

کاهش اثرات سوء افزایش ولتاژ در مناطق شهری

بر انسان

علیرضا شیرانسی

محسن پوررفیع عربانی

شرکت سهامی خدمات مهندسی برق مشانیر

چکیده :

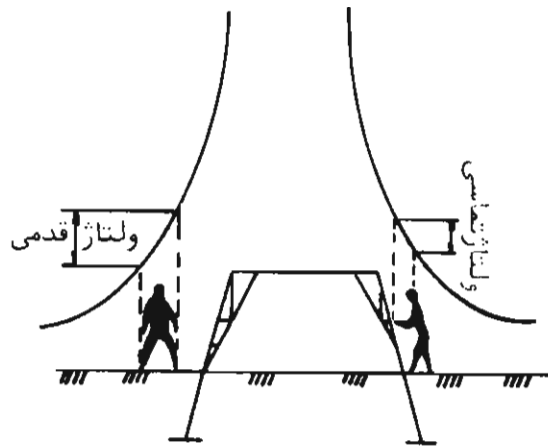
افزایش روزمره مصرف انرژی سبب نیاز به افزایش توان انتقالی در خطوط انتقال مناطق شهری گردیده و مسائلی نظیر افزایش سطوح ولتاژ را در این خطوط پدید آورده است .

با افزایش سطوح ولتاژ در مناطق شهری ، مشکلات ایمنی مربوط به خطوط انتقال شدت گرفته و ایجاب مینماید که تاثیرات سوء مربوط به این افزایش ولتاژ مورد بررسی اصولی قرار گیرد .

در این مقاله سعی گردیده که با بررسی پروفیل ولتاژ اطراف خطوط انتقال نیرو و تاثیر آن بر انسان ، روشهایی جهت کاهش اثرات سوء افزایش ولتاژ بر روی انسان ارائه گردد .

شرح مقاله :

برج های انتقال نیرو بعنوان وسیله ای جهت نگهداری سیم های حامل جریان بوده و وظیفه اصلی آن حفظ فواصل مجاز سیم ها از یکدیگر و از سطح زمین در کلیه نقاط و در طول مسیری باشد . حال اگر این سیم های هادی جریان ، بدلیلی (پاره گی سیم ، وزش باد و ...) به برج انتقال اصابت نمایند ، جریان گذرنده از سیم های هادی جریان ، از طریق برج انتقال به سوی زمین سرازیر شده ، سبب پدید آمدن لایه های همپتانسیل در سطح زمین میگردد . شکل (۱) نحوه توزیع ولتاژ را در سطح زمین اطراف یک برج انتقال نیرو در لحظه اتصال کوتاه نشان می دهد .



شکل ۱: نحوه توزیع ولتاژ در اطراف یک برج انتقال در لحظه اتصال کوتاه و ولتاژهای قدمی و تماسی

تحت این شرایط با تماس این برج توسط انسان و یا نزدیک شدن به محدود آن مطابق شکل (۱) اختلاف پتانسیل هایی بین دو قسمت مختلف بدن انسان ایجاد میگردد که حتی می تواند در بعضی شرایط منجر به مرگ گردد. همانطور که از شکل پیداست این ولتاژها به ولتاژهای تماسی و قدمی موسومند.

به منظور کاهش اثر این ولتاژها و طبعاً کاهش خطرات جانی در اطراف خطوط انتقال تاکنون تحقیقات زیادی در مورد واکنشهای بدن انسان در مقابل عبور جریان انجام پذیرفته است.

"دالزیل" در بررسیهای خود نشان داد که جریان مجاز عبوری از بدن انسان میتواند توسط رابطه ای به فرم:

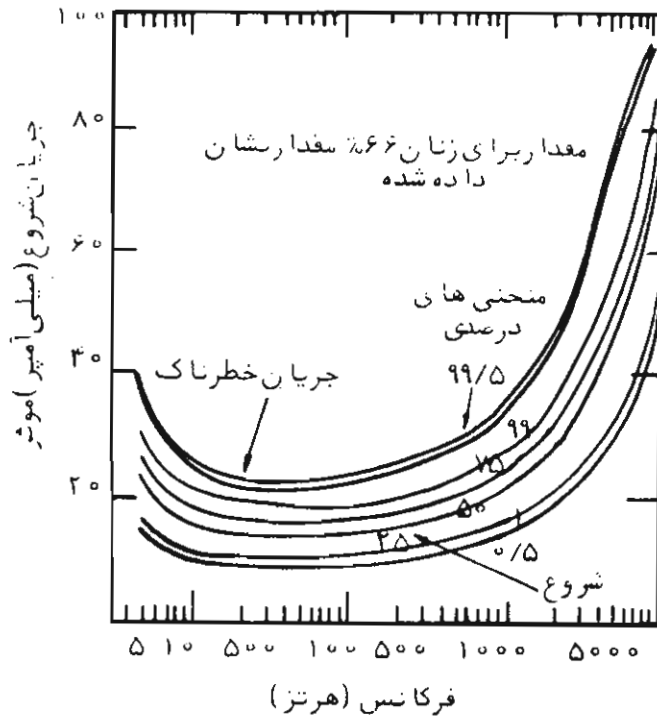
$$I = \frac{0.116}{\sqrt{t}} \text{ mA} \quad (1)$$

