدار امپدانس خطا تغییر می کند و فلـش ولتاژ ممکن است در یک واقعه دارای دو یا چند دامنه باشد. وجود موتورهای با قدرت بالا نیز گاهی اوقات شکل فلش را تغییر می دهند.

٤-١-٢ ارایه منحنی های هماهنگی مربوط به فلش ولتاژ

به منظوربررسی رفتار تجهیزات مختلف مشترکین به خصوص صنعتی در برابر فلش ولتاژ از منحنی هماهنگی فلش ولتاژ استفاده می شود. این منحنی مشخصه فلش و پاسخ تجهیزات مختلف مشترکین نسبت به آن را بر روی یک نمودار نمایش می دهد. در این نمودار محور افقی طول دوره زمانی و محور عمودی دامنه فلش را نشان داده و مجموعه ای از کانتورها مشخصه فلش را روی این نمودار مشخص می کنند. هر کانتور تعداد فلش در سال را ارایه می دهد.

منحنی مشخصه تجهیز روی این نمودار ، تلورانس ولتاژ تجهیز را نشان می دهد. با استفاده از این نمودار می توان تعداد خروج از مدار تجهیز در واحد زمان را که در اثر وقوع فلش ایجاد می شود پیش بینی نمود.

دو مجموعه از اطلاعات برای پیش بینی تعداد خروج از مدار تجهیز لازم خواهد بود. سری اول ، اطلاعات مربوط به مشخصات فلش ولتاژ بوده که از داده های مونیتورینگ شبکه یا روش های محاسباتی به دست آورده می شود وسری دوم اطلاعات مربوط به پاسخ تجهیزات به فلش های ایجاد شده خواهد بود که یا از مشخصات فنی سازنده و یا از رفتار داده های آزمایشی استخراج می گردد.

٤-١-٢-١ نمایش مشخصات فلش ولتاژ در یک شبکه الکتریکی

نمایش مشخصات فلش در شبکه احتیاج به اطلاعاتی در زمینه پیش بینی دامنه فلش و طول دوره زمانی آن دارد. این اطلاعات که می توانند از مونیتورینگ یا روش های پیش بینی به دست آیند ، دامنه و طول دوره زمانی فلش را در درایه های یک ماتریس یا جدول قرار می دهند و سپس داده ها به صورت کانتور در شکل گرافیکی نمایش داده می شود.

به عنوان مثال جدول ١ نه محدوده ولتاژ را در سطرها و پنج بازه زمانی را در ستون های خود ارایه داده و روی هم ٤٥ درایه را نشان می دهد. هر کدام از فلش های اندازه گیری شده (یا پیش بینی

شده) دارای دامنه و طول دوره زمانی است که تنها با یک از ٤٥ درایه فوق تطبیق می یابد. تعداد درایه ها باتوجه به میزان دقت موردنیاز یک مسئله می تواند متفاوت باشد.

در این مثال ، هر کدام از ٤٥ درایه ، احتمال وقوع یک فلش در سال را دارا می باشند. بدین معنی که در یک سال ٤٥ فلش ولتاژ وجود داشته و مشخصه هر فلش برکی درایه منطبق است.

جدول ۲ تعداد تجمعی وقوع فلش هایی که دارای دامنه کمتر یا مساوی و طول دوره زمانی بلند تر یا مساوی از هر درایه جدول ۱ می باشند را نشان می دهد (وضعیت شدیدتر). در این جدول دامنه ها و طول دوره های زمانی تنها یک عدد (به جای یک محدوده) است. برای مثال در درایه دامنه ۵۰٪ و طول دوره زمانی ۰/٤ ثانیه عدد ۱۵ وجود دارد. عدد مشخص شده ۱۵ در جدول ۲ مجموع کلیه ۱۵ درایه مشخص شده در جدول ۱ را نشان می دهد. این بدان معنی است که ۱۵ فلش با دامنه کمتر یا مساوی ۵۰٪ و با طول دوره زمانی بیشتر از ۰/٤ ثانیه در سال رخ می دهد.

قدم بعدی تبدیل جدول ۲ به یک سری از کانتورها (مشابه کانتوهای ارتفاع در نقشه های جغرافیایی) می باشد. شکل ۱ منحنی کانتوری جدول ۱ را نشان می دهد. خطوط نشان داده شده تعداد فلش ها در هر سال را ارایه می دهند.

جدول ۱- شمارش وقایع در هر درایه

دامنه (درصد)	مدت زمان (ثانیه)				
	< ۰/۲	۰/۲ < ۰/٤	۰/٤ < ۰/٦	۰/٦ < ۰/۸	> = ۰/۸
> ۸۰-۹۰	۱	۱	۱	۱	۱
> ۷۰-۸۰	۱	۱	۱	۱	۱
> ٦۰-۷۰	۱	۱	۱	۱	۱
> ٤۰-۵۰	۱				
> ۵۰-٦۰	۱				
> ۳۰-٤۰	۱				
> ۲۰-۳۰	۱				
> ۱۰-۲۰	۱				
۰-۱۰	۱				

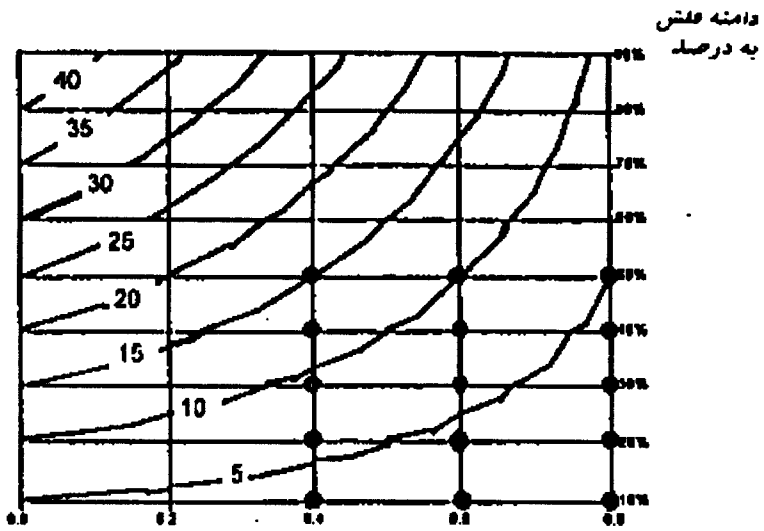
جدول ۲ - مجموع تعداد وقایعی که دارای مقدار کمتر یا مساوی با هر دامنه و طول دوره زمانی فلش می باشند.

دامنه (درصد)	مدت زمان (ثانیه)				
	۰	۰/۲	۰/٤	۰/٦	۰/۸
۹۰	٤۵	۳٦	۲۷	۱۸	۹
۸۰	٤۰	۳۲	۲٤	۱٦	۸
۷۰	۳۵	۲۸	۲۱	۱٤	۷
٦۰	۳۰	۲٤	۱۸	۱۲	٦
۵۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵
٤۰	۲۰	۱٦	۱۲	۸	٤
۳۰	۱۵	۱۲	۹	٦	۳
۲۰	۱۰	۸	٦	٤	۲
۱۰	۵	٤	۳	۲	۱

به منظور به دست آوردن شکل ۱ از روی جدول ۲ مراحل زیر باید دنبال شود :

برای رسم منحنی مربوط به عدد ۵ ، کافی است ابتدا به ازای دامنه های مختلف فلش ، مدت زمان مربوط به تعداد وقوع ۵ فلش در سال به دست آید و سپس مقدار دامنه و زمان آن یادداشت و در شکل آورده شود.

به عنوان مثال به ازای دامنه ۱۰ درصد و زمان صفر ثانیه عدد پنج در جدول مشاهده می شود. بنا براین اولین نقطه ، نقطه (۱۰٪ ، ۰ ثانیه) می باشد. در مورد دامنه ولتاژ ۲۰٪ عدد پنج در ردیف مربوط به ۲۰ درصد دیده نمی شود ، لذا با استفاده از درون یابی مدت زمان مربوط به آن حدود ۰/۵ ثانیه محاسبه می شود. بنا براین نقطه بعدی (۲۰٪ ، ۰/۵ ثانیه) خواهد بود. در مورد دامنه ولتاژ ۳۰٪ ، زمان متناظر با تعداد وقوع ۵ فلش در سال در حدود ۰/٦٦ ثانیه خواهد بود. بنا براین نقطه بعدی (۳۰٪ ، ۰/٦٦ ثانیه) است. اگر همین روند را ادامه دهیم به نقاط (٤۰٪ ، ۰/۷۵ ثانیه) و (۵۰٪ ، ۰/۸ ثانیه) می رسیم. برای مقادیر ۵۰٪ به بالا نیز عدد ۵ را نمی توان در مقادیر موجود در جدول (۲) پیدا نمود و لذا در شکل وجود نخواهند داشت. در انتها برای رسم منحنی مربوط به تعداد وقوع ۵ فلش در سال کافی است نقاط به دست آمده را به یکدیگر متصل نمود. برای منحنی مربوط به تعداد وقوع ۱۰ تا ٤۰ فلش در سال نیز می توان همین روند را دنبال کرد.



شکل ۱- کانتورهای مربوط به فلش که از روی جدول شماره (۲) کشیده شده اند.

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود ، کانتور با تعداد فلش ۱۵ ، محل تلاقی ۰/٤ ثانیه یا بیشتر و دامنه ۵۰٪ یا کمتر است. نقاط سیاه درگوشه سمت راست و پایین شکل ۱ ، ۱۵ فلش متمایز در جدول ۲ را نشان می دهد. ۱۵ نقطه سیاه در سطح مستطیلی مشخص شده در پایین و سمت راست کانتور وجود دارد. به طور مشابه کانتور با تعداد فلش ۲۰ نشان می دهد که ۲۰ فلش طولانی تر یا مساوی با ۰/۲ ثانیه و دامنه ۵۰ درصد یا کمتر وجود دارد. همچنین فلش های واقعی ممکن است جایی در محدوده بیان شده بوده و مستقیماً روی محورها قرار نداشته باشند. در این حالت باید درون یابی خطی بین خطوط کانتور و محورها انجام گیرد. به عنوان مثال حدود ۳۲ فلش طولانی یا مساوی ۰/۲ ثانیه و دامنه ۸۰ درصد یا کمتر در شکل شماره (۱) وجود دارد.

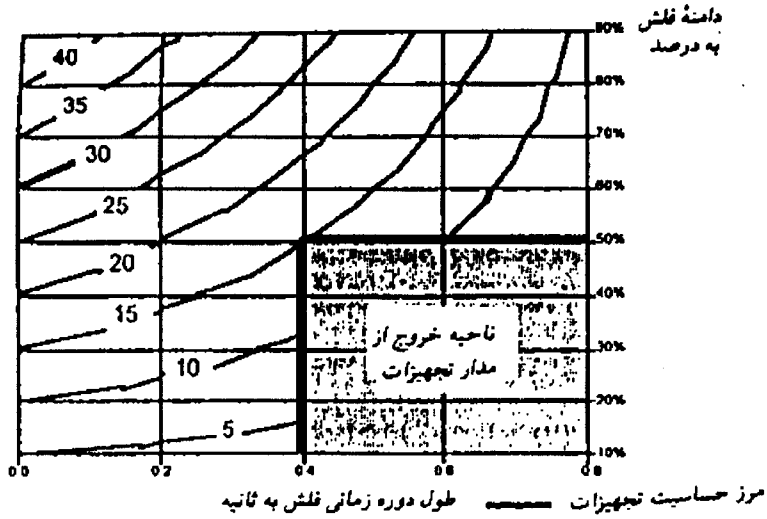
٤-۱-۳ پایداری تجهیزات در مقابل فلش ولتاژ

٤-۱-۳-۱ منحنی مستطیلی شکل حساسیت تجهیز

منحنی حساسیت (یا منحنی تلورانس ولتاژ) ، میزان حساسیت تجهیز را نسبت به فلش ولتاژ توصیف می کند. این منحنی حداقل دامنه ای را که تجهیز می تواند برای یک دوره زمانی مشخص

تحمل کند ارایه می دهد و می تواند از مشخصات فنی سازنده ، از ازمون تجهیز یا شبیه سازی آن و یا حتی در آینده از استانداردهایی که برای هر نمونه دستگاه ارایه می شود به دست آید. منحنی های مستطیلی معمولی ترین نوع این منحنی ها می باشند و منحنی هماهنگی فلش می تواند به شکل مناسبی همراه با این نوع منحنی ها به کار رود. شکل ۲ منحنی حساسیت تجهیز و کانتورهای فلش را در یک نمودار رسم کرده است.

ناحیه سایه دار ، دامنه و دوره زمانی فلش هایی را مشخص می کند که سبب خروج از مدار تجهیز می گردند. نقطه برخورد گوشه منحنی مستطیل شکل حساسیت تجهیز با کانتور ، تعداد خروج از مدار آن تجهیز در اثر فلش را بیان می کند. طبق شکل ، این نقطه عدد ۱۵ را نشان داده است وبدین معنی است که این تجهیز با ۱۵ بار خروج از مدار در طول سال مواجه خواهد شد.



شکل ۲- کانتورهای فلش شبکه و منحنی حساسیت تجهیز

٤-١-٣-٢ منحنی غیر مستطیلی شکل حساسیت تجهیز

تاکنون فرض شد که منحنی حساسیت تجهیز مستطیل شکل است. برای منحنی حساسیت تجهیزاتی که دارای شکلی غیر مستطیلی هستند کار بیشتری لازم خواهد بود. برای مثال شکل ۳ را در نظر بگیرید که منحنی حساسیت تجهیز با دو مستطیل به صورت پله ای تقریب شده است . ناحیه خروج از مدار ترکیبی از سه ناحیه مستطیل شکل سایه دار A و B و C خواهد بود. نقطه ۱ روی کانتور با تعداد فلش ۲۰ قرار گرفته است و نقطه ۲ با کانتور با تعداد فلش ٢٤ (با استفاده از درون یابی) برخورد کرده است. گوشه مستطیل ناحیه C نیز کانتور با فلش ۱۵ را نشان می دهد.

با استفاده از تقریب مستطیلی می توان مسئله را مورد بررسی قرار داد. منحنی مستطیلی در برگیرنده گوشه ۱ ، شامل نواحی B و C است. یک تجهیز با چنین منحنی حساسیتی برای ۲۰ فلش ، خروج از مدار خواهد داشت. به صورت مشابه ، نواحی A و C (گوشه ۲) تجهیزی را نشان می دهد که در ٢٤ فلش از مدار خارج می گردد. توجه کنید که ناحیه C در دو گوشه سهیم است. جمع کردن فلش ها برای دو گوشه ۱ و۲ تخمین بالایی از فلش های کل خواهد داد که در حقیقت ناحیه C دوبار در آن به حساب آمده است. برای رفع این اشکال اعمال زیر باید انجام گیرد.

برای گوشه ۱ ، ۲۰ فلش وجود دارد . بنا براین :

$$B + C = ۲۰ \qquad (۲)$$

برای گوشه ۲ ، درون یابی مورد احتیاج بوده که نتیجه آن ٢٤ فلش است . لذا :

$$A + C = ٢٤ \qquad (۳)$$

ناحیه C ، ۱۵ فلش را نیان می دهد. بنابراین C =۱۵ خواهد بود. با داشتن روابط فوق می توان گفت :

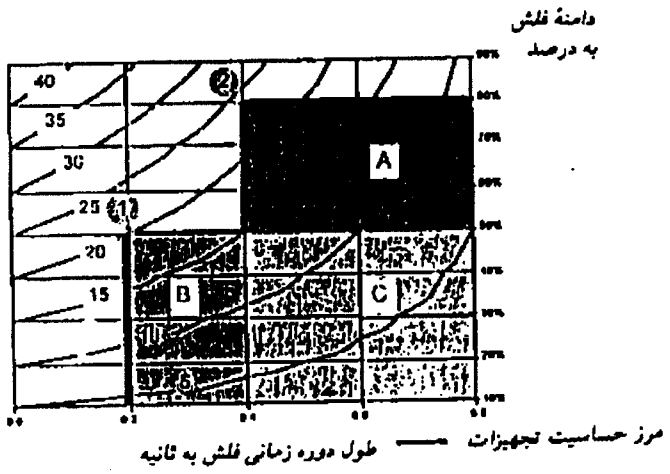
$$A = ۹ \text{ و } B = ۵$$

با جای گذاری در (۱) کل تعداد فلش از رابطه زیر به دست می آید :

فلش منجر به خروج از مدار $A+B+C = ۹+۵+۱۵=۲۹$

لازم به ذکر است که اگر چه مطالب فوق تنها در رابطه با فلش ولتاژ ارایه شد اما همین روش می تواند برای دیگر اعوجاجات ولتاژ که درگروه تغییرات کوتاه مدت ولتاژ قرار می گیرند (مانند

برآمدگی یا قطعی ولتاژ) به کار رود. برای این کار تنها کافی است که اعوجاج ولتاژ را توسط یک دامنه و دوره زمانی مشخص نمود.



شکل ۳- تقریب منحنی حساسیت غیر مستطیلی

٤-۲ استاندارد و مراحل محاسباتی مربوط به فلش ولتاژ

همان طور که گفته شد ، فلش ولتاژ ، کاهشی به اندازه ۰/۱ تا ۰/۹ پریونیت در ولتاژ نامی بوده که برای مدت زمان ۰/۵ سیکل تا یک دقیقه تداوم می یابد. این پدیده ممکن است بر عملکرد برخی از تجهیزات مشترکین اثر نامطلوبی داشته باشد ، در نتیجه لازم است مورد بررسی وتوجه قرار گیرد. درصورت درخواست یک مشترک بزرگ صنعتی ، چنانچه مشترک مذکور خواستار تعیین میزان فلش احتمالی به شینه خود باشد ، شرکت های برق می توانند موارد زیر را انجام دهند. هزینه انجام این اقدامات بر اساس تعرفه های مصوب بر عهده مشترک می باشد.

الف ـ تعیین دقیق و آریاش شبکه متصل به شینه موردنظر

ب ـ تعیین نرخ وقوع اتصال کوتاه ناشی از صاعقه و یا اختلال درشبکه موردنظر با استفاده از بررسی های آماری و محاسباتی (این محاسبات باید برای انواع اتصال کوتاه شامل اتصال کوتاه سه فاز ، دو فاز و تک فاز به صورت جداگانه انجام گیرد).

ج ـ تعیین محدوده ای که در اثر وقوع اتصال کوتاه در آن فلش ولتاژی با دامنه ۱۰ تا ۹۰ درصد روی مشترک ایجاد شود. برای تعیین این محدوده ، در شبکه های شعاعی می توان از روش فاصله بحرانی (که در ضمایم این استاندارد به آن اشاره شده است) استفاده نمود. در صورت پیچیده بودن شبکه مورد نظر باید از برنامه های کامپیوتری بهره برد. محدوده فوق باید برای انواع اتصال کوتاه به صورت جداگانه ای تعیین شود..

د ـ باتوجه به مراحل ب و ج ، تعداد وقوع فلش ولتاژ با دامنه مشخص (در هر سال) برای انواع اتصال کوتاه محاسبه گردد.

هـ ـ باتوجه به سیستم های حفاظتی ، طول دوره زمانی تمامی فلش های به دست آمده در بند " د " برای انواع اتصال کوتاه تعین شود.

و ـ به کمک محاسبات انجام شده در مراحل فوق ، جدولی مانند جدول ۱ برای آن مشترک تشکیل گردد. سپس جدول ۲ و نهایتا" شکل ۱ برای آن مشترک رسم شود. لازم به ذکر است که شکل ۱ برای انواع اتصال کوتاه باید به صورت جداگانه ترسیم گردد.

ز ـ نحوه گزارش فش ها ، باید مطابق روش پیشنهادی در بخش های ٤-۱-۱-۱ و ٤-۱-۱-۲ باشد.

ح ـ دریافت منحنی حساسیت تجهیزات مشترک و مقایسه آن با منحنی های هماهنگی فلش ولتاژ به منظور محسابه تعداد خروج از مدار آن تجهیز (رجوع شود به شکل ۲).

به مشترکین توصیه می گردد در زمان خرید تجهیزات کلیدی و حساس منحنی های حساسیت آن تجهیز را از سازنده دریافت نمایند.

ط ـ در صورتی که برای مشترک تعداد خروج از مدار محاسبه شده نامطلوب تشخیص داده شود (تشخیص این امر بر عده مشترک است) روش های اشاره شده جهت کاهش دامنه و تعداد فلش ولتاژ توسط مشترک و شرکت های برق باید مورد بررسی قرار گرفته و مناسب ترین روش برای

بهبود کیفیت برق آن مشترک پیشنهاد گردد. این روش ها در بخش ضمایم این استاندارد ، به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته اند.

نکته : باتوجه به مطالب اشاره شده ، درخصوص فلش ولتاژ نمی توان سطوح مجازی را برای هر شینه تعریف نمود زیرا فلش ولتاژ به وجود آمده در اثر اتصال کوتاه تنها ناشی از اغتشاشات تولید شده توسط مشترک نبوده بلکه به اتفاقات در شبکه نیز مربوط می باشد و بنا براین کنترل آن توسط شرکت های برق منطقه ای به شکل کامل امکان پذیر نخواهد بود.

پیوست الف

شناخت بهتر فلش ولتاژ و روش های کاهش آن

(اطلاعاتی)

الف ـ ۱ علل ایجاد فلش ولتاژ

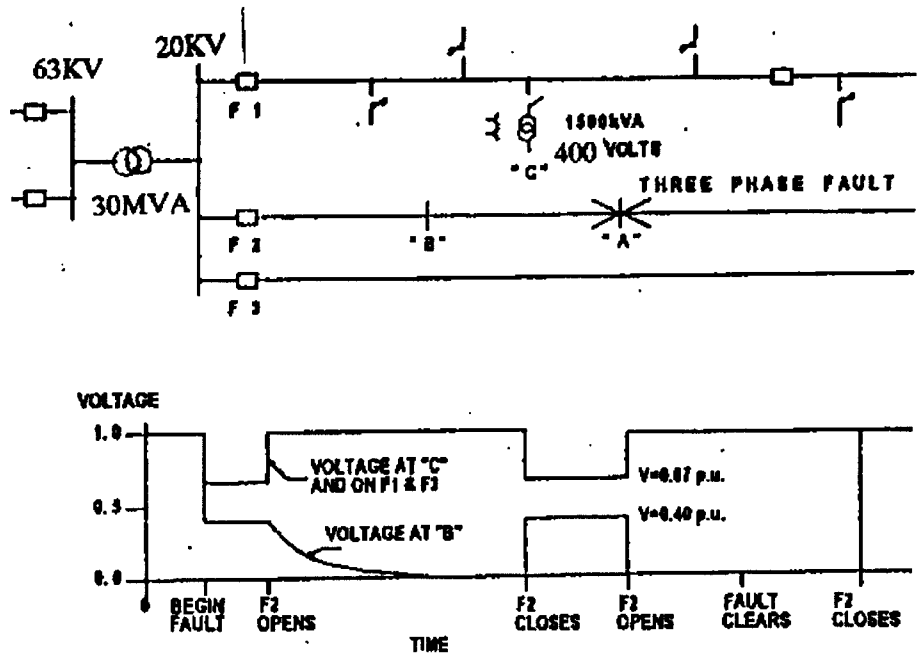
علت اصلی وقوع فلش ولتاژ اتصال کوتاه در شبکه می باشد. راه اندازی موتورها نیز می تواند موجب فلش ولتاژ شود ، اما به هر حال مدت زمان آن معمولاً بیشتر از ۳۰ سیکل بوده و دامنه فلش ولتاژ به وقوع پیوسته در اثر آن ها کم خواهد بود. برخی از محققین تغییرات ولتاژ ایجاد شده در اثر راه اندازی موتورها را به عنوان فلیکر ولتاژ در نظر می گیرند [۱] . به هر حال این پدیده نیز می تواند به عنوان فلش ولتاژ در نظر گرفته شود. بنا به آنچه گفته شد عامل اصلی ایجاد فلش ولتاژ در شبکه ، وقوع اتصال کوتاه در سیستم است. اتصال کوتاه می تواند در هر نقطه از شبکه و یا حتی در شبکه داخلی یک مشترک رخ دهد و تا زمانی که خطا توسط وسیله حفاظتی رفع شود فلش ولتاژ ادامه خواهد داشت. این وسیله حفاظتی معمولاً فیوز یا یک کلید خواهد بود. اگر عمل وصل مجدد توسط شرکت برق انجام گیرد شرایط فلش ولتاژ می تواند چندین بار نیز اتفاق افتد.

