علل تغییر باردهی کابلهای تك رشته فشارقوی
بازره فلزی تحت تاثیر اشکال مختلف زمین کردن وآرایش آنها

فریبرز فداکار بهرام زمانی مزده

شرکت مشانیر

چکیده

استفاده روزافزون ازکابل بجای خطهوایی درشبکه‌های فشارمتوسط (۲۰ و ۶۳کیلوولت) وفشارقوی (۱۳۲ و ۲۳۰ کیلوولت) خصوصا" درمناطق شهری ، بررسی دقیق وهمه جانبه درنحوه بارگیری ازکابل ها رامطرح میسازد. دراین رابطه عموما" ازکابل های تك رشته استفاده میگرددوبازای افزایش سطح مقطع وولتاژ نامی کابل قیمت کابل افزایش قابل توجهی پیدامینماید. تغییردرنوع زمین کردن کابلهای تك رشته‌اثرات محسوسی درظرفیت باردهی کابل ومیزان ایمنی وحفاظت مورد نظر خواهدداشت . بطوریکه برای دستیابی به یك گزینش بهینه درشرایط متفاوت ، درنظرگرفتن اثرات فوق الزامی است . دراین مقاله آثار فوق بنابرنوع زمین کردن کابل مورد بررسی قرارگرفته است تا دراستفاده ایمن تر واقتصادی ترازکابل های تك رشته درشبکه‌های شهری ایران‌مد نظر گرفته شود.

شرح مقاله

باردهی کابلها بازای عوامل وشرایط مختلف تغییرمینماید. شرایط محیطی مانند دما، رطوبت ویاچگونگی نصب ازنظر داخل زمین بودن یانبودن ویاتعداد وتراکم کابلهاویانحوه بارگیری درزمان معین برمیزان باردهی مجاز کابل اثر میگذارد. درکابلهای تك رشته زره دار علاوه بردرنظرگرفتن

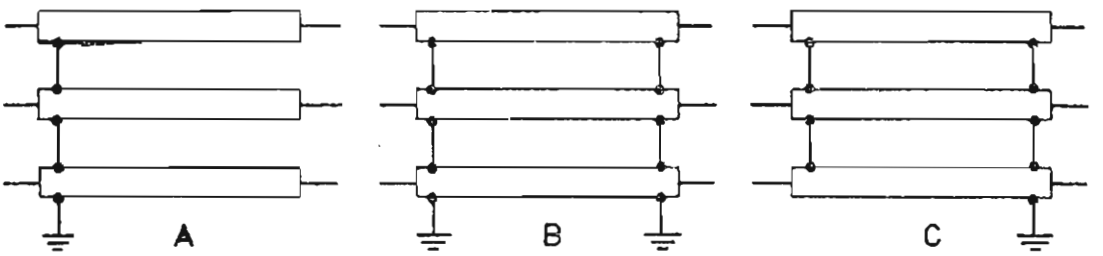
موارد فوق باید اثر زمین کردن کابل به‌روشهای گوناگون رادرتعیین باردهی مجاز کابل درنظرگرفت .

بطورکلی سه روش باری زمین کردن زره کابلها وجوددارد :

۱ـ اتصال یك سرپایك نقطه اززره کابلها بهم و به زمین SIngle point (شکل a)

۲ـ اتصال دوسرزره کابلها باهم وبه زمین Both end (شکل b)

۳ـ اتصال دوسرزره کابلها بهم واتصال فقط یك سرآنها به زمین (شکل c)



که حالات 3,2 تاحدود زیادی مشابه میباشند .