بدست آید، که در آن t زمان عبور جریان برحسب ثانیه بوده و I جریان مجاز عبوری برحسب میلی آمپر میباشد.

"لسی" نشان داد که بدن انسان دارای واکنشهای متفاوتی در قبال عبور جریانهای با فرکانسهای متفاوت از خود میباشد (شکل ۲)

به قسمی که به جریانهای با فرکانس 50-60 هرتز بسیار حساس بوده و این جریانها با مقادیر بسیار کم میتوانند سبب تلفات جانی گردند.

از طرف دیگر حساسیت انسان به جریانهای dc و یا جریانهایی با فرکانس بسیار بالا بسیار کم بوده به قسمی که مثلاً برای جریانهای با فرکانس صائقه جریان مجاز عبوری میتواند تا حدود چند صد آمپر افزایش یابد.

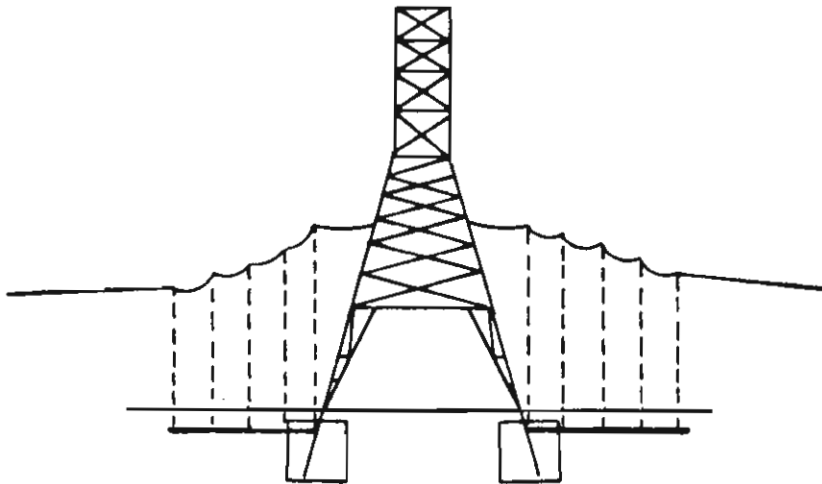


شکل ۲

اثر فرکانس بر جریان مجاز عبوری از بدن انسان

"دوایت" ۳ نشان داد که استفاده از الکترودهای زمین میتواند مقاومت زمین را کاهش دهد به قسمی که افت ولتاژ ایجاد شده در سطح زمین بشدت کاهش یافته و نتوانند سبب اثرات سوء بر روی انسان گردند.

شکل ۳ تاثیر استفاده از الکترودهای زمین را در پروفیل ولتاژ اطراف خطوط انتقال نشان میدهد.



شکل ۳

تاثیر الکترودهای زمین در پروفیل ولتاژ اطراف برج انتقال در لحظه اتصال کوتاه

مدار معادل بدن انسان در مقابل جریانهای الکتریکی :

بدن انسان در مقابل عبور جریانهای الکتریکی به مثابه یک هادی عمل می نماید. لیکن قسمتهای مختلف آن در مقابل این جریان دارای مقاومتهای متفاوتی میباشد. پوست انسان به عنوان پوشش خارجی بدن دارای مقاومت قابل توجهی است لیکن این مقاومت در ولتاژهایی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ ولت شکسته شده و تاثیر آن از بین می رود. مقاومت قسمتهای داخلی بدن تقریباً "مقداری ثابت بوده و بین ۵۰۰ تا ۱۵۰۰ اهم تغییر می نماید. مقاومت پاهاى انسان بعنوان محل عبور یا خروج جریان با جنس خاک متناسب بوده به قسمی که اگر سطح پای انسان بصورت دایره‌ای با شعاع b تصور گردد و فرض شود مقاومت مخصوص خاک برابر p باشد، مقاومت پا از رابطه