الف ۱-۱ فلش ولتاژ در اثر اتصال کوتاه

شبکه ساده توزیع نشان داده شده در شکل ۱ را در نظر بگیرید که شامل یک پست فوق توزیع ۳۰ مگاوات آمپری همراه با سه فیدر فشار متوسط می باشد. هر فیدر دارای یک کلید با رله های حفاظتی مربوطه بوده تا در هنگام وقوع خطا ، اتصالی را تشخیص داده و آن را رفع کند. در فیدر F_1 ، نقطه C یک کارخانه صنعتی است که از طریق یک ترانس توزیع ٤۰۰ ولت تغذیه می شود.

نمودار پایینی در شکل ۱ مقدار ولتاژ موثر نقاط B و C را در زمان وقوع خطا در نقطه A روی فیدر F_2 نشان می دهد. درمحور افقی ، توالی وقایع انجام شده آمده است. توجه کنید که فرض شده است فیدر F_2 از یک وصل کننده مجدد استفاده می کند که می تواند باعث وقوع چند فلش ولتاژ برای یک خطای دایمی باشد. در هنگام رفع خطا توسط کلید کلیه بارهاتی روی F_2 (شامل B) دچار قطعی می گردند ، در حالی که بارهای روی فیدرهای F_1 و F_3 به حالت عادی باز می گردند. اگر دامنه و دوره زمانی فلش ولتاژ ، خارج از توانایی بارهای حساس باشد این بارها از

مدار خارج می شوند. فلش ها همچنین ممکن است در اثر خطاهای تک فاز و یـا دو فـاز بـه وجـود آیند که در این صورت دامنه فلش ولتاژ در فازهای مختلف با یکدیگر تفاوت خواهد داشت.



شکل ۱- فلش ولتاژ در اثر اتصال کوتاه و رفع آن

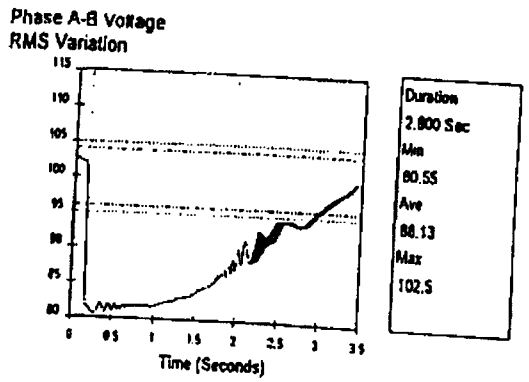
جهت مقابله با فلش ولتاژ ممکن است طراحی و ساختن تجهیزات به نحوی مد نظر قرار گیرد که این گونه وسایل حتی فلش های شدید را هم تحمل کنند. اما این مسئله قیمت تجـهیزات را بـالا خواهـد برد. تخمین دقیق دامنه فلش و دوره زمانی آن به طراخان سیستم کمک نموده تا با انتخاب مشخصات مناسب برای تجهیزات مهم وکلیدی تا حدود زیادی از عواقب این پدیده در امان بمانند.

ابزار اصلی تخمین فلش ولتاژ ، شـامل برنامه کـامپیوتری جـهت محاسـبه جریـان هـا و ولتـاژهـای نامتقارن ، اطلاعات مربوط به قابلیت اطمینـان و مشخصه وسایل رفع خطا می باشد. ایـن محاسـبات می توانند برپایه یک برنامه کامپیوتری تحلیل اتصال کوتاه انجام گیرند. به هـر حـال در شـبکه هـای شعاعی و ساده می توان از یک روش سر راست به نام روش فاصله بحرانـی اسـتفاده نمـود کـه در پیوسـت د به جزئیات آن خواهیم پرداخت. در شبکه های پیچیـده و بـه هـم پیوسـته اسـتفاده از

برنامه های تحلیل اتصال کوتاه به استفاده کننده اجازه می دهد که مطالعات را به دقت انجام داده و اتصال کوتاه های مختلف را در طول شبکه اعمال کند و اندازه فلش ولتاژ را روی کلیه شینه ها به دست آورد.

الف ۱-۲ فلش ولتاژ در اثر راه اندازی موتورها

یکی از اثرات نامطلوب موتورها ، کشیدن جریانی در حدود چندین برابر جریان نامی در لحظه راه اندازی است. با عبور این جریان راه اندازی از امپدانس سیستم ، فلش ولتاژی ایجاد خواهد شد که ممکن است موجب کم شدن نور چراغ ها ، قطع کنتاکتورها و همچنین قطع تجهیزات حساس شود. این وضعیت در اثر ضریب قدرت پایین لحظه راه اندازی که حدود ۰/۱۵ تا ۰/۳ است تشدید نیز می گردد. زمان لازم برای شتاب گرفتن موتور از لحظه سکون تا رسیدن به سرعت نامی با دامنه فلش افزایش می یابد ویک فلش ولتاژ بزرگ ممکن است حتی از راه اندازی موفقیت آمیز موتور نیز جلوگیری نماید. فلش ولتاژ به وجود آمده در اثر راه اندازی موتور ممکن است چندین ثانیه طول بکشد (رجوع شود به شکل ۲) . مدت زمان وقوع فلش تابع قدرت موتور ، ممان اینرسی موتور و روش راه اندازی موتور است.



شکل ۲- نمونه فلش ولتاژ در اثر راه اندازی موتور

الف ۱-۲-۱ روش های راه اندازی موتور

برق دار کردن موتور با ولتاژ کامل ساده ترین نوع راه اندازی موتورها بوده و مزیت آن هزینه کم و شتاب بالای آن می باشد. این نوع راه اندازی در صورتی که فلش ولتاژ یا تنش مکانیکی خارج از حد مجاز نباشد ترجیح داده می شود.

راه اندازی با اتوترانسفورماتور : این روش از دو اتوترانسفومراتور که به صورت مثلث باز متصل شده اند بهره می گیرد. در طی راه اندازی مقدار تپ که ولتاژ ورودی به موتور را تنظیم می کند روی ۸۰ ، ٦٥ ، یا ۵۰ درصد ولتاژ نامی سیستم تنظیم می شود. جریان خط و گشتاور راه اندازی با مربع ولتاژ اعمالی به موتور متناسب است وبنا براین تپ ولتاژ ۵۰ درصدی تنها ۲۵ ٪ جریان راه اندازی و گشتاور راه اندازی حالت ولتاژ کامل را تولید می کند. در عمل پایین ترین تپی که گشتاور راه اندازی لازم را تولید می کند انتخاب خواهد شد.

راه اندازی با مقاومت و راکتانس : در این روش در ابتدای راه اندازی یک امپدانس به صورت سری با موتور قرار می گیرد و پس از چند لحظه ، امپدانس اتصال کوتاه می گردد. اگر از مقاومت در راه اندازی استفاده شود، این مقاومت ها در چندین مرحله اتصال کوتاه می شود. در این روش جریان خط با ولتاژ اعمالی به موتور ارتباطی مستقیم دارد و بنا براین برای یک ولتاژ راه اندازی مشابه ، این نوع راه انداز جریان خط بیشتری از روش راه اندازی با اتوترانسفورماتور می کشد ، اما در مقابل گشتاور راه اندازی بالاتری تولید می کند. راکتورها نوعا" با درصدهای تپ ۵۰ ، ٤۰ و ۳۷/۵ استفاده می گردند.

راه اندازی با استفاده از سیم پیچی دوگانه : این نوع راه اندازی برای موتورهای با " مقادیر نامی دوگانه مناسب است (مثلا" ۲۲۰/۳۸۰) . استاتور این نوع موتورها دارای دو سیم پیچی است که در ولتاژ نامی کوچک تر به صورت موازی و در ولتاژهای نامی بزرگ تر به شکل سری به یکدیگر متصل می شوند. هنگام راه اندازی با ولتاژ نامی کوچک تر ، در ابتدا تنها یکی از سیم پیچ ها برق دار شده و جریان راه اندازی و گشتاور راه اندازی را به ۵۰ درصد حالتی که هر دو سیم پیچ به طور همزمان برق دار می شوند می رساند.

راه اندازی ستاره ـ مثلث : در این روش ابتدا موتور به شکل ستاره راه اندازی شده و پس از چند لحظه سیم پیچ ها به شکل مثلث اتصال می یابند. اتصال ستاره ، ولاژ راه اندازی را به ۵۷٪ ولتاژ خط

سیستم تقلیل می دهد و بنا براین جریان و گشتاور راه اندازی به ۳۵ ٪ مقادیر آن ها در راه اندازی بـا ولتاژ کامل خواهد رسید.

پیوست ب

تخمین مشخصه های مختلف فلش ولتاژ

(اطلاعاتی)

ب ـ ۱ تخمین اندازه فلش ولتاژ در طی راه اندازی موتور با ولتاژ کامل

همان طور که در شکل ۲ از پیوست الف نشان داده شده است ، در اثر راه اندازی یک موتور القـایی ، فلش ولتاژی با تغییرات سریع به وجود می آید وسپس به تدریج به حالت اولیه خود باز می گرد. اگر راه اندازی با ولتاژ کامل صورت گیرد ، فلش ولتاژ برحسب پریونیت به شکل زیر بیان می شود :

$$V_{\min}(pu) = \frac{V_{(pu)}.KVA_{SC}}{KVA_{LR} + KVA_{SC}} \qquad (۱)$$

که در آن :

$V_{mon}(pu)$: دامنه فلش ولتاژ

$V_{(pu)}$: ولتاژ واقعی سیستم بر حسب پریونیت

KVA_{LR} : توان ظاهری موتور در حالت قفل رتور

KVA_{SC} : قدرت اتصال کوتاه سیستم در محل نصب موتور

اگر نتیجه محاسبات مربوط به اندازه فلش ولتاژ در زمان راه اندازی موتور بالاتر از حداقل مجاز ولتاژ حالت ماندگار تجهیزات حساس باشد ، راه اندازی با ولتاژ کامل قابل قبول است . در غیر این صورت باید از روش های دیگر راه اندازی استفاده نمود.

ب ـ ۲ تخمین فلش ولتاژ در اثر اتصال کوتاه

دامنه و طول دوره زمانی فلش های ولتاژ به وقوع پیوسته در اثر اتصال کوتاه قابل پیش بینـی هسـتند. دامـــنه فلش را می توان توسط روابـط ریاضی محاسبه نمود و مدت زمانی که فلـش ولتـاژ اتفـاق می افتد نیاز به تخمینی از کل زمان رفع خطا توسط وسایل حفاظتی دارد. شکل مـوج فلـش ولتـاژ را می توان توسط تحلیل گذرای شبکه پیش بینی نمود.

روش پیش بینی مشخصات یک فلش ولتاژ بسیار سر راست است. ابتدا باید یک مدل الکتریکی دقیق از سیستم تهیه شود. سپس با اعمال اتصالی در نقاط مختلف شبکه میزان دامنه فلش ولتاژ در محل بار

مورد نظر به دست آورده شود. بعد از آن به کمک استفده از مشخصه تجهیزات حفاظتی ، دوره زمانی فلش تخمین زده می شود.

ب - ۲-۱ دامنه فلش ولتاژ

برای محاسبه دامنه فلش ولتاژ احتیاج به امپدانس های شبکه ، امپدانس خطا و فاصله محل وقوع خطا نسبت به بار موردنظر خواهد بود. همچنین نوع اتصال ترانسفورماتورها و ولتاژ قبل از وقوع فلش در محاسبات ذخیل می باشند. شکل ۱ یک مقسم امپدانسی را که برای محاسبه دامنه فلش به کار می رود نشان می دهد. در این حالت می توان نوشت :

$$V_{sag} = \frac{Z_2 + Z_f}{Z_1 + Z_2 + Z_f} \qquad (۲)$$

شکل ۲ و روابط ۳ تا ۵ محاسبات مربوط به دامنه فلش ولتاژ به وجود آمده در اثر یک اتصالی سه فاز با امپدانس اتصال کوتاه برابر صفر ($Z_f = 0$) را نشان می دهد. اگر در حل مسئله از مقاومت ها صرف نظر شود، محاسبات ساده تر خواهد بود. اما درعمل ، هر جا که لازم باشد باید از مقاومت و توالی های منفی و صفر نیز استفاده نمود.

$$V_B = \frac{j1.05}{j0.2 + j0.67 + j0.7 + j1.05} = 0.4\,pu \qquad (۳)$$

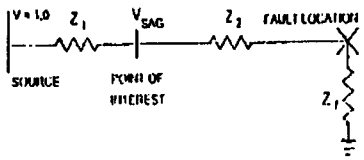
ولتاژ در شینه ۲۰ کیلوولت و کلیه بارهای روی F_1 و F_3 شامل نقطه C در شکل شماره (۱) برابر است با :

$$V_{20kv} = \frac{j0.7 + j1.05}{j0.2 + j0.67 + j0.7 + j1.05} = 0.67\,pu \qquad (٤)$$

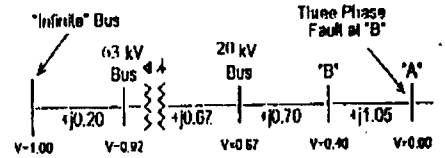
ولتاژ در شینه ۶۳ کیلوولت برابر است با :

$$V_{63kv} = \frac{j0.67 + j0.7 + j1.05}{j0.2 + j0.67 + j0.7 + j1.05} = 0.92\,pu \qquad (٥)$$

این روابط ساده نشان می دهد که چگونه وقوع خطا در یک فیدر ، ولتاژ فیدرهای دیگر را دچار اغتشاش می کند.



شکل ۱- مقسم امپدانسی برای محاسبه دامنه فلش



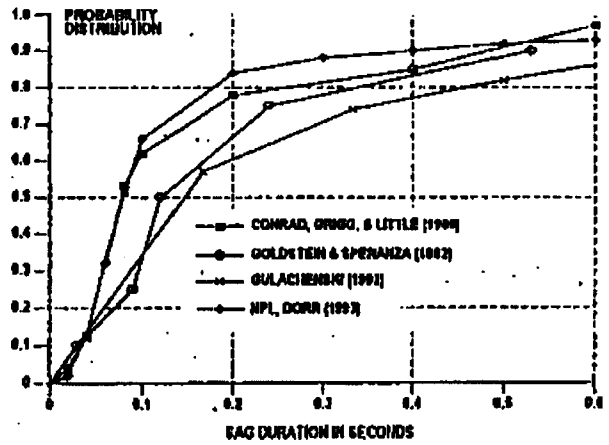
شکل ۲-دیاگرام امپدانسی و ولتاژ نقاط مختلف در شکل ۱

ب ۲-۲ طول دوره زمانی فلش ولتاژ

دوره زمانی هر فلش ولتاژ بستگی به مشخصه تجهیزات حفاظتی دارد. تجهیزات رفع خطا انواع متعددی داشته ولی مشخصه عمومی همه آن ها ، وجود یک زمان حداقل است که تا رفع کامل خطا طول می کشد. علاوه بر آن گاهی اوقات در رابطه با هماهنگی بین تجهیزات حفاظتی که به صورت سری قرار گرفته اند یک تاخیر زمانی کلی نیز در نظر گرفته می شود. همچنین چون اکثر اتصالی های خطوط انتقال از نوع موقت می باشند ، در بسیاری از شبکه های قدرت از عملیات وصل مجدد اتوماتیک استفاده می شود. زمان رفع خطا برای تعدادی از تجهیزات مرسوم به کار رفته در سیستم های قدرت در جدول ۱ آمده است. شکل شماره ۳ توزیع احتمال دوره زمانی برای داده های به دست آمده از مراجع را نشان می دهد.

جدول ۱- زمان های رفع خطای نمونه

نوع تجهیزات رفع کننده خطا	زمان رفع خطا (سیکل)		
	حداقل	تاخیر زمانی	تعداد دفعات
فیوز	۰/۵	۰/۵ تا ٦۰	ندارد
فیوز محدود کننده جریان	۰/۲۵ یا کمتر	۰/۲۵ تا ٦	ندارد
وصل کننده مجدد الکترونیکی	۳	۱ تا ۳۰	۰ تا ٤
کلیدهای روغنی	۵	۱ تا ٦۰	۰ تا ٤
کلیدهای Sf6 یا خلاء	۳	۱ تا ٦۰۰	۰ نت ٤



شکل ۳- توزیع احتمالی طول دوره زمانی فلش

ب ۲-۳ نرخ وقوع فلش ولتاژ (فرکانس فلش ولتاژ)

پیش بینی نرخ وقوع فلش ولتاژ نیاز به یک مدل دقیق از امپدانس شبکه و طالاعات مربوط به قـابلیت اطمینان برای کلیه تجهیزات موجود در شبکه دارد. اطلاعات قابلیت اطمینان برای ترانسـفورماتورها ، خطوط و دیگر تجهیزات در ضمیمه استاندارد IEEE شماره ٤۹۳ آمده است.

روش کار بدین صورت است که ابتدا باید تجهیزاتی از شبکه که اتصالی روی آن ها فلش ولتاژ قابل ملاحظه ای در نقطه مورد مطالعه به وجود می آورد تشخیص داده شده و سپس احتمال وقوع هر اتصالی محاسبه شود. به هر حال راحت تر است که تشخیص دهیم کدام قسمت هر خط می تواند در صورت بروز یک اتصالی در آن ، فلش ولتاژ قابل ملاحظه ای ایجاد کند. مجددا" شکل ۱ از پیوست الف را در نظر بگیرد. توجه کنید که هر چقدر خطای A دورتر از شینه ۲۰ کیلوولت به وقوع بپیوندد ، فلش ولتاژ برای بار در نقطه C مقدار کمتری خواهد داشت. به عنوان مثال اگر راکتانس خط ۰/۳۵ پریونیت بر کیلومتر فرض شود ، یک اتصالی در ۲/۵ کیلومتری از شینه ۲۰ کیلوولت موجب می شود که ولتاژ نقطه C به ۵۰٪ ولتاژ نامی خود برسد. بنا براین هر اتصالی سه فاز به وقوع پیوسته بین شینه ۲۰ کیلوولت تا فاصله ۲/۵ کیلومتری آن می تواند یک فلش ولتاژ شدیدتر از ۵۰٪ ایجاد کند. به صورت مشابه ، اتصالی های ممکن در فاصله صفر تا ۹/۹۵ کیلومتری پست سبب فلش های ۸۰٪ یا کمتر می شوند.

علت اصلی وقوع فلش ولتاژ در یک مشترک صنعتی بزرگ ، برخورد صاعقه به خطوط و تجهیزات در شبکه و یا احتمالا" به شبکه داخلی مشترک است. صاعقه وابسته به شرایط آب وهوای بوده وشرایط محیطی می تواند از فصلی به فصل دیگر و یا از سالی به سال دیگر متغیر باشد. به هر حال در طول یک دوره زمانی بزرگ ، شرایط محیطی اکثرا" از یک سری الگوهای مشخص پیروی می کند. اگر N_g تعداد برخورد صاعقه به زمین در هر کیلومتر و در هر سال در نظر گرفته شود که مقدار آن از حاصل ضرب سطح ایزوکرونیک منطقه در یک ضریب تبدیل به دست می آید می توان با استفاده از ابعاد خطوط انتقال ، سطح BIL مقره ها و مقدار N_g تعداد اتصالی ها در هر کیلومتر از خط و در هر سال (نرخ خطا) را محاسبه نمود.

برای به دست آوردن یک مفهوم عددی از فرکانس فلش ، فرض شود که فیدر دارای نرخ خطایی برابر ۰/۲ اتصالی سه فاز در کیلومتر در سال است. همان طوری که قبلا" محاسبه گردید در روی فیدر F_2 حدود ۲/۵ کیلومتر وجود دارد که اتصالی در این محدوده موجب فلش های ۵۰٪ یا شدیدتر می شود. هم چنانکه رابطه ٦ نشان می دهد ۰/۵ دفعه در سال احتمال دارد که در اثر اتصالی در فیدر F_2 ، فلش ولتاژی در بار C از ۵۰٪ کمتر شود.

$$Sag_{50\%} = 0.2\frac{faults}{km-year} * 2.5km = 0.5\frac{Sags}{year} \quad (٦)$$

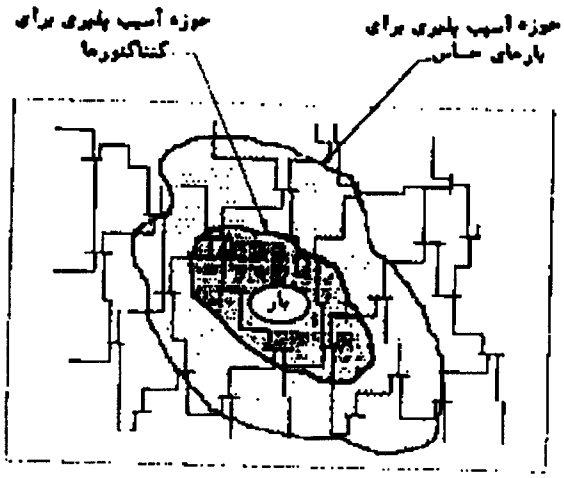
به صورت مشابه رابطه شماره (۷) نشان می دهد که ۲ بار در سال احتمال دارد که در اثـر اتصـالی در فیدر F_2 ، فلش ولتاژ در نطقه C بین صفر تا ۸۰ درصد باشد.

$$Sag_{80\%} = 0.2\frac{faults}{km-year} * 9.95km \approx 2.0\frac{Sags}{year} \quad (٧)$$

توجه شود که اتصالی در فیدر F_3 نیز می تواند موجب ایجاد فلش ولتاژ در بار قرار گرفته در نقطه C گردد. بنا براین محاسبات باید برای فیدر F_3 نیز مجدداً" تکرار شود. سپس کلیه احتمالات مربـوط بـه هر فلش به دسـت آمده را جمع نموده تا کل فرکانس آن فلـش مشـخص بـه دسـت آیـد. اگـر F_3 درست شبیه F_2 باشد ، احتمال وقوع فلش کمتر از ۵۰٪ و ۸۰٪ در بار C به ترتیب برابر یک و چـهار فلش در سال خواهد بود. با تکرار این محاسبات برای کل شبکه موجود ، ایده روشنی از مفهوم حوزه آسیب پذیری به دست خواهد داد.