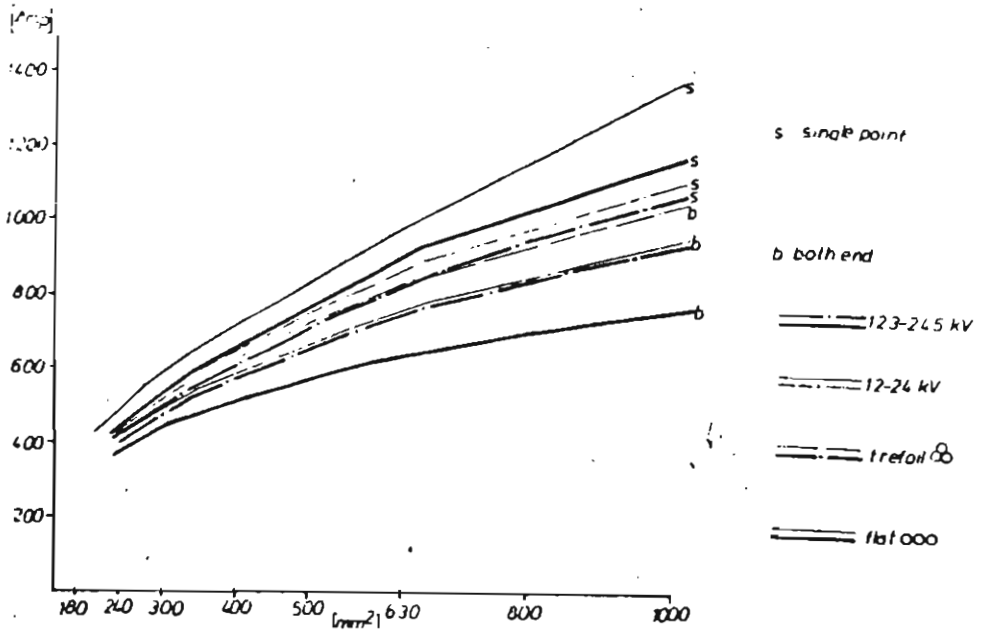
بادقت درجداول باردهی کابلهای تك رشته تحت شرایط مختلف زمین‌نمودن زره آنها باتفاوتهای مشخصی دربارده‌ی مجاز کابلها مواجه میگردیم که باافزایش مقاطع کابلها وولتاژنامی آنها این تغییرات آشکارتر است .

بطورمثال دربالاترین مقاطع وولتاژ نامی 230 KV وداشتن آرایش Flat(000) باتغییر شکل زمین کردن کابل هاازحالت یك سرزمین به دوسرزمین باردهی مجازکابل تا 50% پایین میآید . اما چنانچه ازآرایش Tre foil ( ) استفاده گردد کاهش باردهی بازای تغییر شکل زمین کردن کابل ها تا 20% محدود میگردد .

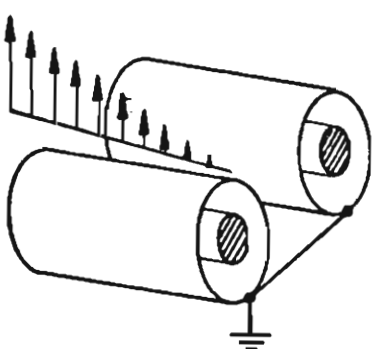
۱ـ محاسبات تغییرات باردهی کابلهادرشرایط مختلف (نمودار A)

مقایسه منحنی تغییرات باردهی مجاز کابل هانسبت به تغییرمقاطع درحالات مختلف کابل‌کشی وزمین کردن ، درولتاژهای مختلف ، اثرنوع زمین کردن رامشخص میسازد . علت این تغییرات واینکه چراروش های متفاوتی برای زمین کردن کابل هادرنظرگرفته میشود موضوعی است که بشرح آن خواهیم پرداخت .

شکل ۱ نمایش تك رشته بازره ، بصورت دواستوانه متداخل میباشد که بازمین کردن کابل دریك سرزره آن درحالت بارگیری ازکابل وعبورجریان ازهادی اصلی جریانهایی درزره کابلهاالقاء

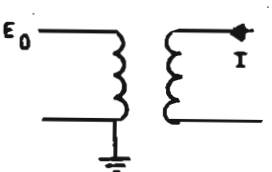


نمودار A ـ منحنی باردهی کابلهاباتوجه به شکل زمین کردن زرهکابل ، درمقاطع مختلف



میشود وازآنجا که این جریانها بعلت زمین نشدن سردیگر زره درحالت " Single point" نمیتوانند مسیرخودرا بازمین ببندند بصورت جریانهای گردشی درطول زره کابلها ظاهرگشته وباعث ایجاد اختلاف پتانسیل ناخواستهای نسبت به طرف زمین شده کابل میشوند که حتی بعداز قطع جریان کابل این پتانسیل تامدتی باقی است وچنانچهمقدار قابل ملاحظهای باشد میتواند مسئلهساز باشد . این حالت کابل تك رشته قابل مقایسه بایك ترانسفورماتورباهستهای ازعایق ونسبت تبدیل 1:1 است که ثانویه آن بازاست .