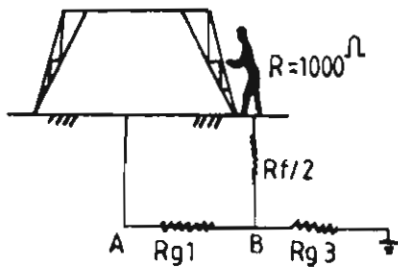
$$R_f = p/4b \quad (2)$$

برحسب اهم بدست می آید. p برحسب اهم سانتی متر میباشد که اگر فرض گردد شعاع متوسط b برای انسان نزدیک ۸ سانتیمتر باشد این مقاومت برابر خواهد بود با :

$$R_f = 3.125 p \quad (3)$$

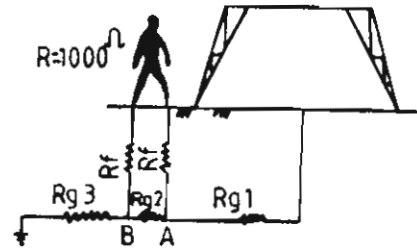
طبیعتاً اگر انسان دارای پوششهای خارجی نظیر دستکش و کفش نیز باشد این عوامل نیز در مجموعه مقاومت بدن انسان وارد گردیده سبب افزایش مقاومت بدن انسان و از آنجا کاهش عبور جریان عبوری از آن و طبیعتاً " کاهش خطرات احتمالی ناشی از آن میگردد.

اشکال ۴ و ۵ مدار معادل انسان را برای ولتاژهای تماسی و قدمی اطراف برج نشان می دهد.



شکل ۴

مدار معادل انسان برای ولتاژ تماسی اطراف برج



شکل ۵

مدار معادل انسان برای ولتاژ قدمی اطراف برج

در این اشکال R مقاومت داخلی بدن انسان بوده که همانطوریکه قبلاً نیز گفته شد نزدیک به ۱۰۰۰ اهم میباشد. R_f مقاومت پاها بوده که از رابطه‌ایکه قبلاً شرحش

رفت محاسبه شده و $Rg2, Rg1$ و $Rg3$ مقاومت زمین به ترتیب مقاومت بین برج و پای اول انسان، $Rg2$ مقاومت بین دو پای او و $Rg3$ مقاومت بین پای دوم انسان و نقطه‌ای در دوردست می‌باشد.















همانطوریکه از این اشکال نیز برمی آید عامل اصلی خطر برای انسان، اختلاف پتانسیل بین دو نقطه A و B می‌باشد که اگر بتوان به طریقی این اختلاف پتانسیل را برای انسان کاهش داد احتمال خطرات جانی برای انسان نیز کاهش می‌یابد. از جمله راه‌های پیشنهادی برای این منظور عبارتند از:

۱- کاهش مقاومت‌های $Rg1$ و $Rg2$: کاهش این مقاومتها بایستی به قسمی باشد که اختلاف پتانسیل بین A و B که به ترتیب در ولتاژ تماسی و ولتاژ قدمی برابر با $Rg1.1$ و $Rg2.1$ می‌باشند کاهش یافته و از محدوده خطر که میتواند توسط روابط زیر با توجه به رابطه (۱) بدست آید خارج شود.

$$V_t = \frac{0.116(1000 + 1.5625p)}{\sqrt{t}} \quad (4\text{الف}) \quad (\text{ولت})$$

$$V_s = \frac{0.116(1000 + 6.3p)}{\sqrt{t}} \quad (4\text{ب}) \quad (\text{ولت})$$

از آنجائیکه $Rg1$ و $Rg2$ درحقیقت همان مقاومت زمین می‌باشد، روش فوق بسادگی توسط استفاده از الکترودهای مختلف زمین قابل حصول می‌باشد و بایستی بسته به موقعیت برج و ولتاژ آن به نحو مناسب صورت پذیرد. جدول ۱ انواع الکترودهای مختلف زمین و مقاومت ناشی از آنها را ارائه می‌نماید. همانطوریکه مشاهده می‌گردد، هر یک از این روشها به نوبه خود میتواند مقاومت زمین را کاهش دهد لیکن انتخاب نوع الکتروود زمین و میزان کاهش آن بایستی با توجه به عوامل حفاظتی و اقتصادی هر دو صورت پذیرد. زیرا هرچه مقاومت زمین کمتری مورد نیاز باشد، هزینه نصب الکترودها و وضعیت آنها گرانتر تمام می‌شود.