ب - ۳ حوزه آسیب پذیری

در محاسبه احتمال وقوع یک فلـش ولتاژ با اندازه ای کمتر از یـک مقـدار مشـخص واژه " حـوزه آسیب پذیری " به کار می رود. شکل ٤ حوزه آسیب پذیری یک مشترک صنعتی را که توسط سیسـتم انتقال تغذیه می شود نشان می دهد.



شکل ٤- توصیف حوزه آسیب پذیری یک سیستم انتقال

به کمک شبیه سازی می توان مقدار فلش ولتاژ مورد انتظار را در اثر ایجاد خطا در نواحی مختلف این سیستم به دست آورد و ولتاژ در شینه بار را با عنوان تابعی از محل خطا ارایه نمود. حوزیه آسیب پذیی برای یک سطح مشخص فلش ولتاژ محاسبه می شود.

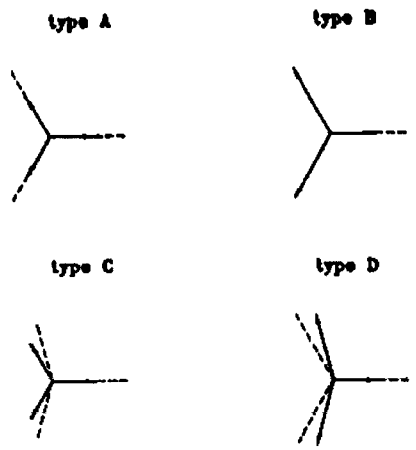
شکل ٤ نشان می دهد که حوزه آسیب پذیری بستگی به حساسیت تجهیزات دارد. کنتاکتورهایی که در ۵۰٪ ولتاژ نامی از کار می افتند دارای حوه آسیب پذیری نسبتا" کوچکتری هستند ، در حالی که محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت که در ۹۰٪ ولتاژ نامی از مدار خارج می شوند نسبت به وقوع خطا در محدوده وسیع تری از شبکه انتقال ، حساس و در نتیجه حوزه اسیب پذیری بزرگ تری خواهند داشت.

ب - ٤ رده بندی فلش های ولناژ

مطالعات نشان می دهند که برای تجهیزات سه فاز ، فلش های ولتاژ را می توان به چهار دسته تقسیم بنید نمود. این چهار نوع فلش ولتاژ در شکل ۵ به صورت برداری نشان داده شده اند. نوع A در اثر

یک اتصال سه فاز رخ داده است ، در حالی که نوع B مربوط به یک اتصالی تک فاز است. نـوع C و D نیز مربوط به اتصالی های دو فاز و تک فاز می باشند.

وجود ترانسفورماتور در یک شبکه الکتریکی سبب می شود که فلش ولتاژ به وجـود آمـده در طـرف اولـــیه آن به نوع دیگری در طرف ثانویه تبدیل شود و در برخی حالات نیز دامنه فلش ولتـاژ تغیـیر می کند.



شکل ۵- انواع فلش ها

پیوست ج

حساسیت تجهیزات نسبت به فلش ولتاژ

(اطلاعاتی)

توزیـــــع انرژی الکتریکی در کارخانجات صنعتی اغلب ازطریق فیدرهای سه فاز ۴۰۰ ولـــت انجـام می گیرد. بارها را می توان توسط نوع و نحوه اتصال آن ها به شبکه قدرت به صورت زیر گروه بندی نمود (رجوع شود به شکل ۱):

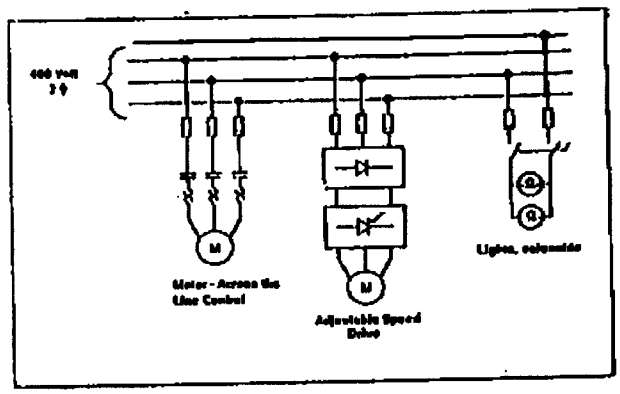
ـ موتورها با عناصر حرارتی و دیگر بارهای سه فاز که می توانند به فیدرهای ۴۰۰ ولت اتصال یابند.

ـ محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت و دیگر تجهیزات الکترونیک قدرت که از توان سه فاز اسـتفاده کـــــرده یا به صورت مستقیم و یا توسط یک ترانسفورماتور ایزوله به فیدرهـای ۴۰۰ ولـت متصـل می شوند.

ـ بارهای روشنایی که به ولتاژ ۲۲۰ ولت فاز به نوترال اتصال می یابند.

ـ وسایل کنترلی مانند کامپیوترهـا، کنتاکتورهـا و کنـترل کننـده هـای بـا منطـق برنامـه ریـزی کـه از ترانسفورماتورهای تک فاز ۴۰۰/۱۲۰ ولت استفاده می کنند.

هنگام وقوع فلش ، ولتاژ روی تجهیزات بستگی به نحوه اتصال آن ها دارد. در طی وقوع اتصالی تـک فاز به زمین کردن در طرف اولیه یک ترانسفورماتور ، مقدار ولتاژ هر کدام از فازها و ولتاژهای فـاز ـ فاز کاملاً متفاوت است. در این حالت ، حتی اگر حساسیت بارها نسبت به فلش ولتاژ یکسان باشد ، تعدادی از بارهای تک فاز تحت تاثیر قرار نمی گیرند ، در حالی که تعـدادی دیگـر از آن هـا ممکـن است از مدار خارج شوند. عدم تعادل ولتاژ نیز ممکن است یک مبحث مهم برای موتورها باشد ولـی به هر حال طول دوره زمانی عدم تعادل ولتاژ در طی شرایط خطا بسیار کوتاه تر از آن بوده که مـیزان گرمای موتور به یک مقدار قابل توجه برسد.



شکل ۱- بارهای تک فاز و سه فاز

گروه های مختلف تجهیزات و حتی انواع تجـهیزات درون یـک گـروه (مثـلاً" دو مـدل مختلـف از محـرکه های با قابلیت تنظیم سرعت) ممکن است نسبت به فلـش ولتـاژ حساسـیت هـای متفـاوتی نشان دهند و این عامل موجب می شود که ارایه یک استاندارد کلی که حساسیت تجهیزات مربوط به فرآیندهای صنعتی را در بر گیرد با مشکل همراه باشد.

نزدیکترین مدرک نسبت به استاندارد ، منحنی CBEMA بوده که در شکل ۲ نشـان داده شـده اسـت. این منحنی ابتدا برای تجهیزات پردازش داده ها (کامپیوتری) وضع گردید. منحنـی CBEMA نشـان می دهـد که حساسیت بار به طول دوره زمانی فلش ولتاژ بستگی شدیدی دارد. هم چنانکـه مشـاده می شود محدوده مجاز از صفر درصد ولتاژ نامی برای ۰/۵ سیکل تا ۸۷ درصد ولتـاژ نـامی بـرای ۳۰ سیکل را در بر می گیرد. این منحنی برای فرکانس ۵۰ هرتز نیز قابل استفاده است.

در حالی که محـدوده منحنی CBEMA یک حساسیت استاندارد را نسبت به فلش ولتـاژ پیشـنهاد می کند، پاسخ تجهیزات کارخانه ها در طی وقوع فلش ولتاژ به صورت متفاوت مـی باشـند. در ایـن مورد چند مثال در زیر آمده است :

۱ـ کنتاکتورها و رله های الکترومکانیکی : برخی از کنتاکتورهای قدیمی در ۵۰ درصد لوتاژ نامی از کار می فاتند (اگر این شرایط بیش از یک سیکل طول بکشد). به هر حال سازندگان جدید کنتاکتورها منحنی هایی ارایه داده اند که نشان می دهد یک کنتاکتور ممکن است در ۷۰٪ ولتاژ نامی یا حتی بالاتر از کار بیافتد.

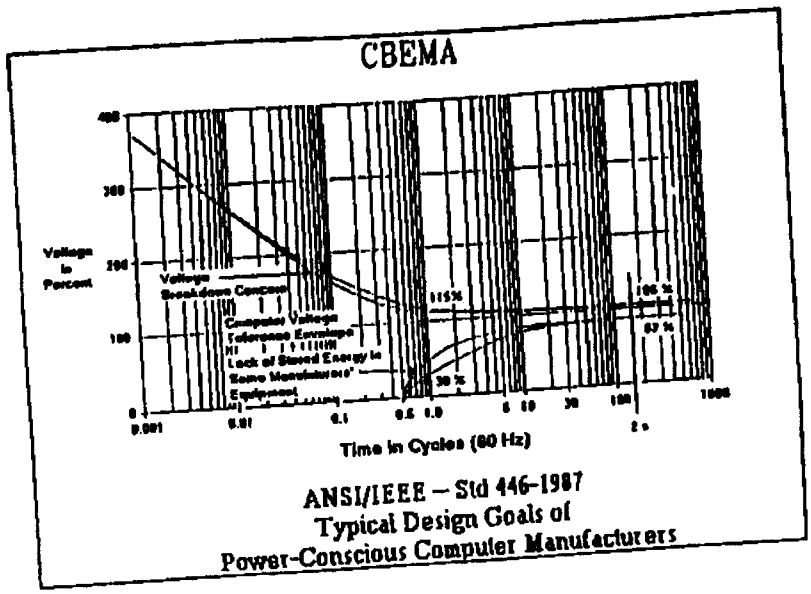
۲ـ لامپ های با تخلیه شدت بالا (HID) : لامپ های جیوه ای در ۸۰٪ ولتاژ نرمال خاموش می شوند و به مدت زمانی برای بازگشت نیز احتیاج خواهند داشت.

۳ ـ محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت (ASD) : تعدادی از محرکه ها طوری طراحی شده اند که قابلیت خلاصی از فلش ولتاژ را دارا باشند. زمان خلاصی می تواند از ۰/۰۵ تا ۰/۵ ثانیه باشد (بسته به سازنده و مدل)

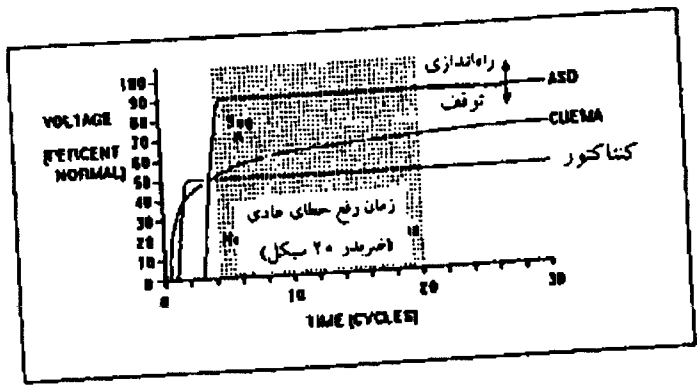
٤ ـ کنترل کننده های با برنامه ریزی های منطقی (PLC) : این تجهیزات یک گروه مهم در فرآیندهای صنعتی می باشند.

برای مثال منحنی حساسیت برای ASD و کنتاکتورهای یک سازنده نمونه در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل طول دوره زمانی فلش ایجاد شده در اثر یک اتصال کوتاه نیز رسم گردیده است. محدوده وسیع حساسیت ها بر اهمیت اخذ اطلاعات لازم از سازندگان تاکید می کند تا در کار موثر و مناسب تجهیزات در شرایط وامکانات سمت بتوان اطمینان حاصل کرد.

باید توجه نمود که کل فرآیند در یک کارخانه صنعتی می تواند تنها وابسته به حساسیت یک تجهیز باشد.



شکل ۲- منحنی CBEMA



شکل ۳- محدوده حساسیت تجهیزات نسبت به فلش ولتاژ

پیوست د

تخمین فلش ولتاژ با استفاده از روش فاصله بحرانی

(اطلاعاتی)

در هنگام وقوع فلش روی یک مشترک ، باید روش هایی را برای مقابله با آن انجام داد. به هر حال قبل از گرفتن هر گونه تصمیمی ، اطلاعات و داده های مربوط به دامنه و تعداد فلش های مخرب مورد نیاز است.

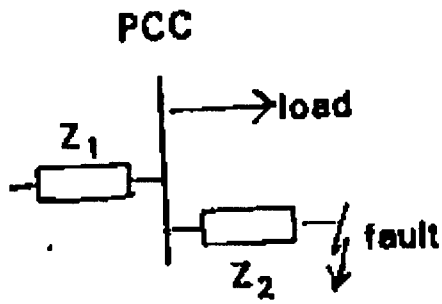
بنا براین لازم است تا تعداد فلش هایی که منجر به خروج از مدار تجهیزات حساس می شوند تخمین زده شود..

فلش های ولتاژ به وقوع پیوسته در اثر اتصال کوتاه دارای مشخصات قابل پیش بینی هستند. دامنه فلش را می توان توسط روابط ریاضی محاسبه نمود و میزان طول دوره زمانی نیاز به تخمینی از کل رفع خطا توسط وسایل حفاظتی دارد. در این بخش از استاندارد روشی جهت تخمین تعداد فلش ها ارایه شده که در شبکه های شعاعی کاربرد خواهد داشت. در رابطه با گسترش این روش در شبکه های غیر شعاعی نی مطالبی ارایه می گردد.

د - ۱ شبکه های شعاعی

جهت محاسبه دامنه فلشی که به علت اتصال کوتاه در نقاط مختلف از یک شبکه شعاعی ایجاد می گردد ، باید نقطه اتصال مشترک (PCC) بین محل اتصالی و بار مشخص گردد. مقسم ولتاژ منتجه در شکل ۱ نشان داده شده است که در آن Z_1 امپدانس شبکه PCC و Z_2 امپدانس بین PCC و نقطه اتصالی (شامل امپدانس خطا) می باشد. اگر از جریان بار صرف نظر گردد، دامنه فلش (به درصد) در محل بار برابر مقدار ولتاژ (به درصد) در PCC خواهد بود :

$$V_{sag} = \frac{Z_2}{Z_1 + Z_2} \qquad (۱)$$



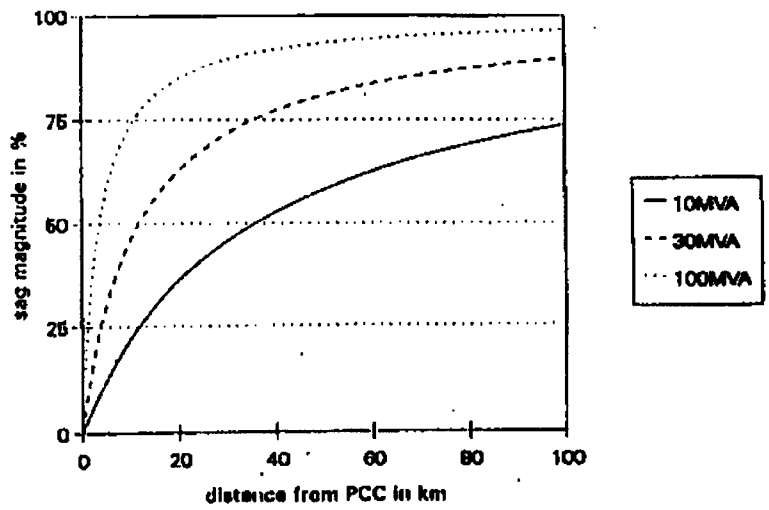
شکل ۱- اتصال کوتاه در یک شبکه توزیع شعاعی

برای مثال ، با استفاده از رابطه فوق مقدار ولتاژ در زمان وقوع فلش برای اتصالی های به وجود آمده روی یک خط هوایی ۲۰ کیلوولت ، با هادی ۱٦٥ میلی متر مربع و در فواصل مختلف از نقطه اتصال مشترک PCC ، محاسبه شده است. در شکل ۲ نتایج این محاسبات آمده است. مشخص است هر چه فاصله تا نقطه اتصالی بیشتر باشد و نیز هر چقدر قدرت اتصال کوتاه منبع افزایش یابد از شدت فلش کاسته خواهد شد.

آنچه که یک مشترک بیشتر به آ توجه خواهد داشت مقدار دامنه فلش نیست بلکه آنچه برای یک مشترک مهم است این نکته است که آیا تجهیزات و دستگاه های او در اثر وقوع این فلش از مدار خارج می شوند یا خیر ؟ فرض کنید که ولتاژی به نام " ولتاژ بحرانی " وجود دارد که در زیر این سطح ولتاژ ، تجهیزات از مدار خارج می شوند. برای یک PCC مشخص مجبور خواهیم بود که تمامی محل های خطایی را که برای آن ، رابطه زیر صدق می کند به حساب آوریم :

$$\left|\frac{Z_2}{Z_1 + Z_2}\right| < V_{crit} \qquad (۲)$$

$$\left|\frac{Z_2}{Z_1+Z_2}\right| < V_{crit} \qquad (۲)(۴)$$



شکل ۲- دامنه فلش بر حسب تابعی از فاصله تا PCC

فرض کنید که $Z_2 = \xi * z_2$ باشد که در آن z_2 امپدانس فیدر در هر کیلومتر و ξ فاصله بین نقطه اتصالی و PCC است. در این حالت تجهز برای کلیه اتصالی های موجود در فاصله بحرانی (فاصله از محل PCC) دستور قطع دریافت خواهد کرد.

این فاصله توسط رابطه زیر داده می شود :

$$\xi_{crit} = \frac{|Z_{11}|}{z_2} * \frac{V_{crit}}{1-V_{crit}}\left[\frac{V_{crit}Cosa + \sqrt{1-V_{crit}^2}\sin_2 a}{V_{crit}+1}\right] \qquad (۳)$$

که در آن : $|Z_2| = |r_2 + Jx_2|$

$$a = arctg\left[\frac{X_1}{R_1}\right] - arctg\left[\frac{x_2}{r_2}\right] \qquad (٤)$$

می باشد.

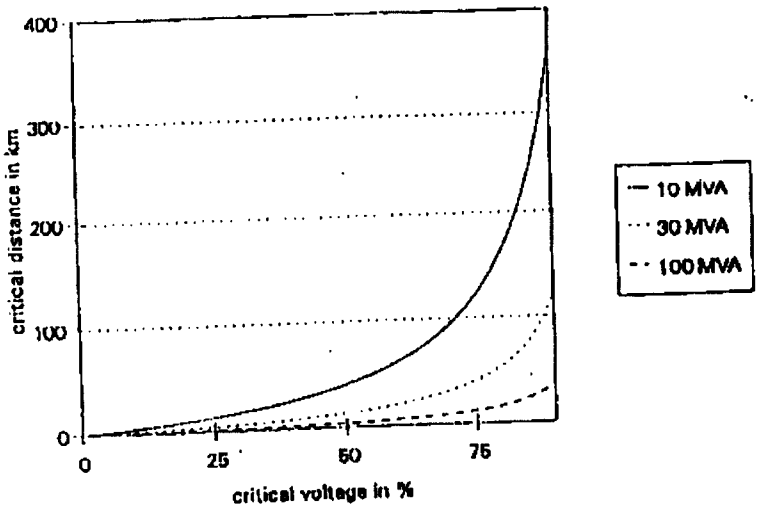
اگر نسبت $\frac{X}{R}$ پارامترهای Z_1 و Z_2 مساوی باشند ، در این صورت " فاصله بحرانی (ξ_{cirt}) برابر است با :

$$\xi_{crit} = \frac{Z_1}{z_2} * \frac{V_{crit}}{1 - V_{crit}} \qquad (۵)$$

کلیه اتصالی هایی که در این فاصله ایجاد شود موجب خروج از مدار تجهیز می گردد. شکل ۳ فاصله بحرانی را برای یک PCC ۲۰ کیلوولت و با سطوح اتصال کوتاه ۱۰ ، ۳۰ و ۱۰۰ مگاولت آمپر را نشان می دهد. با بالا رفتن ولتاژ بحرانی ۷ فاصله بحرانی به سرعت افزایش می یابد. برای محاسبات فوق از یک خط با امپدانس $۰/۳\frac{\Omega}{Km}$ استفاده شده است.

فاصله بحرانی به صورت قابل ملاحظه ای برای سطوح ولتاژ بالاتر افزایش می یابد. از کمتر از یک کیلومتر برای ٤۰۰ ولت تا صدها کیلومتر برای ولتاژ ۱۳۲ کیلوولت .

برای تخمین تعداد فلش های به وقوع پیوسته در محل یک بار مشخص ، فاصله بحرانی باید برای کلیه PCC های ممکن محاسبه شود. سپس با توجه به این مقدار می توان سطح در معرض را محاسبه نمود. هر اتصال کوتاهی که درون این سطح به وجود آید و طول آن از یک دوره زمانی مشخص بیشتر گردد ، نهایتا" منجر به خروج از مدار تجهیزات حساس خواهد د . تعداد فلش ها را می توان با جمع کردن تعداد اتصال کوتاه های مورد انتظار در دورن سطح درمعرض مشخص نمود. این کمیت را می توان از آمار قطعی ها به دست آورد.



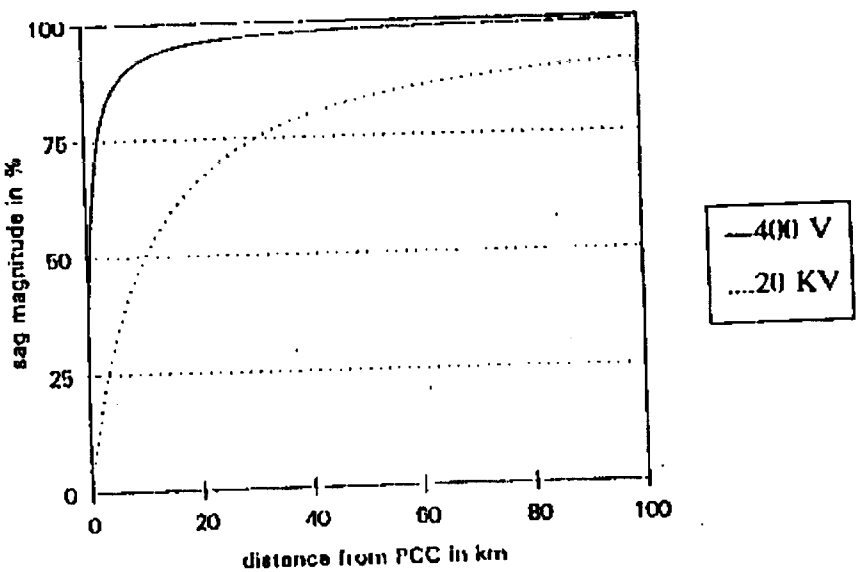
شکل ۳- فاصله بحرانی بر حسب ولتاژ بحرانی در ۲۰ کیلوولت

توجه کنید که شکل شماره ۳ تنها برای اتصالی های سه فاز معتبر است. بـرای خطاهـای تـک فـاز ، ولتاژ در فاز اتصالی را می توان با استفاده از مجموع امپدانس های توالی مثبت ، منفی و صفر محاسبه کرد. همین طور برای خطاهای فاز ـ فاز تفـــاوت ولتاژ بیـن دو فـاز اتصـالی شـده توسـط مجمـوع امپدانس های توالی مثبت و منفی به دست می آید. در اتصال کوتاه های سه فاز ولتاژ در PCC برابـر ولتاژ در ترمینال تجهیز است. در خطاهای تک فاز و دو فاز ، برای محاسبه انتشـار فلـش بـه سـطوح ولتاژ پایین تر باید نوع اتصال ترانس نیز وارد محاسبات گردد.