شکل (۱)



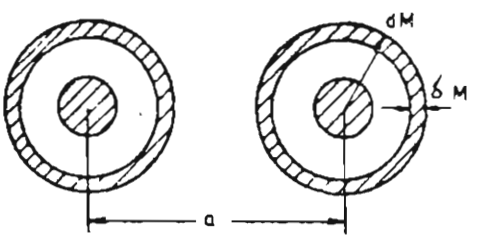
مقداراین ولتاژ القاء شده باجریان هادی ـ طول کابل وفرکانس شبکه نسبت مستقیم داشته وبا افزایش آنهاافزایش مییابد وازرابطه :

$$E_o = I.\omega .L.10^3 \ [V/Km]$$

بدست میآید که درآن مقدار L اندوکتیویته ، متقابل کابل است که برابر است با :

$$L = 0.2 \quad L_n \frac{2a}{dm} \quad [mH/Km]$$

$$= 2\pi f \ , \ f[Hz] \ , \ dm = dM - \delta M \ [mm]$$



شکل (۲)

[mm] dm = قطر میانگین

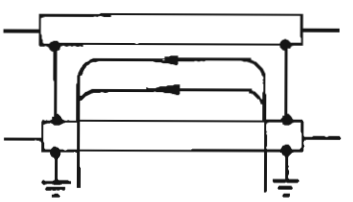
[mm] dM = قطرنهایی کابل

[mm] δM = ضخامت زره کابل

[mm] a = فاصلهمحوربهمحورهادیها

درسیستم یك فاز ولتاژ طرف زمین شده زره $2E_o$ [V/Km] ودرسیستمسهفاز $\sqrt{3}\ E_o$[V/Km] میباشد.

اماچنانچه زره کابل هاازدوسرزمین شود مسیر جریانهای القاء شده درزره بازمین دردوسرکابل بسته شده وباعث جاری شدن جریان میشود.



شکل (۳)

دراین حالت جریان ایجاد شده درزره یك میدان مغناطیسی مخالف باجهت میدان حاصل ازهادیها ایجاد میکند که درمجموع باعث کاهش اندوکتیو موثرمجموعه کابلها میشود ودرنتیجه افت ولتاژ کمتری درکابل بوجود میآید اماازآنجاکه این جریان ازمقاومت اهمی زره کابل نیز عبور میکند اثرحرارتی حاصل ازآن باردهی کلی کابلها راپایین میآورد. مقدارجریان فوق برابر است با :

$$I_M = \frac{E_o}{\sqrt{R_M^2 + X_M^2}} \ [\hat{A}]' \ , \quad X_M = \omega .L.10^3 \ [\Omega/Km]$$

$$L = 0.2Ln \frac{2a}{dm}$$

$$\blacktriangle L = \frac{M}{(RM/XM)^2 + 1} \ [\ mH/Km\ ]$$

$$\blacktriangle R = \frac{R_M}{(R_M/XM)^2 + 1} \ [\Omega/Km]$$

که : L , R افزایش مقاومت وکاهش اندوکتانس رامعین میسازند که درآنها

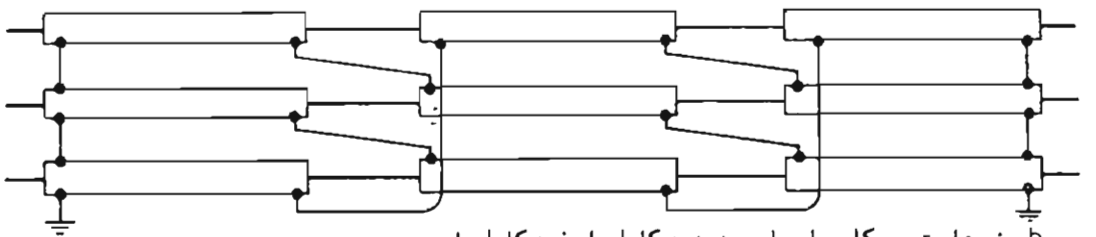
$$R_M = \frac{1000}{S.\mu} \left[\ /Km\right] \qquad S[mm^2], \qquad \mu\ [m/m.mm^2]$$

ضریب هدایت زره در 50°c میباشد.