د - ۲ اتصالی های پشت ترانسفورماتور

با توجه به رابطه ای که در قسمت قبل برای فاصله بحرانی به دست آمد ، برای ولتاژهای بحرانی ۸۰٪ و بالاتر سطح در معرض بسیار بزرگ خواهد بود. فاصله بحرانی ۱۰۰ کیلومتری یا در این حدود ، در عمل و در شرایط واقعی در یک شبکه ۲۰ کیلوولت وجود نخواهد داشت ، چرا که وجود پست هایی با ترانسفورماتور مثلاً" ۴۰۰ ولت سبب کاهش این فاصله خواهد شد. شکل ٤ تاثیر اتصـالی در پشـت یک ترانسفورماتور را نشان می دهد. PCC در شبکه ۲۰ کیلوولت واقع بوده و سطح اتصال کوتـاه آن برابر ۳۰ مگاولت آمپر استو منحنی پایینی میزان فلش ولتاژ را برای اتصالی های روی یک خط هوایی

۲۰ کیلوولت و با هادی ۱۰۰ میلی متر مربع که از PCC تغذیه می شود نشان می دهد. منحنی بـالایی مربوط به یک خط ۱۰۰ میلی مترمربع ، ٤۰۰ ولت است که با یک ترانسفورماتور ٤ مگاولت آمپـر بـا امپدانس ۷ درصدی از PCC تغذیه می گردد. حتی برای یـک اتصـالی در مجـاورت ترانسـفورماتور(منحنی بالایی ، فاصله صفر) به دلیل امپدانس ترانسفورماتور ، فلش صفـر نخواهـد بـود. باتوجـه بـه توضیحات فوق می توان دریافت که در به دست آوردن تعداد فلش های بحرانی ، اتصالی های خـط ٤۰۰ ولت بسیار کمتر از اتصالی های خط ۲۰ کیلوولت مشارکت خواهند نمود.به هر حال منطقی بـه نظر می رسد که برای روش فاصله بحرانی از اتصالی هـای ایجـاد شـده در پشـت ترانسـفورماتورها صرف نظر کرد.



شکل ٤- اتصالی های در پشت یک ترانسفورماتور ۲۰۰۰/٤۰۰ ولت (بالا) و اتصالی ها در خط ۲۰ کیلوولت (پایین)

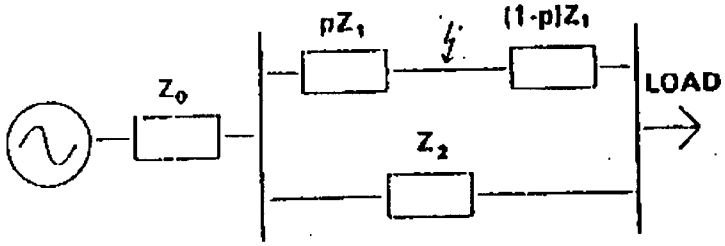
د - ۳ حلقه های فوق توزیع

در سیستم های فوق توزیع شبکه ها ممکن است به شکل شعاعی نبوده و حلقه های متعددی را شامل شوند. بارها از طریق دو مسیر که از یک منبع مشترک منشاء گرفته اند ، تغذیه می گردند. آرایش های مشابه ای را می توان در شبکه های صنعتی مشاهده نمود. این نوع از شبکه ، به طور قابل ملاحظه ای تعداد قطعی های با دوام را کاهش داده ولی اغلب اوقات تعداد فلش ها را افزایش می دهد.

فرض کنید که Z_1 و Z_2 امپدانس های دو مسیری باشند که منبع را به بار متصل کرده و Z_0 امپدانس منبع باشد.

اگر اتصال کوتاهی در مسیر اول و در کسر P از منبع اتفاق بیافتد (رجوع شود به شکل ۵) ولتاژ در شینه بار (دامنه فلش) برابر است با :

$$V_{sag} = \frac{P(1-P)Z_1}{Z_{0(}(Z_1+Z_2)+PZ_1Z_2+P(1-P)Z_1^{\,2}} \qquad (٦)$$

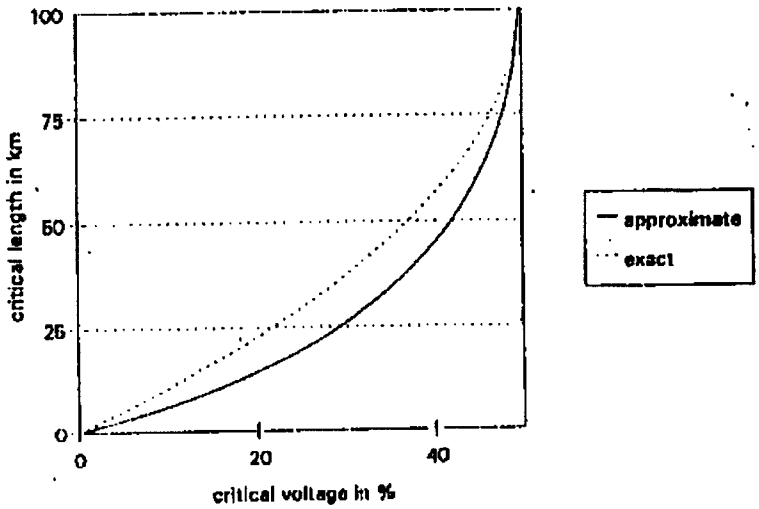


شکل ۵ ـ مدار معادل برای اتصالی در یک حلقه فوق توزیع

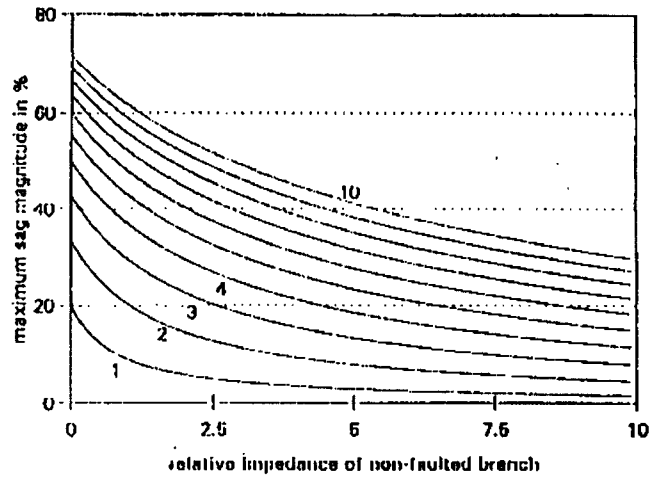
شکل ٦ دامنه فلش را برای یک منبع ۵۰۰۰ مگاولت آمپری در ولتاژ ۱۳۲ کیلوولت نشان داده که طول دو مسیر موازی برابر با ۲۵ و۱۰۰ کیلومتر فرض شده است. امپدانس خط برابر $۰/۳\frac{\Omega}{km}$ در نظر گرفته شده است. توجه کنید که مقیاس محور افقی برای منحنی پایینی و بالایی به ترتیب متناظر با ۲۵ کیلومتر و ۱۰۰ کیلومتر است. از این شکل مشاهده می شود که اکثر اتصالی هاموجب فلش های

شدیدی می گردند. از حل $V_{sag} = V_{crit}$ ، مقدار کسر بحرانی (P_{crit}) را می توان به دست آورد. ایـــن مقدار کسری از طـــــــول خط است که در اثر اتصالی در آن ، فلش های با شدت زیر ولتاژ بحرانـی (فلش های بحرانی)حاصل می گردد.

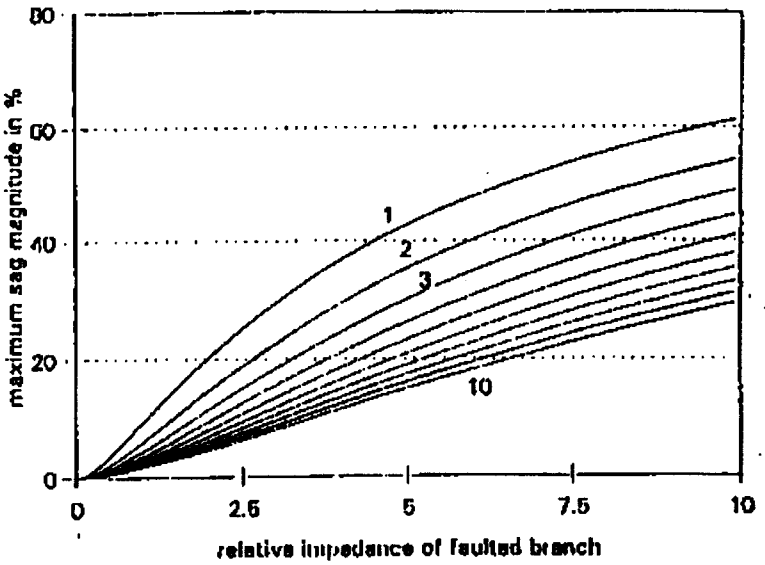
مقدار V_{max} (حداکثر دامنه ولتاژ پدید آده) به عنوان تـابعی از پارامترهـای سیسـتم در اشـکال ۷ و۸ نشان داده شده است. دو متغیر z_1 و z_2 به ترتیب برابر $\frac{Z_1}{Z_0}$ و $\frac{Z_2}{Z_0}$ می باشند. شکل ۱۷ ، V_{max} را به عنوان تابعی از Z_2 برای مقادیر مختلف Z_1 نشان می دهد ، در حالی که شکل ۸ ، V_{max} را به عنـوان تابعی از z_1 برای مقادیر مختلف Z_2 نشان می دهد.



شکل ٦- دامنه فلش برای اتصال کوتاه در یک حلقه فوق توزیع



شکل ٧- امپدانس نسبی شاخه سالم



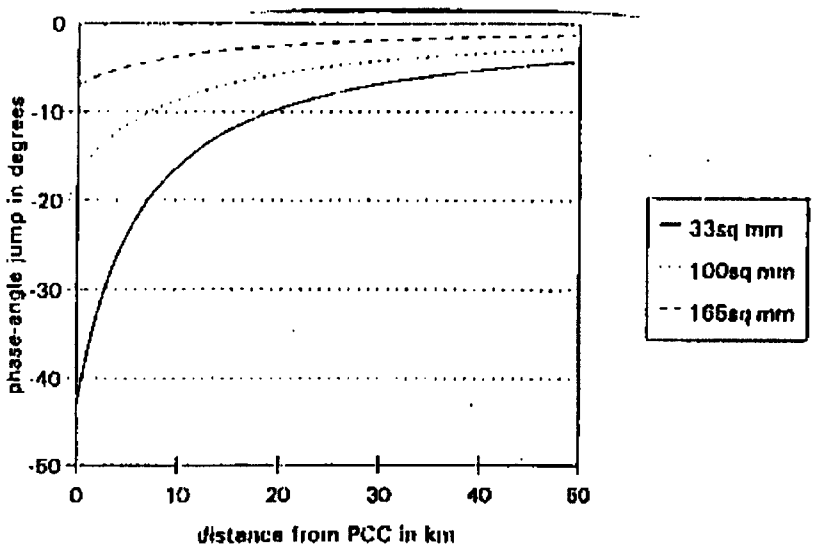
شکل ۸- امپدانس نسبی شاخه اتصالی شده

د - ٤ جهش زاویه فاز

برخی از تجهیزات بیش از آن که به دامنه فلش ولتاژ حساس باشند ، بیشتر به جهش زاویه فاز مربوط به آن حساسیت نشان می دهند (مانند یکسوکننده هایی کـه زاویـه آتـش آن هـا بـا فرکـانس شـبکه سنکرون هستند) برای شبکه های شعاعی شکل ۱ ، جهش زاویه فاز برابر است با :

$$\psi_{sag} = arctg\left[\frac{X_2}{R_2}\right] - arctg\left[\frac{X_1 + X_2}{R_1 + R_2}\right] \qquad (۷)$$

که در آن $Z_1 = R_1 + JX_1$ و $Z_2 = R_2 + JX_2$ می باشد. برای مثال جهش زاویه فاز به عنوانی تـابعی از فاصله تا نقطه اتصالی برای یک منبع ۳۰ مگاولت آمپری با نسبت $\frac{X_1}{R_1}$ = ۵ ، در ولتاژ ۲۰ کیلوولت و برای سطح مقطع های متفاوت برای هادی ها در شکل ۹ ترسیم شده است.



شکل ۹ ـ جهش زاویه فاز به عنوان تابعی از فاصله تا نقطه اتصالی

باتوجه به شکل ۹ می توان مشاهده نمود که سطح مقطع هادی یعنی (نسبت $\frac{X_2}{R_2}$ خط) تـاثیر قـابل ملاحظه ای روی جهش زاویه فاز دارد. این پارامتر به هر حال تاثیر کمـی روی دامنـه فلـش خواهـد داشت. از رابطه ۷ می توان معادله ای را برای فاصله بحرانی برحسب جـهش بحرانـی زاویـه فـاز بـه دست آورد :

(۸)

$$\zeta_{crit} = \frac{tg\left\{arctg\left[\frac{x_2}{r_2}\right] - \Psi_{crit}\right\} * R_1 - X_1}{-tg\left\{arctg\left[\frac{x_2}{r_2}\right] - \Psi_{crit}\right\} * r_2 + x_2}$$

که در آن Ψ_{crit} بر حسب رادیان و $Z_2 = \zeta(r_2 + jx_2)$ می باشد. نتایج برای بعضی از زوایا در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱ ـ فاصله بحرانی بر حسب جهش زاویه فاز بحرانی

جهش زاویه فاز بحرانی	فاصله بحرانی (کیلومتر)	
	خط با هادی ۲ mm ۳۳	خط با هادی ۲ mm ۱۰۰
10^0	۱۹	۷
5^0	٤۳	۲۵
1^0	۲۳۰	۱٦۰

د – ۵ تولید محلی

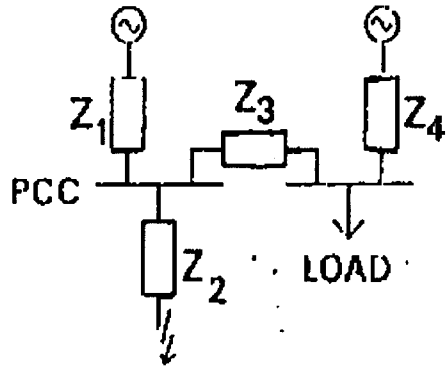
یک ژنـــــــراتور در نزدیکی شینه کارخانه ، علاوه بر این که سطح اتصال کوتاه را افزایش می دهد (متناظر با آن فاصله بحرانی را کاهش می دهد) یک میرایی اضافی را نیز برای فلش های دور ارایـــه می دهد. مدار الکرتیمی برای این حالت در شکل ۱۰ آمده است. Z_3 امپدانـس بیـن PCC و شـینه ژنراتور و Z_4 راکتانس گذرای ژنراتور محلی را نشان می دهد. دامنه فلش ایجـاد شـده در بـار برابـر است با :

$$(1-V_{sag}) = \frac{Z_4}{Z_3+Z_4}(1-V_{pcc}) \qquad (۹)$$

کاهش ولتاژ در شینه ژنراتور $\frac{Z_4}{Z_3+Z_4}$ برابر کاهش ولتاژ در PCC است. بنـا برایـن اگـر فاصلـه تـا PCC افزایش یابد مقدار کاهش ولتاژ کمتر خواهد شد.

فاصله بحرانی به عنوان تابعی از ولتاژ بحرانی از رابطه زیر محاسبه می شود $(Z_2 = \zeta z_1)$:

$$\zeta_{crit} = \frac{Z_1}{Z_2}\left\{\frac{Z_4}{Z_1+Z_3+Z_4}.\frac{V_{crit}}{1-V_{crit}} - \frac{Z_3}{Z_1+Z_3+Z_4}\right\} \qquad (۱۰)$$



شکل ۱۰ – مدار معادل برای تولید محلی

نهایتا" می توان نتیجه گرفت که وجود یک ژنراتور محلی تاثیر مثبتی در زمینه بهبود شرایط فلش خواهد داشت.

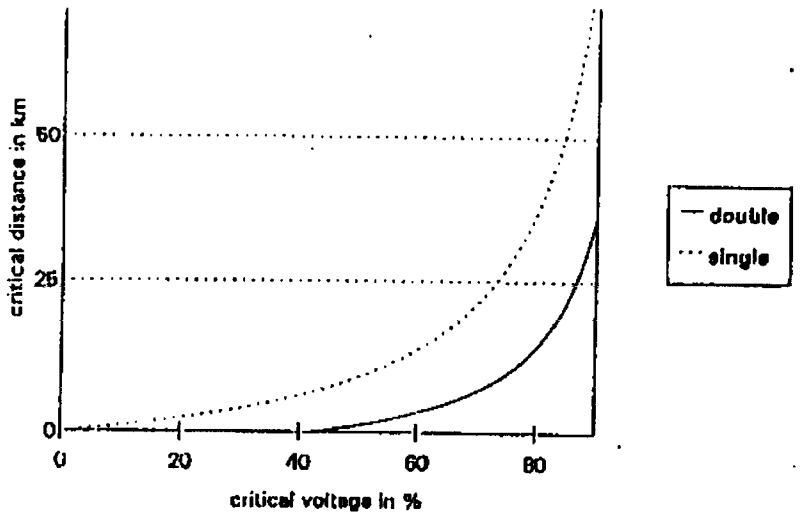
د – ٦ تغذیه همزمان از دو پست

تغذیه شینه کارخانه از دو پست مختلف ، شدت فلش ولتاژ را کمتر خواهد نمود. مداری مشابه شکل ۱۰ می تواند مبنای محاسبات قرار گیرد. در این حلات ژنراتور محلی به عنوان یک پست دیگر در نظر گرفته می شود.

شکل ۱۱ فاصله بحرانی را برای یک PCC ۲۰ کیلوولت نشان می دهد. شینه بار همچنین از یک شینه ۲۰ کیلوولت دیگر نیز که مشابه شینه اولی ولی مستقل از آن است تغذیه می گردد.

منحنی بالایی فاصله بحرانی را در حالت تغذیه از یک پست و منحنی پایینی همین فاصله را در حالت تغذیه از دو پست نشان می دهد. همان طور که مشاهده می شود در حالت تغذیه از دو پست فاصله بحرانی به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. البته در این حالت مسیر دوم تغذیه نیز می تواند خود موجب فلش های جدیدی گردد ، ولی به هر حال محاسبات بسیار دقیق نشان می دهد که یک تغذیه اضافی به بهبود وضعیت شبکه کمک نموده مگر آنکه این تغذیه جدید ضعیف تر از تغذیه اصلی باشد و یا شامل خطوطی باشد که نرخ وقوع خطا در آن ها بالا باشد.

در مطالب بالا فرض شد که دو پست ۲۰ کیلوولت به طور کامل مستقل هستند ولی این فرض در عمل به ندرت پیش می آید و فاصله بحرانی در واقعیت بزگر تر خواهد بود. در حقیقت این دو پست در یک سطح ولتاژ مشخص و بالاتر مجدداً به یکدیگر متصل می شوند و اتصالی های رخ داده در این سطح ولتاژ بالاتر از آن موجب وقوع فلش در هر دو پست می گردد. به هر حال قبل از تصمیم به تغذیه پست از دو سو باید محل و منشاء اصلی تولید اکثر فلش های مخرب را پیدا نمود.



شکل ۱۱ – فاصله بحرانی با (منحنی پایینی) و بدون (منحنی بالایی)
تغذیه از یک پست دیگر

د – ۷ تاثیر نوع اتصال ترانسفورماتور

خطای تک فاز به زمین (SLGF) معمولی ترین علت ایجاد فلش ولتاژ در محل یک مشترک است. ولتاژ فاز اتصالی شده در نقطه اتصالی به سمت صفر می رود. ولتاژ در پست تغذیه و دیگر فیدرهای

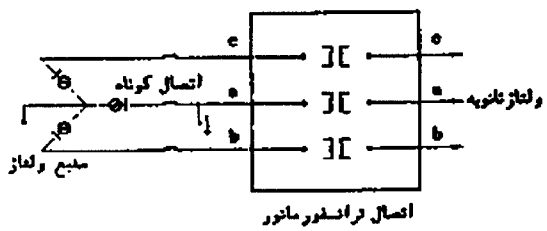
موازی ، بسته به فاصله نقطه تا محل خطا تغییر می کند. در شبکه های انتقال ولتاژ فاز اتصالی ، در نقطه ای دور از آن وابسته به امپدانس کلی شبکه خواهد بود.

مقدار ولتاژ در شینه مشترک مهمترین عامل در عملکرد مناسب تجهیزات است. این ولتاژ بستگی به نوع اتصال ترانسفورماتور بین شبکه اتصالی شده و شینه پست تغذیه خواهد داشت. ٠ رجوع شود به شکل ۱۲ ۹ . نتایج در جدول ۲ برای انواع اتصال ترانسفورماتور آمده است.

ممکن است این تصور پیش آید که اتصالی تک فاز به زمین ایجاد شده روی اولیه ترانسفورماتوری با اتصال ستاره زمین شده ـ مثلث می تواند ولتاژ یکی از سیم پیچ های ثانویه را صفر نماید. در حالی که جریان خطای گردان در سیم پیچ های مثلث روی هر سیم پیچ ، ولتاژی را تولید می کند. دامنه پایین ترین ولتاژ در ثانویه بستگی به رابطه زیر دارد :

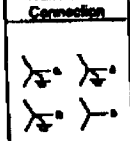
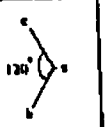
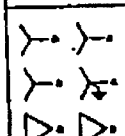
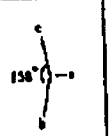
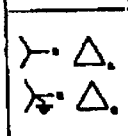
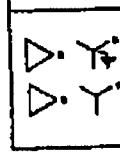
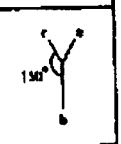
$$A = \frac{x_t}{x_t + x_s} \qquad (11)$$

که در آن X_T راکتانس اتصال کوتاه ترانسفورماتور و X_S راکتانس معادل منبع می باشد. برای شبکه های توزیع صنعتی نسبت a معمولاً خیلی نزدیک به یک است .



شکل ۱۲ – اتصالی تک فاز به زمین در نزدیکی پست (شکل شماره ۲۲)

جدول ۲- ولتاژهای ثانویه ترانسفورماتور در اثر اتصلی تک فاز به زمین روی اولیه

Transformer Connection	Phase to Phase V_{ab} V_{bc} V_{ca}	Phase to Neutral V_{an} V_{bn} V_{cn}	Phasor Diagram
	0.58 1.00 0.58	0.00 1.00 1.00	
	0.58 1.00 0.58	0.33 0.88 0.88	
	0.33 0.88 0.88	— — —	
	0.88 0.88 0.33	0.58 1.00 0.58	

همان طور که مشاهده می شود نحوه اتصال ترانسفورماتورها ، اندازه فلش های نامتعادل را تغییر مـی دهد. مثلاً یک فلش ولتاژ فاز به زمین هنگامی که از یک ترانسفورماتور با اتصال مثلث ـ ستاره عبـور می کند تبدیل به فلش ولتاژ فاز ـ فاز می شود.

مطالب فوق اهمیت نوع اتصال ترانسفورماتورها در محاسبات را نشان می دهد. همچنین ایـــن مقولـه شانـــسی کوچک جهت کنترل اثر فلش ولتاژ را پیشنهاد می دهد. اگر بدانیم که یـک تجـهیز تنـها بـه فلش های ولتاژ فاز ـ فاز حساس است ، استفاده از یک نوع اتصال مشخص در ترانسفورماتور ممکن است به حل مشکل کمک کند.

د - ۸ تاثیر ولتاژ قبل از اتصالی

تاکنون در کلیه محاسبات مربوط به دامنه فلش ولتاژ فرض می شد که ولتاژ قبل از شروع فلش ، برابر ولتاژ نامی بوده است. به هر حال محاسبات ، دامنه فلش ها را بر حسب درصدی از ولتاژ قبل از وقوع

فلش ارایه می دهند. بنا براین اگر ولتاژ قبل از وقوع فلش بالاتر یا کمتر از ولتاژ نامی باشد ، باید تصمیماتی گرفته شود.

برای مثال فرض کنید که بر اثر محاسبات پیش بینی شده است که یک سری تجهیزات حساس در فلش های ۸۰ درصدی از مدار خارج می شوند. یک فلش ولتاژ محاسبه شده ۸۲ درصدی با ولتاژ قبل از وقوع فلش ۹۵ درصدی ، در حقیقت یک فلش ولتاژ ۷۸٪ ایجاد می کند. در این حالت تجهیز ممکن است از مدار خارج شود گرچه پیش بینی هایی که ولتاژ قبل از وقوع فلش را ۱۰۰٪ فرض کرده بودند این مطلب را نشان نخواهند داد.

عملکرد در زیر ولتاژ نامی قبل از وقوع فلش حساسیت ظاهری را افزایش داده و احتمال خروج از مدار در اثر فلش را بالا می برد. از طرف دیگر عملکرد در بالای ولتاژ نامی حساسیت ظاهری را کاهش داده و احتمال خروج از مدار را کمتر می کند.

پیوست هـ

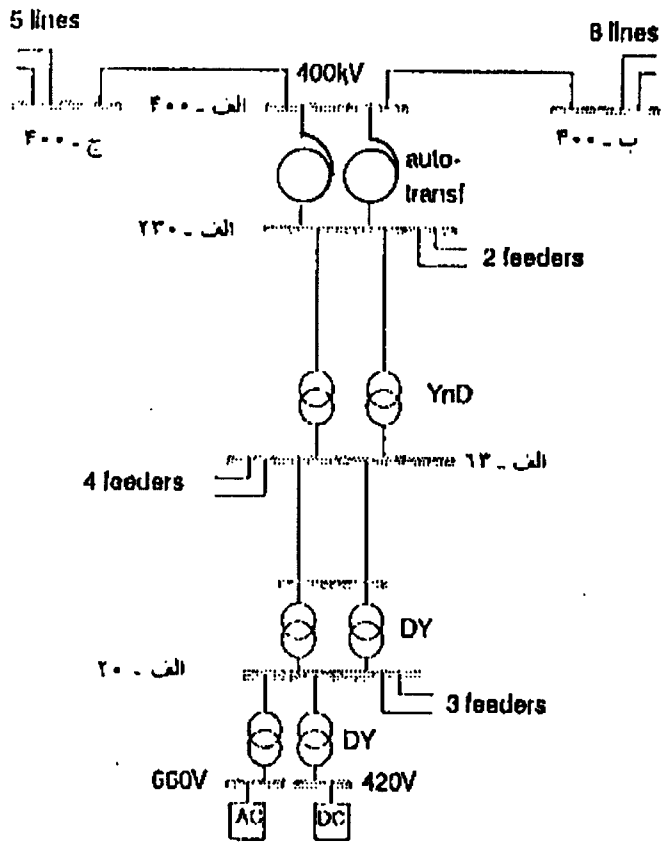
مثالی در رابطه با ارزیابی دامنه فلش های ممکن که در یک مشترک بزرگ صنعتی نمونه

هـ - ۱ معرفی شبکه

به منظور بررسی فلش ولتاژ و به عنوان یک مثال ، یک مشترک صنعتی نمونه در نظر گرفته می شود که از یک پست ۲۰ کیلوولت تغذیه می شود. این کارخانه شامل سخ خط تولید بوده که دو خط تولید قدیمی آن توسط یک محرکه dc با قابلیت تنظیم سرعت و خط جدیدتر به وسیله یک محرکه ac با قابلیت سرعت به حرکت در می آید. در سیستم توزیع کارخانه ولتاژ محرکه های ac و dc به ترتیب تبدیل به ٦٦٠ و ٤٢٠ ولت می باشند.

این مشترک صنعتی از کیفیت ضعیف برق شکایت دارد. فلش های ولتاژ ناشی از اتصال کوتاه در شبکه سبب خروج خطوط تولید از مدار می گردند. به هر حال مشخص نیست که کدام فلش مورد توجه بوده و کدام تجهیز است که سبب خروج خط تولید از مدار می گردد. البته اولین تجهیزی را که می توان به عنوان عامل به آن نگاه کرد محرکه های با قابلیت تنظیم سرعت می باشند اما سازندگان این دستگاه آن را انکار می کنند. برای حل مشکل یک مونیتور فلش ولتاژ در شینه ۲۰ کیلوولت نصب می شود. علاوه بر این ، مطالعاتی نیز برای ارزیابی دامنه و طول دوره زمانی فلش در شینه بار (٤٢٠ و ٦٦٠ ولت) انجام می گیرد.

شمای کلی شبکه در شکل ۱ آمده است . کارخانه صنعتی از طریق پست ۲۰ کیلوولت یعنی الف –۲۰ تغذیه می شود. این پست از طریق دو ترانسفورماتور ٦٣/٢٠ کیلوولت و دو خط هوایی ٦٣ کیلوولت تغذیه می شود. اتصالی روی این فیدرها موجب وقوع فلش ولتاژ در شینه بار می شود.



شکل ۱- آرایش شبکه کارخانه صنعتی

پست الف ـ ٦٣ به طریق مشابه تغذیه می گردد. پست ۲۳۰ کیلوولت یعنی الف -۲۳۰ از طریق دو اتوترانسفورماتور ٤٠٠/۲۳۰ تغذیه می شود ونهایتا" پست الف - ٤٠٠ توسط دو خط هوایی از پست های ج - ٤٠٠ و ب - ٤٠٠ تغذیه می گردد.

برای تخمین دامنه فلش های به وقوع پیوسته در اثر اتصال کوتاه در سطوح ولتاژی مختلف از روش فاصله بحرانی استفاده خواهد شد. همان طور که قبلا" بیان شد روش فاصله بحرانی از امپدانس های شبکه در سطحوح ولتاژی مختلف به عنوان ورودی استفاده می کند. مقادیر فوق در جدول ۱ نشان داده شده است .

جدول ۱- امپدانس های شبکه نمونه

نام پست	امپدانس تولی صفر (٪)	امپدانس توالی مثبت و منفی (٪)
الف – ۲۰	۷۸۷ + J ۲۲۰	٤/٩٤ + J ٦٥/٩
الف ـ ٦٣	۲٥۱	۱/۲۳ + J ۱۸/۳
الف ـ ۲۳۰	۰/۰٤۷ + J ۲/۷٥	۰/۰۹ + J ۲/۸٦
الف ـ ٤۰۰	۰/۰۹۲ + J ۱/۲۲٦	۰/۰٥ + J ۰/۷٤۱

با استفاده از روش فاصله بحرانی می توان میزان فلش ولتاژ را در نقطه اتصال مشترک (PCC) به دست آورد. برای اتصالی های سه فاز فلش ولتاژ در PCC برابر با فلش ولتاژ در شینه بار است. همچنان که در بخش د ـ ۷ توضیح داده شد در اتصالی های تک فاز به زمین و فاز به فاز نوع اتصال سیم پیچ های ترانسفورماتور بین PCC و بار باید وارد محاسبات شود. جدول ۲ اتصال سیم پیچ ترانسفورماتورها و نحوه زمین کردن شبکه های مختلف را نشان می دهد.

جدول ۲- اتصال سیم پیچ ترانسفورماتورها و نحوه اتصال زمین آن ها در شبکه نمونه

سطح ولتاژ	اتصال سیم پیچ ترانسفورماتور	نحوه زمین کردن نوترال در سمت فشار ضعیف
٤۰۰ کیلوولت		مستقیماً زمین شده
٤۰۰/۲۳۰ KV	اتو ترانسفورماتور YY	مستقیماً زمین شده
۲۳۰/٦۳ KV	YD	با مقاومت زمین شده از طریق یک ترانسفورماتور زیگزاگ
٦۳/۲۰ KV	DY	با مقاومت زمین شده
۲۰ KV /٦٦۰V ۲۰ KV /٦٦۰ V	DY	مستقیماً زمین شده

PCC در واقع نقطه ای است که مسیر ازمنبع به بار و مسیر از منبع به نقطه اتصالی را جدا می سازد. در روش فاصله بحرانی از جریان بار صرف نظر می گردد. بنا براین برای یک اتصالی سه فاز مقدار

ولتاژ در PCC برابر میزان ولتاژ در ترمینال تجهیز است. فرض کنید در حالتی که ولتاژ یک PCC مشخص از یک حد بحرانی (ولتاژ بحرانی) پایین تر بیاید ، تجهیز قرار گرفته در شینه بار دستور قطع دریافت کند.

در نتیجه این تجهیز برای کلیه اتصالی های موجود در فاصله بحرانی (فاصله از محل PCC) دستور قطع دریافت خواهد نمود. فاصله بحرانی می تواند به عنوان شعاع سطح درمعرض نیز در نظر گرفته شود.

برای اتصالی های سه فاز ، امپدانس توالی مثبت را باید در روابط شماره ۳ و ۵ از پیوست د به کار برد. در حالی که برای اتصالی های تک فاز به زمین مجموع سه امپدانس توالی صفر ، منفی و مثبت و در اتصالی های فاز ـ فاز مجموع امپدانس های توالی مثبت و منفی استفاده خواهند شد. چون اکثراً می توان امپدانس توالی منفی و مثبت را برابر یکدیگر فرض نمود ، فاصله بحرانی برای اتصالی های سه فاز و دوفاز تقریباً برابر است.

همان طور که قبلاً گفته شد از اتصالی های به وجود آمده در پشت ترانسفورماتور می توان صرف نظر نمود. بنا براین برای مثال برای پست الف الف ـ ۶۳ ، سطح در معرض تنها شامل فیدرهای ۶۳ کیلوولت خواهد بود.

فلش های ولتاژ مربوط به اتصالی های به وجود آمده در پشت ترانسفورماتور ۶۳/۲۰ کیلوولت قابل صرف نظر کردن است (باتوجه به وجود امپدانس ترانسفورماتور مقدار فلش در PCC ۶۳ کیلوولت به حدی کوچک است که قابل صرف نظر کردن می باشد).

برای اتصالی های سه فاز ، ولتاژ در روابط شماره ۳ تا ۵ از پیوست د ولتاژ هر کدام از سه فاز اتصالی شده است. این کمیت همان مقدار ولتاژ در شینه بار می باشد. برای اتصالی های تک فاز ، ولتاژ در معادلات ، ولتاژ فاز به زمین در فاز اتصالی شده در PCC است. جهت محاسبه ولتاژ در فازهای سالم امپدانس منبع باید مشخص باشد. همچنین مقدار ولتاژ در شینه بار برابر ولتاژ در PCC نخواهد بود. برای اتصالی های دو فاز ، ولتاژ در معادلات ، تفاوت ولتاژ بین دو فاز اتصالی شده در PCC است. مجدداً ولتاژها در شینه بار از این مقدار متفاوت خواهندبود.

هـ - ۲ اتصالی ها در سطوح مختلف ولتاژ

با استفاده از روش فاصله بحرانی ، فاصله بحرانی و سطح در معرض برای پست های الف -۲۰ ، الف - ٦۳ ، الف - ۲۳۰ ، الف -٤۰۰ محاسبه می شود. نتایج در جدول ۳ برای اتصالی های سه فاز و فاز ـ فاز آمده است . در پست های ۲۳۰ و ٤۰۰ کیلوولت شبکه نمونه که مستقیماً زمین شده هستند ، سطح (طول) در معرض برای اتصالی های تک فاز در حدود مقادیر داده شده است.

جدول ۳- طول در معرض برحسب کیلومتر ـ اتصالی های سه فاز

ولتاژ PCC بر حسب پریونیت	۲۰ کیلوولت	٦۳ کیلوولت	۲۳۰ کیلوولت	٤۰۰ کیلوولت
٪۹۰	۱۱/٤	۳۸/۳	۲۷/۱	٤٥۲
٪۸۰	۱۱/٤	۳۸/۳	۲۷/۱	۳۸۰
٪۷۰	۱۱/٤	۳۸/۳	۲۷/۱	۲۹۷
٪٦۰	۹/۳	۳٦/٤	۲۷/۱	۲۱۳
٪٥۰	٦/٦	۳۲/۸	۲۷/۱	۱٤٦
٪٤۰	٤/۹	۲۸	۲۷/۱	۱۰۲
٪۳۰	۲/۳	۲۲/۷	۲۷/۱	۷۰

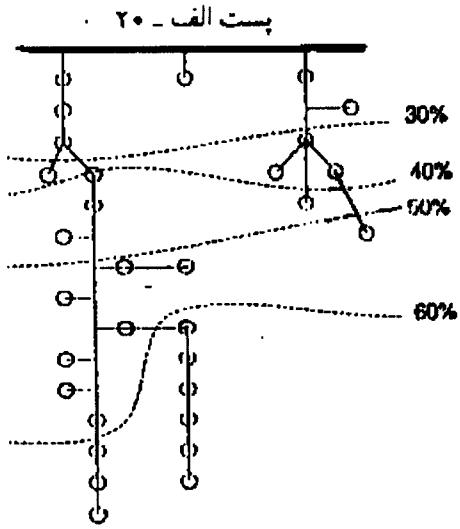
همان گونه که گفته شد برای اتصالی های سه فاز مقادیر داده شده در جدول ۳ دامنه فلش در شینه بار را هم نشان می دهند. اما برای اتصالی های تک فاز و دو فاز دامنه فلش در شینه بار ممکن است با اعداد فوق متفاوت باشد. در ادامه درخصوص این موضوع نیز بحث خواهد شد.

هـ ـ ۲-۱ اتصالی ها در سطح ولتاژ ۲۰ کیلوولت

شبکه ۲۰ کیلوولت ، یک شبکه کاملاً شعاعی است و بنا براین روش فاصله بحرانی می تواند بدون هیچ گونه تغییری ، مستقیماً به کار رود. کل طول فیدرهای متصل به پست الف -۲۰ ، ۱۱/٤ کیلومتر است. آخرین مشترک در فاصله ٤/۷ کیلومتری از این پست قرار گرفته است. وقوع یک اتصالی سه

فاز در دورترین نقطه سبب ایجاد فلش ولتاژ ۷۰ درصدی خواهد شد. بنا براین طول در معرض برابر ۱۱/٤ کیلومتر برای ولتاژهای بحرانی ۷۰ درصد و بالاتر است.

شبکه ۲۰ کیلوولت متصل به الف -۲۰ در شکل ۲ نشان داده شده است. همچنین در این شکل خطوط کانتور برای ولتاژهای بحرانی مختلف آمده است. از چنین نمودارهایی ، به راحتی می توان دریافت که کدام اتصالی ها می توانند تجهیزات را از مدار خارج کنند.



شکل ۲- شبکه ۲۰ کیلوولت همراه با کانتورهای نشان دهنده سطح درمعرض

تاثیر اتصالی های فاز ـ فاز روی بار ، بسته به نحوه اتصال بار دارد. فلش دیده شده توسط بار مثلث با بار با اتصال ستاره متفاوت است. جدول ٤ فلش های ایجاد شده روی یک بار مثلث شکل متصل به شینه های ٤۲۰ یا ٦٦۰ ولت را که در اثر اتصالی فاز ـ فاز در شبکه ۲۰ کیلوولت به وجود آمده است نشان می دهد. ستون اول این جدول اندازه اختلاف ولتاژ بین فازهای اتصالی شده را در PCC ۲۰ کیلوولت نمایش می دهد.

ستون های دیگر دامنه و جهش فاز ولتاژ ایجاد شده را در ترمینال تجهیزات ارایه می دهند.

جدول ٤- فلش ولتاژ نوع C

دامنه فلش (درصد)	دامنه ولتاژ در سه فاز (درصد)			جهش زاویه فاز در سه فاز (درجه)		
۰	۵۰	۵۰	۱۰۰	٦۰	-٦۰	۰
۳۰	۵٦	۵٦	۱۰۰	۳۳	-۳۳	۰
٤۰	٦۱	٦۱	۱۰۰	۲۵	-۲۵	۰
۵۰	٦٦	٦٦	۱۰۰	۱۹	-۱۹	۰
٦۰	۷۲	۷۲	۱۰۰	۱٤	-۱٤	۰
۷۰	۷۹	۷۹	۱۰۰	۱۰	-۱۰	۰
۸۰	۸۵	۸۵	۱۰۰	٦	-٦	۰
۹۰	۹۳	۹۳	۱۰۰	۳	-۳	۰

اگر بار به صورت مثلث بسته شده باشد ، ولتاژ خط برای ما جالب خواهد بود. اتصالی فاز ـ فاز باعث ایجاد فلش ولتاژی از نوع C در شینه ۲۰ کیلوولت می گردد. ترانسفورماتور بین شینه ۲۰ کیلوولت و شینه بار نوع فلش را به D تغییر می دهد. مجدداً بار مثلث شکل این فلش را به صورت نوع C خواهد دید. باتوجه به طول فیدرهای متصل به شینه ۲۰ کیلوولت ، دامنه فلش ولتاژ همواره زیر ۷۰ درصد خواهدبود.

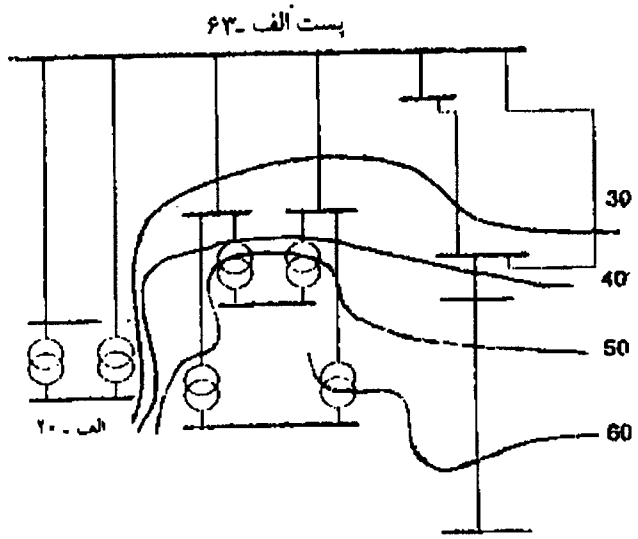
اتصالی های تک فاز تنها یک سری فلش های ضعیف در شینه بار ایجاد می کنند. دلیل این امر وجود مقاومت در سمیر نوترال ترانسفورماتورها می باشد. ولتاژهای فاز ـ نوترال در CC} یک فلش نوع B را نشان می دهند.

تفاوت آن با رابطه ۳ از پیوست د در این است که در این جا امپدانس اتصال کوتاه Z_f شامل مقاومت زمین نیز خواهد بود. برای شبکه ۲۰ کیلوولت ، اتصالی های تک فاز موجب ایجاد فلش از نوع B با دامنه بین ۹۰ تا ۹۲٪ (در شینه ۲۰ کیلوولت) می گردد. این ارقام فلش های بسیار ضعیفی را نشان می دهند. در همین حال جهش زاویه فاز ولتاژ مربوطه (که در حدود 120^0)

موجب عدم تعادل شدیدی می گردد. به عنوان مثال وقوع اتصالی تک فاز بـه زمیـن در ٥ کیلومـتری شینه الف -۲۰ سبب می شود که ولتاژهایی با دامنه ۹۲ ، ۱۰٤ ، ۹٤ درصد در ترمینال تجهیزات ایجاد گردد.

هـ ـ ۲-۲ اتصالی ها در شبکه ٦۳ کیلوولت

همان طور که در شکل ۳ مشاهده می شود شبکه ٦۳ کیلوولت متصل به پست الف - ٦۳ شامل یـک حلقه است.



شکل ۳- شبکه ٦۳ کیلوولت با کانتورهای سطح در معرض

پیچیدگی مسئله در اثر فیـــدرهای موازی با پست الف - ۲۰ ، بیشترهم می شود . محاسـبات نشـان می دهند که کلیه اتصالی های روی این فیدرها موجب ایجاد فلش های ولتاژی با دامنـه کمـتر از ۳۰ درصد در پست ٦۳ کیلوولت می گردند. بنا براین فیدرهای فوق برای کلیه ولتاژهای بحرانی بالای ۳۰ درصد در تعیین طول در معرض مشارکت خواهند داشت. کانتورهای مربوط به سطح در معرض برای

شبکه ٦٣ کیلوولت در شلک ٣ آمده است. فلش های ایجاد شده در شینه بار مربوط به اتصالی های فاز ـ فاز در شبکه ٦٣ کیلوولت مشابه دامنه آن ها در اثر اتصالی های روی شینه ٢٠ کیلوولت بوده ، با این تفاوت که نوع فلش به جای C از نوع D می باشد. جدول ٥ دامنه ولتاژهای مربوطه وجهش زاویه فاز آن ها را نشان می دهد. توضیحات جدول ، مشابه توضیحات جدول ٤ خواهد بود. شبیه شبکه ٢٠ کیلوولت ، شبکه ٦٣ کیلوولت نیز از طریق مقاومت زمین شده است. بنا براین اتصالی های تک فاز تنها سبب ایجاد فلش های ضعیف شده اما درعوض عدم تعادل شدیدی پدید می آورند.

جدول ٥- فلش ولتاژ از نوع D

دامنه فلش (درصد)	دامنه ولتاژ در سه فاز (درصد)			جهش زاویه فاز در سه فاز (درجه)		
٠	٨٧	٨٧	٠	٣٠	-٣٠	٠
٣٠	٨٨	٨٨	٣٠	٢٠	-٢٠	٠
٤٠	٨٩	٨٩	٤٠	١٧	-١٧	٠
٥٠	٩٠	٩٠	٥٠	١٤	-١٤	٠
٦٠	٩٢	٩٢	٦٠	١١	-١١	٠
٧٠	٩٣	٩٣	٧٠	٨	-٨	٠
٨٠	٩٥	٩٥	٨٠	٥	-٥	٠
٩٠	٩٨	٩٨	٩٠	٣	-٣	٠

هـ ـ ٢-٣ اتصالی در شبکه ٢٣٠ کیلوولت

طول هر کدام از فیدهای متصل به پست الف - ٢٠ دو کیلومتر است. بنا براین سهم آن ها در یافتن سطح در معرض بسیار کم خواهد بود. فیدرهای موازی بین پست های الف - ٢٣٠ ، الف - ٦٣ مجددا" موجب پیچیدگی مسئله می گردند. اگر فرض کنیم که امپدانس ترانسفورماتور بسیار بزرگ تر از امپدانس فیدر است ، محاسبات نشان می دهد که برای یک اتصالی سه فاز فلش در شینه بار بین صفر تا ٢٧ درصد تغییر می کند. برای اتصالی های فاز به فاز مشابه این اعداد را خواهیم داشت. برای

اتصالی های تک فاز فلش بین صفر تا ۳۳ درصد خواهد بود. محاسبات بدون تقریب نشان می دهد که برای ولتاژهای بحانی بالای ۳۰ درصد ، فیدرهای موازی بین پست ، ۲۳۰ و ۶۳ کیلوولت در به دست آوردن طول در معرض سهم خواهند داشت.