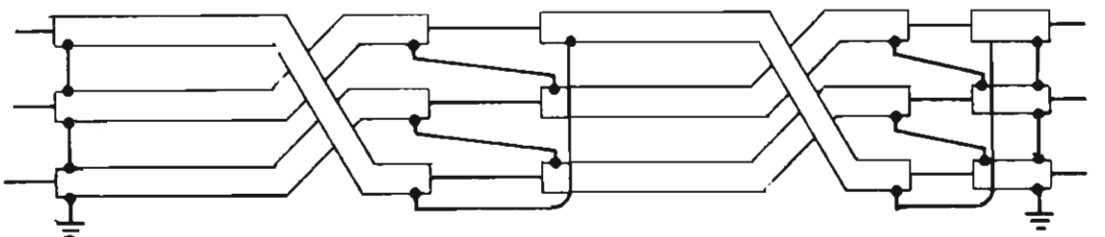
بادقت دررابطه جریان فوق معلوم میگردد که چنانچه فاصله محوری کابلهاافزایش یابد، اندوکتانس واقعی مجموعه زیاد شده وجریان موجود درزره کاهش مییابد واثر حرارتی ناشی از مقاومت اهمی زره رانیز کم میکند. ازطرف دیگر باکم کردن فاصله کابلها بطورکلی باردهی آنها پایین میآید بنابراین باید بین کاهش فاصله کابلها درجهت پایین آوردن جریان اهمی زره و افزایش فاصله کابلها درجهت باردهی بهتر آنها نقطه اپتیممی بدست آورد. (البته پیداکردن چنین نقطهای کارسادهای نمیباشد ودرعمل نمیتوان آن رارعایت نمود)

صرفنظرازنوع زمین کردن کابل ،کابل کشی بصورت Flat (000) باید همراهبایک نوع جابجایی منظم باشد تامقادیر اندوکتیویته کابلها مقدارهمگن وبکنواختی پیدانماید این جابجایی بصورت های زیرانجام میگیرد :

a : رعایت سیکل جابجایی فقط درزره کابلها



b : رعایت سیکل جابجایی درزره کابلهاوخود کابلها



۲ـ محاسبه تلفات درحالتهای مختلف

مقادیر تلفات ناشی اززره درهردوحالت Both-End , Single point براساس استاندارد IEC طبق روابط زیر تعیین میگردد.

بطورکلی تلفات حاصل اززره به دوبخش تقسیم میگردد.

λ_1' = جریان سیرکولاسیون λ_1'' = جریان فوکو $\lambda_1 = \lambda_1' \cdot \lambda_1''$

۱ـ درحالت Single point: $\lambda_1' = 0$ است و λ_1'' ازرابطه زیربدست میآید.

$$\lambda_1'' = A_1 \frac{Rs}{R} \frac{(d/2s)^2}{(R_s 10^9/\omega)^2 + \frac{1}{5}(2S/d)} [1 \cdot A_2 (d/2S)^2]$$

وضرائب A2,A1 براساس شکل چیدن کابلهاباجدول زیربدست میآید وچنانچه کابلهابصورت FLAT باشد وسیکل جابجایی درمورد آنها رعایت گردد میانگین تلفات جمع سه قسمت جابجا شده برای هرفاز مانند حالت Trefoil خواهدبود.

		A_1	A_2
Trefoil	⌀	3	0.417
Flat	● 0 ●	1.5	0.27
Flat	0 ● 0	6	0.083

۲ـ درحالت دوسرزمین باآرایش ۵۰ ۵۰ $\lambda_1'' = 0$ میباشد ومقدار λ_1' ازرابطه زیربدست میآید.

$$\lambda_1' = \frac{Rs}{R} \cdot \frac{1}{1 + (Rs/X)^2}$$

که دراین رابطه :

Rs [Ω /Cm] = مقاومت واحد طول زره‌فلزی کابل

$X = 4.6\omega \, Log(\frac{2a}{a}) 10^{-2} [\Omega/Cm]$ = راکتانس واحد طول زره‌فلزی کابل

$d = \sqrt{d_M \cdot d_m}$ = قطرمیانگین زره‌فلزی برای شکل تخم‌مرغی

a = فاصله محوری هادیها و $\omega = 2\pi f$

درحالت دوسر باآرایش تخت همراه‌باسیکل جابجایی λ_1' ازهمان رابطه بدست میآید.