تاثیر اتصالی فاز ـ فاز روی ولتاژ شینه بار مشابه تاثیر اتصالی ها در شینه ۲۰ کیلوولت خواهد بد ، یعنی فلشی از نوع C برای بارهای با اتصال مثلث فلش ابتدا در شینه ۲۳۰ کیلوولت از نوع D خواهد بودم. سپس در شینه ۶۳ کیلوولت به نوع C تبدیل شده ودر شینه ۲۰ کیلوولت به نوع D و نهایتا" در شینه بار به صورت نوع C در خواهد آمد.

در اثر اتصالی تک فاز ، در بدترین حالت ولتاژهای بار مطابق جدول ٦ خواهد بود.

جدول ٦- بدترین حالت اتصالی تک فاز در شبکه ۲۳۰ کیلوولت

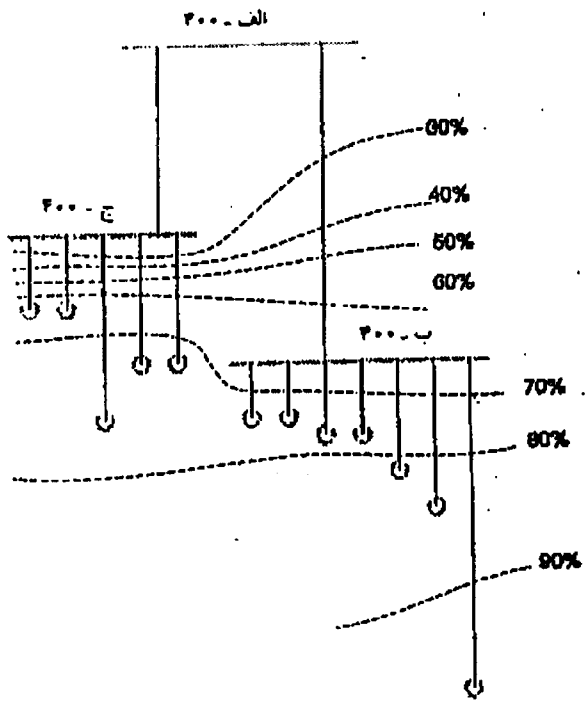
دامنه (درصد) سه فاز	۲۹	۸۸	۸۸
جهش زاویه (درجه) سه فاز	۰	۲۰	-۲۰

که یک فلش نوع D با دامنه ۲۹٪ را نشان می دهد.

هـ ـ ۲-۳ اتصالی ها در شبکه ٤۰۰ کیلوولت

هنگام محاسبه فواصل بحرانی ، دو خط تغذیه کننده پست الف - ٤۰۰ به صورت متفاوت عمل خواهند نمود. برای اتصالی ایجاد شده در فیدر منتهی به پست ب - ٤۰۰ ، امپدانس شبکه در الف - ٤۰۰ مشابه همین امپدانس برای اتصالی به وقوع پیوسته در فیدر منتهی به پست ج - ٤۰۰ نخواهد بود. طول فیدر رابط بین ب - ٤۰۰ و الف - ٤۰۰ برابر ۹۷/۸ کیلومتر بوده که متناظر با ولتاژی بحرانی در حدود ٦۰ درصد خواهد بود. بنا براین برای ولتاژهای بحرانی بالاتر از ٦۰ درصد ، اتصالی های پشت ب - ٤۰۰ در تعداد خروج از مدار بارها مشارکت خواهند نمود. در همین حال اتصالی های پشت ج - ٤۰۰ در ولتاژهای بحرانی بالای ۳۰ درصد مشارکت خواهند داشت.

شکل ٤ شبکه ٤٠٠ کیلوولت را هنگامی که از دید ج - ٤٠٠ بـه آن نگـاه مـی شودنشـان مـی دهـد. همانند شکل های ۲ و۳ خطوط کانتور برای اتصالی سه فاز آمده است . برای اتصالی هـای تـک فـاز خطوط کانتور کمی متفاوت خواهند بود.



شکل ٤- شبکه ٤٠٠ کیلوولت با کانتورهای سطح در معرض

فرض شبکه شعاعی مشخصا" در رابطه با شبکه ٤٠٠ کیلوولت حـت نخواهـد داشـت. یـک ارزیـابی پیچیده و دقیق احتیاج به محاسبه دامنه های فلش بـرای کلیـه اتصـالی هـا در شـبکه ٤٠٠ کیلوولـت خواهد داشت.

خطاهای زیادی در اثر استفاده از این روش ساده ایجاد می شود. برخی از آن ها عبارتند از :

ـ اتصـــالی هایی که در فاصله دورتر از دو خط متصل به الف - ٤٠٠ رخ می دهنـــد در نظـر گرفتـه نشده اند برای ولتاژهای بحرانی بالتر ممکن است در این حالت بعضی از اتصالی ها حذف شوند.

ـ خطوط پست ج - ٤٠٠ ممکن است در جایی از شبکه ، به خطوط ب - ٤٠٠ اتصال پیدا کننـد. بنـا برای وقوع اتصالی در پشت ج - ٤٠٠ یا ب - ٤٠٠ ممکن اسـت بـاعث فلشـی شـدید تـر از مقـدار مفروض گردد.

ـ خطوطی که از ج - ٤٠٠ و ب - ٤٠٠ انشعاب شده اند ، ممکن است در بعضی حالات تشکیل یـک حلقه بسته دهند. که می تواند دامنه فلش ولتاژ محاسبه شده را تغییر دهد.

ـ اتصالی های نزدیک به پست های نیروگاهی بزرگ می توانـد ولتـاژ را در قسـمت هـای زیـادی از شبکه به طور قابل ملاحظه ای پایین بیاورد.

تاثیر یک اتصالی فاز ـ فاز در شبکه ٤٠٠ کیلولت روی شینه بار مشابه همان اتصالی در شـبکه ٢٠ یـا ٢٣٠ کیلولت است. اثر اتصالی تک فاز به زمین در شینه ٤٠٠ کیلوولت در جدول ٧ آمده اسـت. ایـن فلش ها از نوع D می باشند. دامنه آن ها بالاتر از مقدار ولتاژ در PCC است.

همان طور که ملاحظه می شود هر سه نوع اتصالی در شبکه ٤٠٠ کیلوولت ٧ فلش هـای شـدیدی را در شینه بار پدید می آورند.

جدول ٧- فلش ولتاژ در شینه بار در اثر اتصالی تک فاز به زمین در شبکه ٤٠٠ کیلوولت

ولتاژ در PCC (درصد)	دامنه ولتاژ سه فاز در شینه بار (درصد)			پرش زاویه فاز سه فاز در شینه یا (درجه)		
٠	٨٨	٨٨	٣٣	١٩	-١٩	٠
٣٠	٩١	٩١	٥٣	١٣	-١٣	٠
٤٠	٩٢	٩٢	٦٠	١١	-١١	٠
٥٠	٩٣	٩٣	٦٧	٩	-٩	٠
٦٠	٩٤	٩٤	٧٣	٧	-٧	٠
٧٠	٩٥	٩٥	٨٠	٥	-٥	٠
٨٠	٩٧	٩٧	٨٧	٣	-٣	٠
٩٠	٩٨	٩٨	٩٣	٢	-٢	٠
١٠٠	١٠٠	١٠٠	١٠٠	٠	٠	٠

هـ - ۳ اتصالی های پشت ترانسفورماتور

قبلاً بیان شد که از اتصالی های پشت ترانسفورماتور می توان صرف نظر نمود. برای اتصالی پشت ترانسفورماتور ، ولتاژ PCC به راحتی قابل محاسبه است. این محاسبات مقادیر زیر را برای اتصالی های به وقوع پیوسته در سطوح ولتاژ مختلف ارایه می دهد.

٤٤٠ ولت ۹۲٪

٦٦٠ ولت ۸۰٪

٦۳ کیلوولت ۸۵٪

۲۳۰ کیلوولت ۹۰٪ <

کلیه اعداد فوق فلش های ضعیفی را ارایه می دهند اما برای آن که تصویری کلی از فلش ها به دست آوریم ، لازم خواهد بود که اتصالی های پشت ترانسفورماتورهای ٦۳/۲۰ کیلوولت و ۲۳۰/٦۳ کیلوولت ارزیابی گردد.

امپدانس ترانسفورماتور (یا دو ترانسفورماتور موازی) می تواند به عنوان یک " طول خط الکتریکی " در نظر گرفته شود که در این مثال برای ترانسفورماتور ۲۳۰/٦۳ کیلوولت برابر ۵۰ کیلومتر و برای ترانسفورماتور ٦۳/۲۰ کیلوولت برابر ۱۲ کیلومتر خواهد بود (امپدانس ترانسفورماتور ٦۳/۲۰ کیلوولت برابر امپدانس ۱۲ کیلومتر از خط ٦۳ کیلوولت است).

با در نظر گرفتن این فرض ، می توان مانند حالت های قبل میزان اشتراک طول در معرض ترانسفورماتور را محاسبه نمود که نتیجه آن برای ولتاژ بحرانی ۹۰٪ ، ۵/۷ کیلومتر برای ۲۰ کیلوولت و ۱۱/۵ کیلومتر برای ٦۳ کیلوولت خواهد بود. برای ولتاژ بحرانی ۸۰٪ یک اشتراک ۱/۱ کیلومتری از ولتاژ ۲۰ کیلوولت وجود دارد.

هـ - ٤ مروز کلی نتایج

نتایج کلی به دست آمده از مثال ارایه شده در جدول ۸ آمده است. تعداد فلش ها در سال نیز از روی جدول ۹ و محاسبات بیان شده به دست آمده است .

جدول ۸ــنتایج کلی فلش در ترمینال تجهیزات

سطح ولتاژ (کیلوولت)	اتصالی سه فاز	اتصالی فاز به فاز	اتصالی تک فاز به زمین	طول در معرض (کیلومتر)	تعداد فلش در سال			طول دوره زمانی نمونه
۲۰	زیر ۷۰٪ درسه فاز	۵۰ الی ۸۰٪ دامنه در دو فاز با ۱۰ الی ۶۰ درجه جهش در زاویه فاز	فلش ضعیف با عدم تعادل زیاد	۱۱	۰/۲	۰/۳	۱/٤	۱ ثانیه
٦۳	زیر ۵۰٪ در سه فاز ،	زیر ۵۰٪ در یک فاز ، حدود ۹۰٪ با ۱۵ الی ۳۰ درجه جهش در زاویه فاز در دو فاز دیگر	فلش ضعیف با عدم تعادل زیاد	۳۸	۰/۵	۰/٦	½	۲۰۰ میلی ثانیه
۲۳۰	زیر ۳۰٪ در سه فاز	حدود ۵۰٪ در دو فاز با ۳۰ الی ۶۰ درجه جهش در زاویه فاز	فلش ضعیف در دو فاز با ٦۰ درصد در سومین فاز	۲۷	۰/۲	۰/۲	۰/۵	۱۰۰ میلی ثانیه
٤۰۰	زیر ۷۰٪ در سه فاز	۵۰ الی ۸۰ درصد در دو فاز یا ۱۰ الی ۶۰ درجه جهش زاویه فاز	فلش ضعیف در دو فاز و ۳۰ الی ۹۰ درصد در فاز سوم	۳۰۰	۱/۸	۲/۷	۵/۷	۱۰۰ میلی ثانیه
	زیر ۹۰٪ در سه فاز	۵۰ الی ۹۰ درصد در دوفاز یا ۳۰ الی ٦۰ درجه جهش زاویه فاز	فلش ضعیف در دو فاز و ۳۰ الی ۹۰ درصد فاز سوم	۱۲۰۰	۷/۲	۹/٦	۲۰	۱۰۰ میلی ثانیه

اتصالی های سه فاز در هر سطح ولتاژی همواره موجب یک فلش شدید مـی شـوند. بـه دلیـل طـول دوره زمانی بلند ، اتصالی های ۲۰ کیلوولت شدیدترین نوع فلش برای تجهیزات خواهـد بـود. بـرای تجهیزات نه چندان حساس (ولتاژ بحرانی زیر ۷۰ درصد) اتصالی های سه فـاز در شـبکه ۲۰ و ٦۳ کیلوولت سبب بیشترین خروج از مدار تجهیزات می گردند. برای بارهای حساس ۰ سطح ولتاژ بالای ۷۰ درصد) اتصالی های شبکه ٤۰۰ کیلوولت موجب می شوند که دستور قطع برای تجهیزات صـادر گردد. اتصالی های تک فاز تنها در شبکه ٤۰۰ کیلوولت قابل توجه است. با دانستن این نکتـه کـه $\frac{3}{4}$ اتصالی ها از نوع اتصالی تک فاز می باشد ، واضح است که اتصـالی هـای تـک فـاز در شـبکه ٤۰۰ کیلوولت بیشترین سهم را در خروج از مدار تجهیزات خواهند داشت.

جدول ۹- نرخ خرابی در ۱۰۰ کیلومتر درسال

سطح ولتاژ	اتصالی سه فاز	اتصالی فار ـ فاز	اتصالی تک فاز
۲۰	۱/۹	۲/۳	۱۲/۹
٦۳	۱/۲	۱/۷	٥/٤
۲۳۰	۰/۷	۰/۹	۱/۹
٤۰۰	۰/٦	۰/۸	۱/۷

اگر فلش ها را به انواع فلش های نشان داده شده در شکل ٥ از پیوست ب تقسیم بندی کنیم ۷ تعداد فلش های به وقوع پیوسته در ترمینال تجهیز را می توان به دست آورد که نتایج آن جـدول ۱۰ آمـده است.

جدول ۱۰- تعداد فلش ها در ترمینال تجهیزات

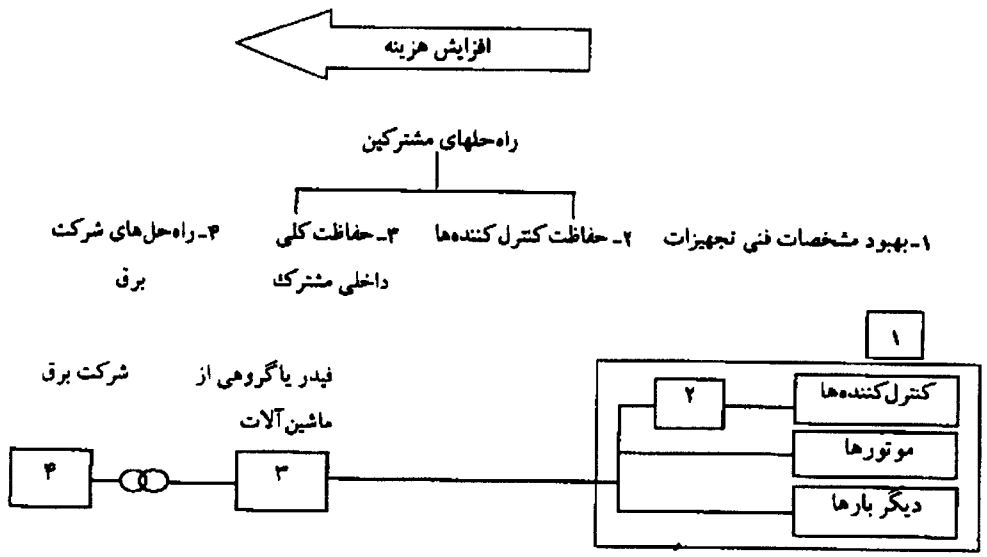
دامنه فلش (درصد)	تعداد فلش ها به وقوع پیوسته در سال		
	نوع A	نوع C	نوع D
۳۰	۰/۹۲	۰/۸۵	۰/۳۸
٤۰	۱/۲۳	۱/۱۷	۰/۷۹
۵۰	۱/۵۹	۱/۵٦	۱/۵٦
٦۰	۲/۰۹	۲/۱۵	۲/٤۸
۷۰	۲/۸۵	۳/۲۲	۳/٦٤
۸۰	٤/۳۹	۵/۲۰	۵/۹
۹۰	۸/۹۲	۱۱/۲	۱۲/۹

پیوست و

اصول اساسی حفاظت

(اطلاعاتی)

توسط شرکت های برق ، مشترکین و سازندگان تجهیزات اعمال فراوانی را می تـوان جـهت کـاهش تعداد و شدت فلش ولتاژ وکم نمودن حساسیت تجـهیزات نسـبت بـه آن انجـام داد. شـکل ۱ انـواع مختلف این روش ها و هزینه نسبی آن ها را نشان می دهد.



شکل ۱- روش های خلاصی از فلش ولتاژ

همان طور که در شکل ۱ مشاهده می شود ، معمولاً" ارایه راه حل در پایین ترین سطح و نزدیـک بـه بار کمترین هزینه را در بر خواهد داشت. هر چه قدر از راه حل های پیچیده تر استفاده شود، معمولاً"

هزینه بیشتری به بار خواهد آورد. ساده ترین راه حل این است که مشترک برای سازنده وسیله ، فلش ولتاژی را که این دستگاه می تواند تحمل کند مشخص کند. اگر در زمان خرید وسیله این نکته توسط مشترک بیان گردد ، بسیاری از سازندگان می توانند عملکرد تجهیزات را در هنگام فلش ولتاژ بهبود بخشند. در سطح بعدی ، امکان استفاده از " منابع تغذیه قطه نشدنی " (UPS) یا دیگر منابع اضطراری مطرح می گردد. این راه حل در مواقعی استفاده می شود که خود وسیله قادر به تحمل فلش یا قطعی ولتاژ می باشند ، اما کنترل کننده های آن ها به طور اتوماتیک آن ها را از مدار خارج می سازند.
در سطح سوم موجود در شکل ، می توان از منابع تغذیه پشتیبان با قابلیت تامین بار برای یک پریود مختصر استفاده نمود. سطح چهارم روش هایی را برای کاهش فلش و قطعی ولتاژ به شرکت های برق پیشنهاد می دهد. در ادامه راه حل های بیان شده در بالا توضیح بیشتری داده می شود.

و - ۱ مسایل مربوط به مشترکین

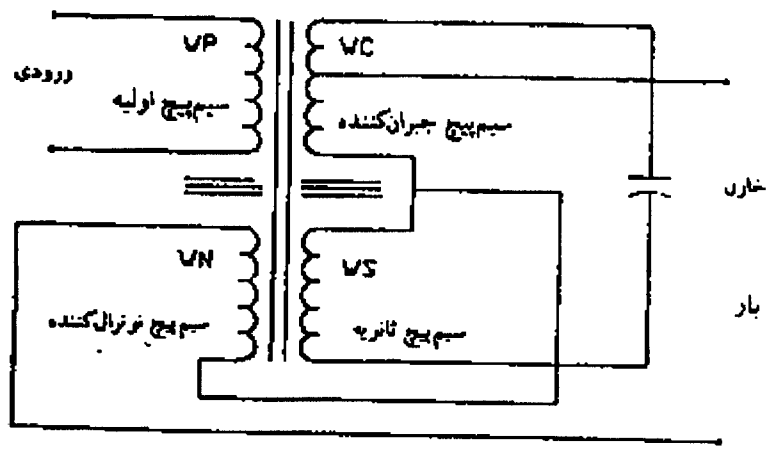
مشترکین برای رهایی کامل از فلش ولتاژ در هر شرایط ، احتایج به سیستمی دارند که در طی حدود نیم سیکل عکس العمل نشان داده و توانی نزدیک به توان نرمال را برای حدود چند ثانیه تامین نماید تا اینکه ولتاژ به طور کامل به حالت اولیه خود باز گردد. این عمل نیاز به یک منبع ذخیره کننده انرژی یا یک منبع دیگر انرژی دارد. وسایل فوق یا باید خیلی سریع عمل نمایند یا همواره در مدار باشند. به دلایل اقتصادی ، در یک مشترک صنعتی این نوع سیستم ها تنها بارهای کلیدی را پوشش می دهند. غالبا" این بارهای کلیدی شامل یک سری از کنترل کننده های الکترونیکی وتجهیزات کامپیوتری بوده که سیستم های UPS معمولی می توانند مسئله فوق را انجام دهند. به هر حال در روش های جدید ، تغذیه کل بارهای یک مشترک در زمان قطع مدنظر قرار می گیرد. این روش ها به تولید وسایل ذخیره کننده انرژی (مانند ذخیره کننده ابر رسانایی) و سوئیچ های قطع کننده سریع منجر شده اند. سوئیچ های سریع که احتمالا" در آینده ساخته خواهد شد بایستی بتوانند سریعا" و در طی چند میلی ثانیه سیستم را به یک فیدر دیگر انتقال دهند ، در حالی که وسایل ذخیره کننده ابر رسانایی بایستی قطعی های حداقل ۲ ثانیه ای را جبران کنند.
ترانسفورماتورهای فرورزونانسی ، دستگاههای UPS و ترکیب کننده های مغناطیسی ، تعدادی از وسایل برق اضطراری هستند که می توانند دستگاهها را از قطعی و فلش ولتاژ رهایی بخشند. دو نوع

اصلی UPS ها شامل UPS های همیشه در مدار و UPS های اضطراری می باشند. UPS های اضطراری می توانند برای قطعی های بلند مدت با طول زمانی تا ۱۵ دقیقه استفاده شوند. واحد موتور ـ ژنراتور نیز می تواند برای قطعی های بلند مدت به کار رود.

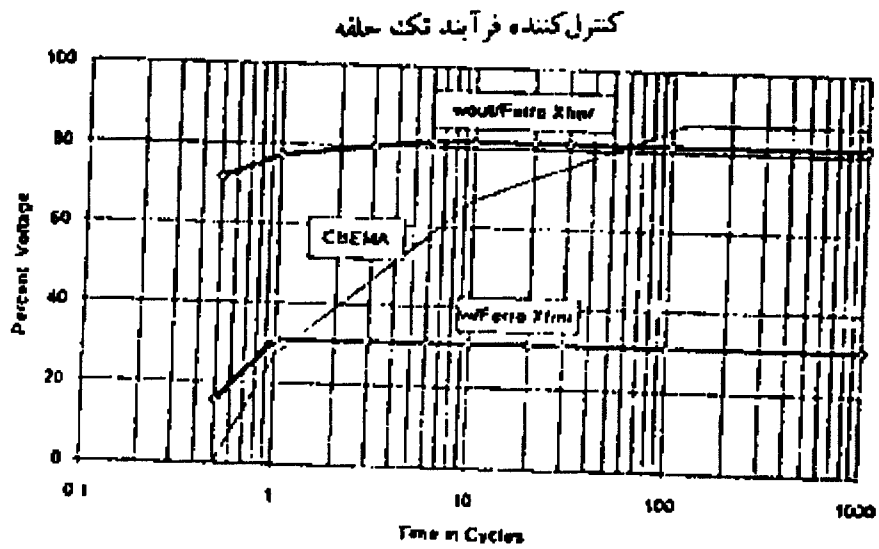
و ـ ۱-۱ ترانسفورماتورهای فرورزونانسی

ترانسفورماتورهای فرورزونانسی که ترانسفورماتورهای ولتاژ ثابت نیز نامیده می شوند می توانند با فلش های ولتاژ مختلف مقابله کنند. این ترانسفورماتورها به خصوص در بارهای ثابت با توان پایین کاربرد بیشتری دارند. ترانسفورماتور فرورزونانسی اساساً دارای نسبت تبدیل ۱:۱ بده و همواره در ناحیه اشباع بالای منحنی مغناطیسی خود تحریک می شود که بدین ترتیب در اثر تغییرات ولتاژ ورودی ، ولتاژ خروجی به طور قابل ملاحظه ای تحت تاثیر قرار نخواهد گرفت.