$$X_1 = 4.6\omega \cdot Log10 (\frac{2.52a}{d}) 10^{-9} [\Omega /Cm]$$

درصورتیکه‌سیکل جابجایی درحالت Flat انجام نشود مقدار λ_1' برای کابلهای کناری ازرابطه زیربدست میاید.

$$\lambda_1' = \frac{Rs}{R} \frac{3/4\, P^2}{Rs^2 + P^2} + \frac{Q^2}{4(Rs^2 + Q^2)} \pm \frac{2RsPQXm}{\sqrt{3}(Rs^2+P^2)(Rs^2+Q^2)}$$

که‌علامت مثبت مربوط به‌یکی وعلامت منفی مربوط به‌دیگری است وکابل میانـــــی (000)
دارای مقدارمیباشد.

$$\lambda_1' = \frac{Rs}{R}\left(\frac{Q^2}{Rs^2+Q^2}\right)$$

دراین روابط :

$$P = X + X_m \qquad ; \qquad Q = X - \frac{Xm}{3}$$

X = راکتانس واحد طول زره‌فلزی برابر بامقدارحالت

$$4.6\,w\,\mathrm{Log10}\left(\frac{2a}{d}\right)10^{-9}\left[\frac{\Omega}{cm}\right]\ \text{trefoil}$$

X_m = راکتانس بین زره وکابلهای خارجی

$$= 0.435 \times 10^{-6}\ [\Omega/cm] \quad , \quad f=50[Hz]$$

نتیجه‌گیـــری

درحالت زمین کردن کابل دریك طرف Single point باتوجه به رابطه ولتاژالقای E_o باجریان وطول کابل مشخص میگردد که درصورت طولانی بودن مسیر کابل کشی ویاموارد مانـــــد لحظات قطع ووصل کلیدهاویابروزاتصال کوتاه که جریان بطورلحظه‌ای مقادیرزیادی خواهدداشـــت، ولتاژ القایی مقدارنامطلوبی پیداکرده‌ومیتواند علاوه براعمال فشارهای الکترودینامیکی وجابجایـــی کابل ، به‌ا یزولاسیون کابل نیزآسیب رساند.

بنابراین برای زمین کردن کابلهای تك رشته‌ای Single core بازره فلزی بجزمواردی کـــه دلایل اقتصادی درانجام آن موجود باشد ویامسیرکابل کشی کمترازپانصد مترباشد، زمین کردن یـــك طرف کابل هاتوصیه نمیشود ودرصورت انجام باید ایزولاسیون مناسبی برای آن درنظرگفت تا درصورت تماس افراد ، خطرشوك الکتریکی ازبین برود ویاعموما" ازدسترس به دورباشد.

البته باایجاد انقطاع درزره کابل درفواصل معین وزمین کردن جداگانه هرقسمت نیز میتوان ازافزایش بیش ازحد ولتاژ القایی جلوگیری نمود. (ماکزیمم مقدارقابل قبول E_o برابر با 65V میباشد.)

درصورت زمین کردن کابل بصورت Single point بهتراست کابل کشی باآرایش تخـت (Flat) انجام گیرد زیراتا 15% درمقاطع بالا باردهی کابل راافزایش میدهد.

باقبول زمین کردن کابل ازدوسرآن (Both End) همانطورکه‌بررسی گردید ولتاژالقایی وجـــــود نخواهدداشت وفقط‌بازای جریان سیرکولاسیون ایجاد شده درزره‌فلزی کابل ، باردهی کابل تاحـــدود 40% خصوصا" درمقاطع بالاتر از $500mm^2$ پایین میآید ودرواقع نقطه ضعف اساسی روش مزبـــور

میباشد بااین حال دراین روش کابل کشی باآرایش Trefoil مناسبتراست زیراضمن آنکه بین 10 تا 15 درصد باردهی کابل هانسبت به آرایش Flat (000) درهمین نوع زمین کردن افزایش مییابد مجموعا" بارگبری ازسه‌فازکابل ها متعادل تربوده وازاعمال سیکل منظم جابجایی درجهت همگن ساختن اندوکتیوکابلها درحالت Flat اجتناب گردیده‌است .