یک مدار فرورزنانسی نمونه در شکل ۲ نشان داده است. شکل ۳ جبران یک فلش ولتاژ به وقوع پیوسته در کنترل کننده ای که از طریق یک ترانسفورماتور فرورزونانسی ۱۲۰ ولت آمپری تغذیه می شود را نشان می دهد.



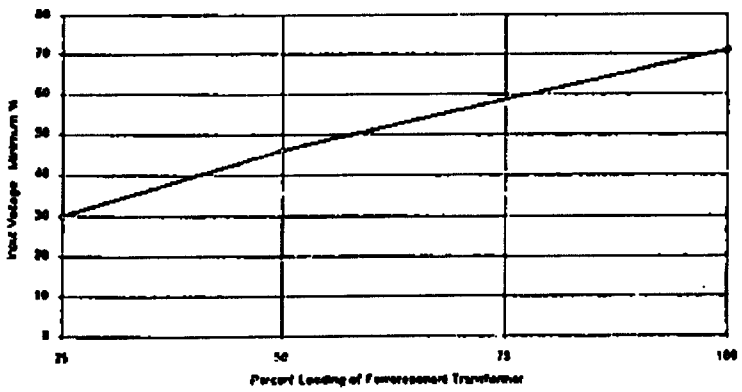
شکل ۲- ترانسفورماتور فرورزونانسی ولتاژ ثابت



شکل ۳- جبران فلش ولتاژ با استفاده از ترانسفورماتور فرورزونانسی

با استفاده از این ترانسفورماتور فرورزونانسی ۱۲۰ ولت آمپری ، کنترل کننده توانسته است در اثر فلش های ولتاژ تا ۳۰ درصد مقدار نامی به کار خود ادامه دهد ، درحالی که بدون استفاده از این وسیله این مقدار برابر ۸۲ درصد ولتاژ نامی خواهد بود. توجه کنید که چگونه قابلیت تداوم کار کنترل کننده در یک سطح مشخص ثابت است. دلیل این امر کوچک بودن توان مورد نیاز کنترل کننده است که تنها ۱۵ ولت آمپر می باشد. برای عملکرد مناسب ، توان نامی ترانسفورماتور فروزرونانسی باید حدود چهار برابر مقدار بار باشد.

شکل ٤ (به عنوان نمونه) فلش ولتاژ مجاز را بر حسب درصد بارگذاری روی ترانسفورماتور فرورزونانسی نشان می دهد.



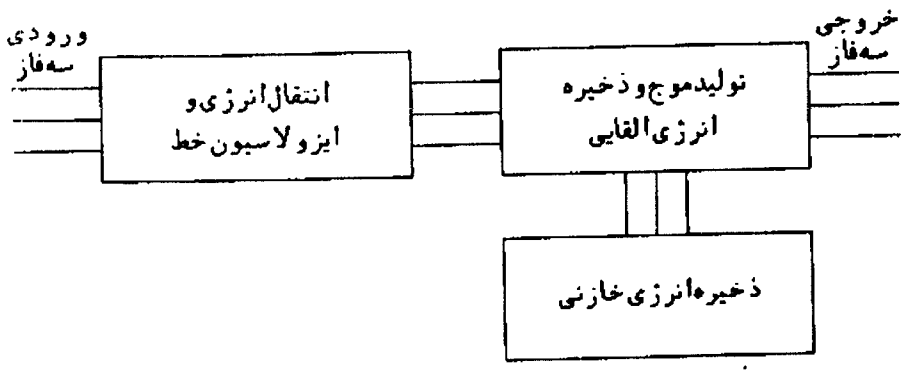
شکل ٤- فلش ولتاژ بر حسب درصد بارگذاری روی ترانسفورماتور فرورزونانسی

مثلاً در ۲۵ درصد بار گذاری ، فلش ولتاژ مجاز ۳۰٪ ولتاژ نامی است ، یعنی تا زمانی که ولتاژ ورودی حدود ۳۰٪ ولتاژ نامی است ، خروجی ترانسفورماتور حدود ۹۰ ٪ ولتاژ نامی است. همان طور که میزان بارگذاری افزایش می یابد قابلیت تداوم کار در حین فلش ولتاژ کاهش می یابد.

و ـ ۱-۲ ترکیب کننده های مغناطیسی

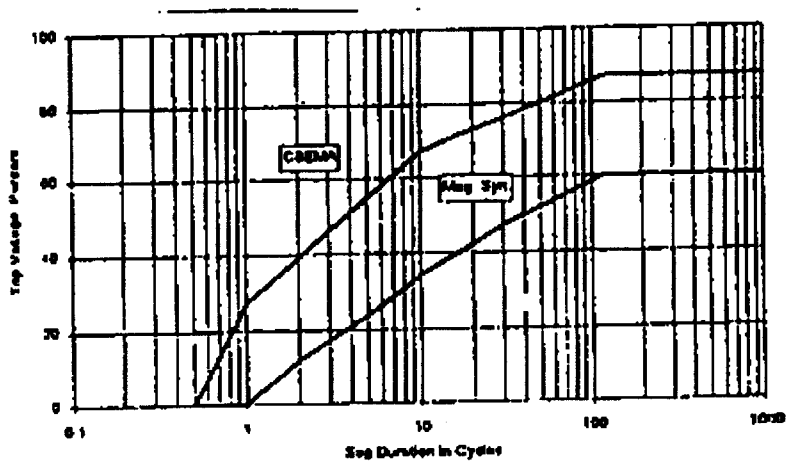
ترکیب کننده های مغناطیسی عموماً برای بارهای بزرگ به کار می روند. مقدار بار باید حدود چندین کیلوولت آمپر باشد تا با استفاده از این وسیله اقتصادی باشد. این تجهیز ، بیشتر برای کامپیوترها و دیگر تجهیزات الکترونیکی بزرگ که به تغییرات ولتاژ بسیار حساس می باشند به کار می رود.

ترکیب کننده مغناطیسی یک وسیله الکترومغناطیسی است که توان ورودی را دریافت نموده و شکل موج سه فاز متعادل وکاملی را علی رغم کیفیت توان ورودی ارایه می دهد. بلوک دیاگرام این تجهیز با جزئیات آن در شکل ٥ آمده است .



شکل ۵- بلوک دیاگرام ترکیب کننده مغناطیسی

بلوک انتقال انرژی و ایزولاسیون خط با استفاده از چوک های غیر خطی انجام می گیرد که مسایلی مانند نویز خط را حذف می کنند. شکل موج AC خروجی توسط ترکیب پالس های مجزای ولتاژ که از ترانسفورماتورهای به اشباع رفته گرفته شده اند ساخته می گردد. سپس انرژی به صورت جریان یا ولتاژ در ترانسفورماتورهای اشباع شده و خازن ها ذخیره می شود. این ذخیره انرژی ، شکل موج سینوسی کامل و بدون اعوجاج هارمونیکی تولید می کند. در نهایت توان سه فاز از طریق ترانسغورماتوری با اتصال زیگزاگ ارایه می شود. شکل ٦ قابلیت رهایی از فلش ولتاژ در یک سیستم را با استفاده از ترکیب کننده مغناطیسی و در مقایسه با منحنی CBEMA نشان می دهد.

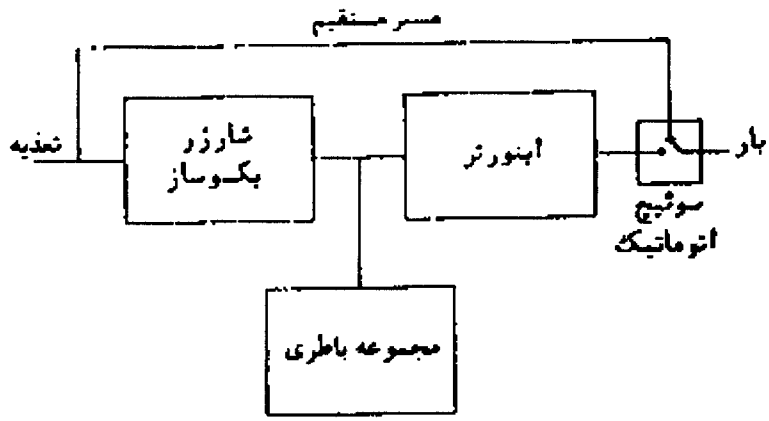


شکل ٦- قابلیت رهایی از فلش ولتاژ توسط ترکیب کننده مغناطیسی

و ـ ۱-۳ UPS همیشه در مدار

شکل ۷ ساختار یک UPS همیشه در مدار را نشان می دهد. در این روش بار همواره از UPS تغذیه می گردد. توان AC ورودی ، یکسو شده و به صورت توان DC ، مجموعه ای از باتری ها را شارژ می کند.

این توان DC سپس توسط اینورتر ، تبدیل به توان AC شده و بار را تغذیه می کند. اگر توان AC ورودی قطع شود اینورتر توسط باتری ها تغذیه شده و دستگاه کماکان بار را تامین می کند. UPS همیشه در مدار علاوه بر مقابله با پدیده فلش و قطعی ولتا، می تواند برای بارهای حساس ایزولاسیونی قوی در برابر اغتشاشاتی باشد که از طریق خط وارد دستگاه می شود. از معایب UPS همیشه در مدار ، هزینه وتلفات زیاد آن می باشد.



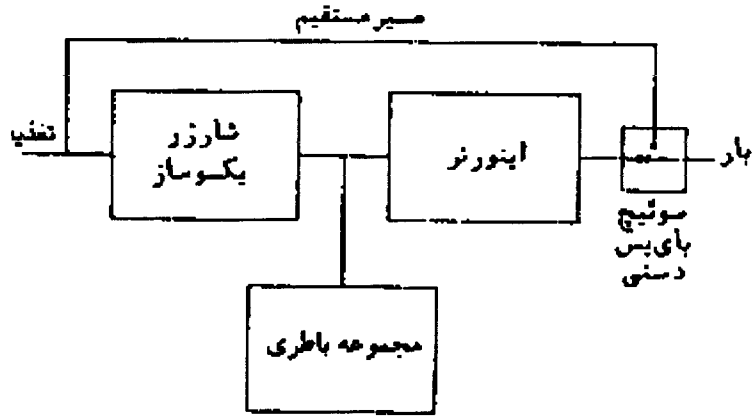
شکل ۷- UPS همیشه در مدار

و ـ ۱-٤ UPS اضطراری

در این سیستم بار توسط شبکه اصلی تغذیه می شود. در صورت تشخیص اغتشاش در سیستم ، با استفاده از یک سوئیچ ، بار به اینورتر تغذیه شده توسط باتری ها انتقال داده می شود. زمان انتقال از حالت نرمال به حالت اضطراری (استفاده از اینورتر) بسیار مهم است. منحنی CBEMA نشان می دهد که حد پایین این زمان جهت خلاصی از فلش ولتاژ برای سازنده های معتبر تجهیزات الکتریکی حدود ۸ میلی ثانیه است. بنا براین برای بارهای کلیدی یک زمان انتقال ٤ میلی ثانیه ای می تواند تداوم عملکرد بار را تضمین نماید.

این نوع UPS ها ، برخلاف UPS های همیشه در مدار نوعاً" هیچ گونه حفاظتی بر علیه مسائل گذرای سریع وتنظیم ولتاژ ایجاد نمی کنند. مشخصات UPS شامل ظرفیت (KVA) ، تنظیم ولتاژ استاتیک و دینامیک ، اعوجاج هارمونیکی جریان ورودی و ولتاژ خروجی ، حفاظت برعلیه موج های ضربه ای و تضعیف نویز است.

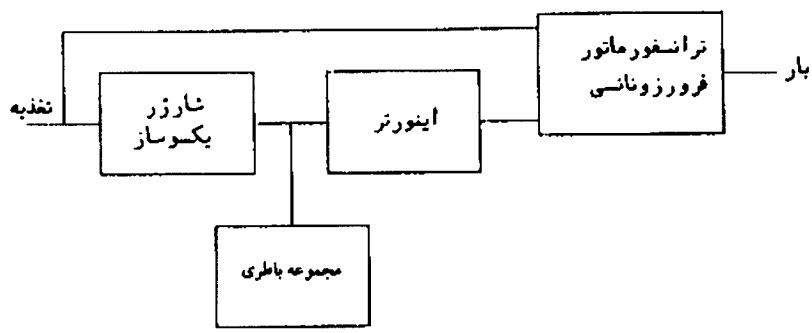
سازنده باید شرایطی را که تحت آن این مشخصات معتبر است ارایه دهد (رجوع شود به شکل ۸)



شکل ۸- UPS اضطراری

و ـ ۱-۵ UPS های ترکیبی

مشابه طراحی UPS های اضطراری ، UPS های ترکیبی از ترکیب کننده ولتاژ در خروجی UPS استفاده نموده تا علاوه بر ایجاد یک منبع اضطراری ، وظیفه تنظیم ولتاژ بار را نیز به عهده داشته باشد . شکل ۹ این نوع UPS ها را نشان می دهد.



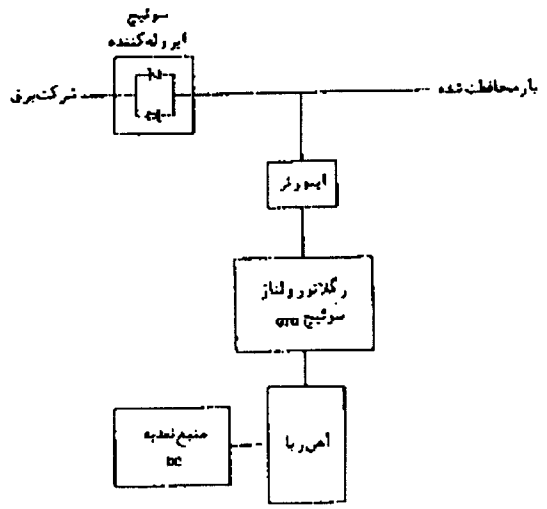
شکل ۹- UPS ترکیبی

و ـ ۱-٦ واحد موتور ـ ژنراتور

واحد موتور ـ ژنراتور در محدوده وسیعی از اندازه ها و آرایش ها وجود دارد. یک نوع آن از یک ژنراتور سنکرون که با محرک موتور الکتریکی حرکت می کند استفاده می نماید. در واقع وزن رتور و فلای ویل ، اینرسی کافی را جهت ثابت بودن فرکانس تحت بار نامی و برای ۱۵ ثانیه ایجاد می نماید.

و ـ ۱-۷ وسایل ذخیره کننده انرژی مغناطیسی از نوع ابر رسانایی (SMES)

SMES از یک ابر رسانا (رجوع شود به شکل ۱۰) استفاده می کند تا انرژی را به همان طریقی که یک UPS از باتری استفاده می کند ، ذخیره نماید. مزیت اصلی این دستگاه حجم کم فیزیکی آن در مقایسه با باتری ها است. استفاده از این وسیله هم اکنون در حال آزمایش بوده و در نقاط مختلف دنیا نتایج مطلوبی نیز کسب شده است.



شکل ۱۰- دیاگرام تک خطی یک وسیله ذخیره کننده ابر رسانایی

و ـ ۱-۸ مشخصات تجهیزات مشترکین

از روش های دیگری که مشترکین می توانند از طریق آن با مسئله فلش مقابله کنند ، بهبود مشخصات تجهیزات است. ایده های مختلفی که در زیر می آید می تواند بـه راحتـی بـا مشـخصات تجـهیزات سازنده هماهنگ شده و مشکلات مربوط به فلش های ولتاژ را کاهش دهد.

۱ ـ سازنده های تجهیزات باید منحنی های قابلیت رهایی از فلش ولتاژ را (مشابه آنچـه کـه تـاکنون آمده است) در دسترس مشتریان خـود قـرار داده ، بـه نحـوی کـه یـک ارزیـابی اولیـه بتوانـد روی تجهیزات انجام گیرد. مشترکین نیز در زمان خرید تجهیزات بایستی درخوسات ایـن منحنـی هـا را از شرکت های سازنده بنمایند و ارزیابی تجهیز به شکل مناسب باتوجه به عملکرد آن در رابطه با فلـش ولتاژ نیز انجام گیرد.

۲ ـ مهندسین طراح سیستم های صنعتی باید دستورالعملی را تهیه کنند کـه در آن اهمیـت دسـتگاهها درجه بندی شده باشد. اگر تجهیز دارای اهمیت بالایی باشد (بار کلیـدی) ، لازم اسـت کـه قـابلیت رهایی از پدیده فلش ولتاژ آن بالا بوده و در زمان خریداری تجهیز از این قـابلیت ، اطمینـان حـاصل گردد. اگر تجهیز دارای اهمیت چندانی نباشد حفاظت بر علیه فلش ولتاژ برای آن می تواند ضـروری نباشد.

و - ۲ راهکارهای شرکت های برق جهت رفع خطای ایجاد شـــده روی سیسـتم و کاهش تعداد فلش

شرکت های برق با فعالیت هایی که جهت جلوگیری از اتصال کوتاه انجام می دهند نه تنـها رضـایت مشترکین را فراهم می نمایند، بلکه از صدمات اقتصادی به تجهیزات شبکه قدرت نیز جلوگـیری مـی کنند. شرکت ها دو راه اساسی جهت کاهش تعداد وشدت اتصال کوتـاه هـا روی سیسـتم پیـش رو دارند.

ـ جلوگیری از وقوع خطا

ـ بهبود عملیات رفع خطا

فعالیت های جلوگیری از وقوع خطا شامل : هرس کردن شاخه های درختان ، افزودن برق گیر در دو طرف خطوط انتقال ، شستشوی مقره ها در مناطق آلوده و استفاده از حفاظ هـا بـرای جلـوگـیری از

ورود حیوانات در پست ها می باشد. عایق بندی خطوط نمی تواند کلیه اصابت های صاعقه را تحمل کند. یکی از روش های جلوگیری از اصابت صاعقه در خطوط انتقال استفاده از شیلدینگ مناسب است. مقاومت پای برج فاکتوری مهم در پدیده " قوس برگشتی " از برج به سیم فاز است. اگر مقاومت پای برج بزرگ باشد انرژی موج ایجاد شده از برخورد صاعقه نمی تواند به سرعت جذب زمین شود. در فیدرهای توزیع ، استفاده از شیلیدینگ و قرار دادن برق گیر ها می تواند دو عامل مهم جهت جلوگیری از وقوع خطا باشد. البته یکی از مسایل اساسی در رابطه با فیدرهای توزیع ، مسئله برخورد شاخه های درخت به خط می باشد. در نواحی که پوشش گیاهی در آن به سرعت رشد می کند، هرس کردن شاخه ها یکی از عوامل موثر در کاهش اتصال کوتاه خواهد بود. از سوی دیگر با تعمیرات پیشگیرانه تجهیزات ، برای مثال دیدن نقاط داغ جمپرها از دور دست توسط دستگاههای ترموویوژن می توان از وقوع خطا جلوگیری کرد.

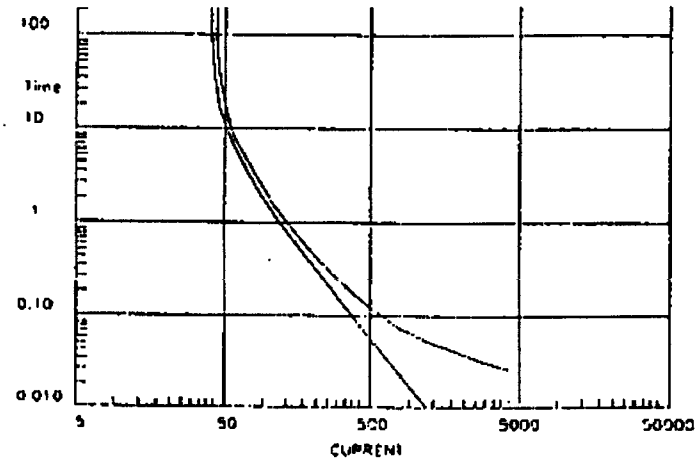
مطالعه عملکرد شبکه الکتریکی در طی شرایط اتصال کوتاه بسیار مهم می باشد. محدودیت های فیزیکی مشخصی برای قطع جریان اتصال کوتاه و برگشت توان وجود دارد. در ادامه با دو نوع اساسی اتصال کوتاه در روی شبکه قدرت سروکار خواهیم داشت :

ـ اتصالی های گذرا (موقت) : این پدیده ها، اتصال کوتاه هایی می باشند که هیچ گونه صدمه دایمی به عایق سیستم وارد نمی کنند (مانند وجود قوس در خطوط هوایی) . به محض آنکه قوس خاموش شود ، توان مجددا" برقرار می گردد. کلیدخانه های اتوماتیک می توانند این عملیات را در طی چند ثانیه انجام دهند. تعدادی از این خطاها ، به صورت خود به خود رفع می گردند.

ـ اتصالی های دایم : این پدیده ها ، خطاهایی هستند که به بعضی از عناصر سیستم عایقی صدمه فیزیکی زده و برای تعمیر احتیاج به مداخله پرسنل دارند. تاثیر این پدیده روی مشترک ، قطعی برق بوده که ممکن است از چندین دقیقه تا چند ساعت تداوم یابد.

اصلی ترین عناصر حفاظتی برعلیه جریان های زیاد ، فیوزها می باشند. فیوزها نسبتا" ارزان قیمت بوده و احتیاج به تعمیر ونگهداری ندارند. بنا بر دلایل فوق ، این وسیله حفاظتی در سیستم های توزیع به وفور استفاده شده و حفاظت ترانسفورماتور و فیدرهای جانبی را به عهده دارد. وظیفه اصلی فیوز ، عمل کردن در زمان خطاهای دایمی و جدا نمودن قسمت معیوب از قسمت سالم فیدر است. آن ها در جایی قرار می گیرند که کمترین قسمت از فیدر از مدار خارج شود.

فیوزها توسط ذوب شدن المان خود ، جریان زیاد را تشخیص می دهند. این المان فلزی است مانند قلع یا نقره. اساس کار فیوز به این شکل است که المان آن به تدریج گرمای به وجود آمده را در خود جمع نموده تا به نقطه ذوبش برسد. در نتیجه زمان قطع فیوز بستگی به اندازه جریان خطا خواهد داشت. هر چه جریان بالاتر باشد زمان قطع کاهش می یابد. این رفتار مشخصه زمان معکوس شبیه شکل ۱۱ را برای فیوز ایجاد می کند. برای هماهنگی کامل بین فیوزها و دیگر وسایل حفاظتی جریان زیاد در سیستم توزیع ، رفتار وسایل حفاظتی جریان زیاد باید شبیه به رفتار فیوزها باشد.

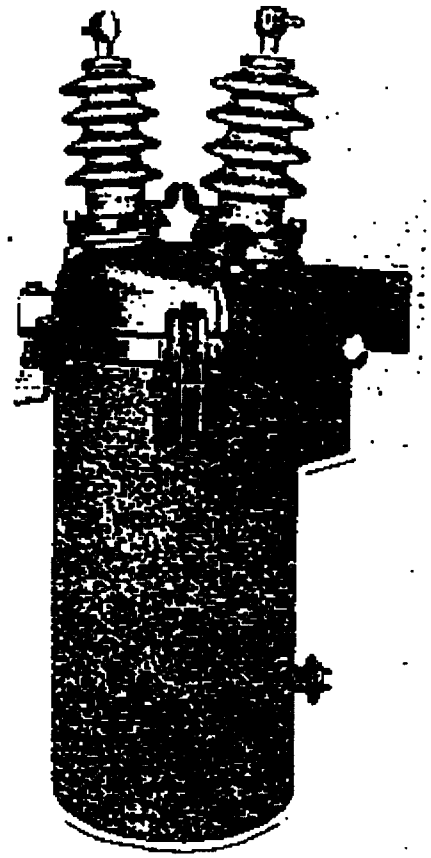


شکل ۱۱- مشخصه زمان معکوس یک فیوز که باید با مشخصه های دیگر وسایل حفاظتی جریان زیاد هماهنگ شود.

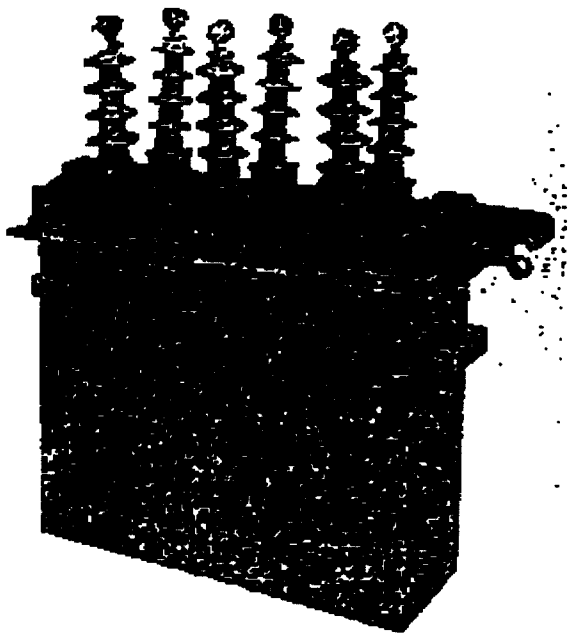
و ـ ۲-۱ استفاده از عمل وصل مجدد

چون اکثر خطاهای ایجاد شده روی خطوط هوایی به شکل گذرا می باشند ، توان می تواند پس از چند سیکل بعد از قطع جریان به صورت موفقیت آمیزی مجدداً" به حالت اولیه خویش باز گردد. بنا

براین برخی کلیدهای اتوماتیک ، طوری طراحی می شوند که سه یا چهار بار (در صـورت احتیـاج) وصل مجدد گردند.این عملیات طوری صورت می گیرد که شانس مجددی برای برگشت توان ایجـاد کنند. تعدادی کلید مخصوص در سیستم های توزیع وجود دارد (وصل کننده مجدد) که این عمل را به خوبی انجام می دهند. اکثریت خطاها در اولین عملکرد رفع می شوند. شکل ۱۲ یک وصل کننـــده مجدد تک فاز نمونه را نشان می دهد. شکل ۱۳ نمونه سه فاز این کلید را نمایش داده است

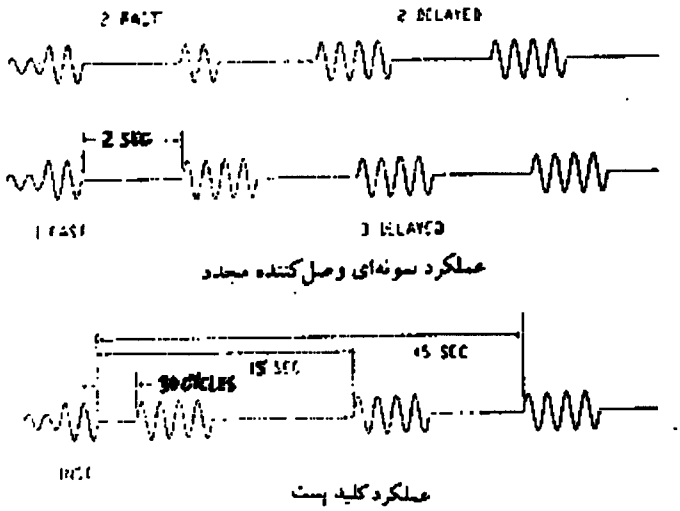


شکل ۱۲- نمونه وصل کننده مجدد تک فاز



شکل ۱۳- نمونه وصل کننده مجدد سه فاز

در نواحی که تعداد اصابت صاعقه کم است ، شرکت های برق ممکن است عمل وصل مجدد را تنها یک بار انجام دهند. چون طبق فرض آن ها ، اکثریت خطاها دایمی می باشد. در نواحی صاعقه خیز تعداد معمول عملکرد وصل مجدد تا چهار بار است. شکل ١٤ دو ترتیب عملکرد مرسوم یک وصل کننده مجدد با چهار بار عمل وصل مجدد را نشان می دهد.



شکل ١٤- ترتیب عملکرد برای یک وصل کننده مجدد و کلیدهای پست

و ـ ٢-٢ حفظ کردن فیوزها

چون تعویض فیوز احتیاج به صرف هزینه دارد ، به طور ایده آل ، شرکت های برق تمایل دارنـد کـه در اثر ایجاد یک خطای گذرا از سوختن آن جلوگیری شود. وصل کننده های مجـدد خـط منحصـرا" جهت حفظ فیوزها طراحی شده اند. کلیدهای پست ها می توانند از رلـه هـای اتصـال زمیـن جـهت انجام همین عمل استفاده کنند. ایده اصلی داشتن یک وسیله مکانیکی قطع جریان بوده که روی اولین عملکرد به سرعت عمل کند و قبل از اینکه فیوزهای بعد آن ذوب شوند خطا را رفع کند. وقتـی کـه وسیله مجددا" وصل می شود در اکثر حالات توان به طور کامل برمـی گـردد و هیـچ گونـه دخـالت پرسنلی لازم نخواهد بود. تنها اثری که این عمل روی مشترک می گـذارد یـک چشـمک زدن کوتـاه است. عمل فوق " قطع آنی " یا عملکرد سریع تجهیز نامیده می شود.

اگر خطا پس از عمل وصل کننده مجدد هنوز پابرجا باشد ، دو راه حل وجود دارد:

۱ ـ از مشخصه قطع تاخیری استفاده شود. این عمل تنها در کلیدهای پست صورت می گیرد. آن ها تنها یک بار عمل قطع لحظه ای را انجام می دهند وسپس با فرض دایمی بودن خطا و با استفاده از یک عملکرد تاخیری به فیوز بعد از خود این اجازه را می دهند که با ذوب شدن خود قسمت اتصالی را از دیگر قسمت ها ایزوله کند.

۲ ـ سعی مجدد برای انجام دومین عمل قطع لحظه ای : پس از آن که آزمون ها نشان دادند که درصد قابل توجهی از خطاها جهت رفع احتیاج به دو عمل وصل مجدد دارند این روش استفاده شد. در برخی از خطوط و سطح ولتاژ احتمال زدن قوس مجدد در اثر صاعقه وجود داشته و بنا براین جهت رفع خطا به دو عمل وصل مجدد احتیاج خواهد بود.

و ـ ۲-۳ تاثیر حذف عمل حفظ کردن فیوزها

یکی از مرسوم ترین روش ها درخصوص شکایات مشترکین از قطعی های لحظه ای ۷ استفاده نکردن از وصل کننده های مجدد می باشد. در این حالت با سوختن فیوز از قطع کل فیدر در اثر اتصالی روی یک شاخه آن ، جلوگیری می شود. این عمل تعداد مشترکین تحت تاثیر قرار گرفته توسط یک اتصالی را کاهش می دهد و تنها مشترکین موجود روی شاخه اتصالی شده تحت یک قطعی با دوام قرار می گیرند (حتی در اثر یک خطای گذرا) . عمل فوق علاوه بر کاهش هزینه های عملیاتی ، روی شاخص های قابلیت اطمینان نیز تاثیر خواهد گذاشت.

به هر حال این استراتژی با سیاستهای کلی بسیاری از شرکت های برق هم خوانی ندارد ، زیرا آن ها ترجیح می دهند که از تکنیک های بهینه و راه حل های اقتصادی دیگر استفاده کرده تا از قابلیت وصل کننده های مجدد نیز استفاده شود.

از سوی دیگر استفاده نکردن از وصل کننده های مجدد کلیه وقایعی را که موجب مشکلتی برای مشترکین صنعتی می گردند جذف نمی کنند. این عمل تنها اکث قطعی های لحظه ای را از بین برده و روی کم نمودن فلش ولتاژ ایجاد شده در اثر اتصالی های روی سیستم های انتقلا ، دیگر فیدرها یا حتی روی فیوزهای روی مسیرهای جانبی نیز هیچ گونه تاثیری نخواهد داشت. حوادث ممکن است نیم تا $\frac{2}{3}$ وقایعی را که یک فرآینده صنعتی را از کار می اندازد شامل گردند. برای نمونه استفاده نکردن از عمل وصل مجدد در ناحیه ای که اتصالی های ایجاد شده در اثر صاعقه امری عادی است

حدود $\frac{1}{3}$ وقایعی را که سبب از کار افتادن مشترکین صنعتی می شود حذف می کند. البته این عدد وابسته به نوع بارهایی است که توسط فیدر تغذیه می شوند.

یک مشکل ویژه هنگامی اتفاق می افتد که خطاهایی نزدیک به پست ، روی دیگر فیدرها یا حتی در همان فیدر اما روی شاخه های فیوزدار رخ دهد. این خطا روی کلیه فیدرهای متصل به شینه ، فلش ولتاژ پدید می آورد. دو روش جهت کاهش این فلش ولتاژ پیشنهاد شده است :

ـ نصب راکتور روی خطوطی که به پست وارد می شوند.

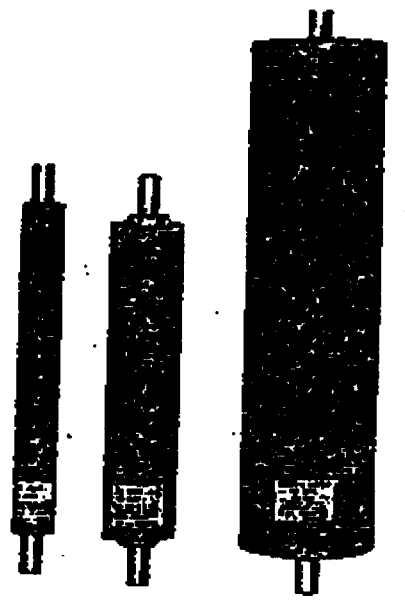
ـ نصب فیوزهای محدود کننده جریان در کلیه شاخه های جانبی نزدیک به پست (رجوع شود به بخش و-۲-٤) .

قطعی های لحظه ای تاثیر چندانی روی مشترکین خانگی ندارند. به هر حال عدم استفاده از وصل کننده های مجدد ، ممکن است تاثیرات نامطلوب بیشتری روی مصارف خانگی داشته باشد . برای مثال در خانه هایی که از پمپ های مکنده استفاده می شود ، فیوزهای جانبی ممکن است در اثر وقوع یک حادثه سوخته وقطعی های با دوام برق را به دنبال داشته باشد.

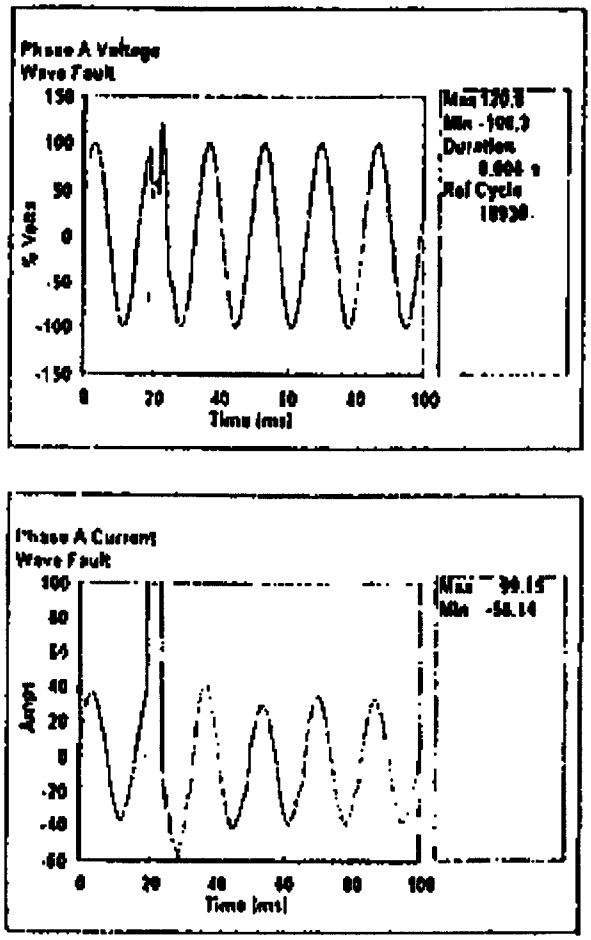
و ـ ۲-٤ استفاده از فیوزهای محدود کننده جریان

فیوزهای محدود کننده جریان اغلب در تجهیزات الکتریکی که جریان اتصالی آن ها بالا بوده و یک اتصالی داخلی می تواند خرابی بزرگی به بار آورد ، استفاده می شوند. این فیوزها تجهیزات گران قیمتی بوده ودر جایی استفاده می شوند که جریان خطا بیش از ۲ الی ۳ کیلوآمپر باشد. شکل ۱۵ چند نمونه از این نوع فیوزها را نشان می دهد. طراحی های مختلفی برای این فیوزها وجود داشته ولی آرایش اساسی آن شامل یک المان نواری شکل نازک است که با مواد سیلیسی روکش شده است. المان در بسیاری از مکان ها به طور همزمان ذوب شده و به سرعت افت ولتاژی ایجاد نموده که با عبورد جریان مخالفت می کند. جریان در زمان ۰/۲۵ سیکل صفرمی شود. در زمینه کیفیت برق ، فیوزهای محدود کننده جریان دارای این مزیت بوده که فلش ولتاژ منتجه از خطا بسیار کوچک خواهد بود. شکل ١٦ شکل موج نمونه ولتاژ و جریان را در خصوص یک فیوز محدود کننده جریان و در اثر یک خطای تک فاز به زمین نشان می دهد. توجه کنید که شکل موج جریان خطا درشکل بریده شده است. فلش ولتاژ منتجه طوری است بیشتر فرآینده های صنعتی آن را حس نخواهند کرد. بنا براین یک روش پیشنهادی ، قرار دادن فیوزهای محدود کننده جریان روی هر شاخه فرعی در

نواحی با جریان های اتصالی بالا در نزدیکی پست است تا تعداد فلش هـایی را کـه روی فرایندهـای صنعتی تاثیر می گذارند کاهش دهد.



شکل ۱۵- فیوزهای محدود کننده جریان



شکل ١٦- شکل موج نمونه ولتاژ وجریان در یک فیوز محدود کننده جران

و ـ ٢-٥ تنظیم تطبیقی رله ها

تنظیم تطبیقی رله ها عبارت است از تغییر مشخصات رله های حفاظتی جریان زیاد برای تطبیق آن باش رابط حال سیستم ، مرسوم ترین کاری که در حال حاضر بدین منظور انجام می گیرد به کار انداختن و یا از کار انداختن عمل قطع سریع در پاسخ به شرایط آب وهوایی است که عموما" توسط سیستم های مخابراتی و ارسال اطلاعات به مرکز کنترل انجام می گیرد. همچنین این عمل می تواند در محل توسط وسایلی که توانایی حس باران یا صاعقه را دارند صورت گیرد.

و ـ ۲-٦ جلوگیری از وقوع خطا در سیستم

جهت جلوگیری از وقوع خطا به اعمال زیر می توان اشاره نمود :

و - ۲-٦-۱ تعمیر ونگهدای خطوط هوایی

هرس کردن درخت ها : این عمل جهت جلوگیری از وقوع خطا در سیستم لازم خواهد بود. گرچه برخی افراد در رابطه با تاثیر محیطی وزیبایی طبیعت ممکن است شکایت داشته باشند.

شستشوی مقره ها : همان طور که هرس کردن شاخه ها درنواحی جنگلی لازم است ، در نواحی ساحلی و بیابانی نیز شستشوی مقره ها باید انجام شود.

سیم های حفاظت از صاعقه : سیم های حفاظت از صاعقه در سیستم های انتقال به کار می روند. این سیم ها تنها در مناطقی که احتمال اصابت صاعقه بالایی دارند ، در سیستم های توزیع نیز استفاده می شوند. به هر حال هر گونه شیلدینگی به طور کامل از حفاظت صاعقه جلوگیری نخواهد کرد.

اصلاح فاصله بین هادی ها : با تغییر این فاصله می توان میزان استقامت در مقابل بروز قوس را افزایش داد.

هادی عایق دار یا هادی دارای پوشش : در نواحی که هرس درختان عملی نیست ، هادی های عیاق دار یا دارای پوشش می تواند احتمال وقوع خطا توسط درختان را کاهش دهد.

چون نزدیک به اکثر خطاهایی که در روی کابل رخ می دهد از نوع دایمی می باشند ، موضوع اصلی مسئله کیفیت برق یافتن هرچه سریع تر محلوقوع خطا است . وسایل محل یابی خطا در ادامه توضیح داده خواهند شد.

برق گیرهای خط ـ برای جلوگیری از وقوع اتصالی در خطوط هوایی ، یا باید سطح عایقی خط را بالا برد یا از برخورد صاعقه به خط جلوگیری کرد. راه دیگر ممانعت از افزایش ولتاژ به مقدار بیش از سطح عایقی بوده که این کار با استفاده از برق گیر در طول فیدر و همچنین در نزدیکی ترانس های توزیع انجام می گیرد. امروزه ، به کارگیری برق گیرها در طولی از خط که احتمال اصابت صاعقه و در نتیجه وقوع خطا در آن محل بالا است عمومیت یافته است.

و ـ ۲-۷ محل یابی خطا از طرق عملی

پیدا کردن سریع محل خطا یک جنبه مهم ازمسئله قابلیت اطمینان و کیفیت برق است.

نشان دهنده های مدار اتصالی : پیدا کردن محل وقوع اتصالی در کابل ها بسیار مشکل است. در مورد کابل های زمینی معمولاً غیرممکن است که بتوان اثرات اتصالی را مشاهده نمود. برای پیدا کردن سریع محل خطا ، بسیاری از شرکت های برق از نشان دهنده های خطا استفاده می کنند. اساس کار این نشان دهنده ها ، برپایه قراردادن وسیله ای در نقاط مختلف شبکه است که با افزایش جریان از یک حد مشخص ، فعال شده و خطا را مشخص می کند. بدین ترتیب با پیدا کردن اولیه وسیله ای که فعال نشده است قسمت سالم از قسمت اتصالی شده تشخیص داده می شود. جریان نامی این دستگاهها بر مبنای حداکثر جریان اتصالی تنظیم می شود. نشان دهنده های خطا باید قبل از وقوع اتصالی بعدی به حالت اولیه خود بر گردند.

و - ۲-۷-۱ محل یابی خطا بدون نشان دهنده های خطا

تعداد بسیار زیادی روش برای محل یابی خطا وجود دارد که در ذیل عمومی ترین آنها ذکر ـ " ضربه زدن " اساس این روش اعمال یک ولتاژdc به کابل بوده تا مجدداً خطا ایجاد شده و سپس تلاش برای تشخیص آن توسط صدا ، حس و دیدن نمایش فیزیکی نقطه خطا است.

ـ روش های پالسی : این روش ها از تئوری امواج سیار برای تخمین فاصله نقطه اتصالی استفاده می کنند. سرعت موج بر روی کابل معلوم است. بنا براین اگر یک پالس به کابل اعمال شود ، زمان رفت و برگشت پالس متناسب بع طول کابل تا نقطه اتصالی خواهد بود.

یک مدار باز ، موج ولتاژ را به صورت مثبت انعکاس داده ، در حالی که یک نقطه اتصالی (مدار بسته) به صورت منفی موج را منعکس می کند. موج جریان دقیقاً عکس عمل فوق را از خود نشان می دهد. اگر مسیر کابل شناخته شده باشد ، محل خطا می تواند به راحتی با اندازه گیری مسیر محاسبه شود. در بعضی از شبکه ها شاخه های زیادی از کابل گرفته شده است. فاصله از محل اتصالی تنها قسمتی از داستان است و در این نوع شبکه ها ، شناخت شاخه فرعی نیز جزو مشکلات خواهد بود. به هر حال بحث در این زمینه هم اکنون نیز ادامه دارد.

و - ۲-۷-۲ *TONE*

در این روش یک سیگنال فرکانس بالا به کابل تزریق شده و مسیر کابل توسط یک دریافت کننده مخصوص دنبال می شود. پس از نقطه اصتالی این سیگنال ناپدید می گردد.

و - ۲-۷-۳ *ردیابی خطا با فیوز*

در این روش کابل به صورت دستی تقسیم بندی شده و سپس هر قسمت مجدداً برق دار شده تا اینکه یک فیوز بسوزد. قسمت اتصالی با فرآیند حذف یا مشاهده نمایش فیزیکی اتصالی مشخص می گردد. به هر حال به دلیل صدماتی که ممکن است به کابل و ملحقات آن وارد آید بسیاری از شرکت ها این روش را انجام نمی دهند. بعضی از شرکت ها نیز از فیوزهای محدودکننده جریان استفاده می کنند که مقدار انرژی را حداقل می کند. به هر حال این روش بسیار پر هزینه و وقت گیر بوده و تنها زمانی استفاده می شود که هیچ روش دیگری در دسترس نباشد.

پیوست ز

واژگان

(اطلاعاتی)

Incrcased Sectionalizing	افزایش جداسازی
Voltage swell	برآمدگی ولتاژ
Ferroresonant transformers	ترانسفورماتور فرورزونانسی
Magnetic synthesizers	ترکیب کننده های مغناطیسی
Phase angle jump	جهش زاویه فاز
Guse saving	حفظ کردن فیوز
Area of vulnerability	حوزه آسیب پذیری
Exposed area	سطح در معرض
Thumping	ضربه زدن
Exposed length	طول در معرض
Critical lengh	فاصله بحرانی
Voltage sag	فلش ولتاژ
Current limiting fuse	فیوز محدود کننده جریان
Instantaneous trip	قطع لحظه ای
Back flashover	قوس برگشتی
Dual rated	مقادیر نامی دوگانه
Equipment voltage tolerance	منحنی حساسیت تجهیز
Sag coordination chart	منحنی هماهنگی فلش ولتاژ
Voltage sag frequency	نرخ وقوع فلش
Motor – genertor set	واحد موتور ـ ژنراتور
Superconducting magnetic energy storage	وسایل ذخیره کننده انرژی مغناطیسی از نـوع ابـر رسانایی
Recloser	وصل کننده مجدد
Critical Voltage	ولتاژ بحرانی