	Hemisphere, radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi a}$
	One ground rod, length L , radius a	$R = \frac{\rho}{2\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right)$
	Two ground rods, $s > L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} - 1 \right) + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{L^2}{3s^2} + \frac{2L^4}{5s^4} \dots \right)$
	Two ground rods, $s < L$; spacing s	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	Buried horizontal wire, length $2L$, depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \ln \frac{4L}{s} - 2 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	Right-angle turn of wire, length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} - 0.2373 + 0.2146 \frac{s}{L} + 0.1035 \frac{s^2}{L^2} - 0.0424 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Three-point star, length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{6\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 1.071 - 0.209 \frac{s}{L} + 0.238 \frac{s^2}{L^2} - 0.054 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Four-point star, length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 2.912 - 1.071 \frac{s}{L} + 0.645 \frac{s^2}{L^2} - 0.145 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Six-point star, length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{12\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 6.851 - 3.128 \frac{s}{L} + 1.758 \frac{s^2}{L^2} - 0.490 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Eight-point star, length of arm L , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{16\pi L} \left(\ln \frac{2L}{a} + \ln \frac{2L}{s} + 10.98 - 5.51 \frac{s}{L} + 3.26 \frac{s^2}{L^2} - 1.17 \frac{s^4}{L^4} \dots \right)$
	Ring of wire, diameter of ring D , diameter of wire d , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{2\pi^2 D} \left(\ln \frac{8D}{d} + \ln \frac{4D}{s} \right)$
	Buried horizontal strip, length $2L$, section a by b , depth $s/2$, $b < a/8$	$R = \frac{\rho}{4\pi L} \left(\ln \frac{4L}{a} + \frac{a^2 - \pi ab}{2(a+b)^2} + \ln \frac{4L}{s} - 1 + \frac{s}{2L} - \frac{s^2}{16L^2} + \frac{s^4}{512L^4} \dots \right)$
	Buried horizontal round plate, radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 - \frac{7}{12} \frac{a^2}{s^2} + \frac{33}{40} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$
	Buried vertical round plate, radius a , depth $s/2$	$R = \frac{\rho}{8a} + \frac{\rho}{4\pi s} \left(1 + \frac{7}{24} \frac{a^2}{s^2} + \frac{99}{320} \frac{a^4}{s^4} \dots \right)$

Approximate formulas, including effects of images. Dimensions must be in centimeters to give resistance in ohms. The symbol ρ is resistivity of earth in ohm-centimeters.

Source: From Dwight [25]. Used by permission. © 1936 IEEE.

۲- افزایش مقاومت مخصوص سطح خاک: افزایش مقاومت مخصوص خاک سبب افزایش مقاومت پاها و در کل بدن انسان گردیده و لذا ولتاژ تماسی و ولتاژ قدمی مجاز را با توجه به روابط (۴- الف) و (۴- ب) افزایش می دهد. این عمل بسادگی با پوشش سطح زمین توسط خاکهایی با مقاومت مخصوص بالا نظیر شن و ماسه و سنگریزه قابل انجام می باشد.

جدول ۲ مقاومت مخصوص انواع خاکها را نشان میدهد.

نوع زمین	مقاومت (اهم-متر)
آب دریا	۱-۰/۰۱
خاک آبدار	۱۰
خاک نمناک (زمین معمولی)	۱۰۰
خاک خشک	۱۰۰۰
سنگی	۱۰ ^۴
لایه صاف	۱۰ ^۷
سنگ ریگی	۱۰ ^۹
سنگ خردشده	۱/۵ × ۱۰ ^۸

۳- کاهش زمان عبور جریان: همانطوریکه از روابط (۱) و (۴) بر می آید، در صورتیکه زمان عبور جریان از بدن انسان کاهش یابد، بدن انسان تحمل ولتاژهای به مراتب زیادتری را دارا می باشد، لذا اگر زمان عملکرد رله های حفاظتی و کلیدهای موجود در شبکه کاهش یابد جریان خطا و بالطبع جریان گذرنده از بدن انسان سریعتر قطع شده و لذا احتمال خطر را کاهش می دهد. (در اینجا لازم به تذکر است کسه اگر فاصله بین دو شوک الکتریکی در انسان کمتر از ۵ دقیقه باشد، قلب نمی تواند به حالت عادی خود برگشته و در عمل این دو شوک سبب تقویت یکدیگر شده و لرنشهای دهلیزی قلب و طبیعتاً "احتمال سنگکوب قلبی را افزایش می دهند)

- تغییر فرکانس: همانطوریکه قبلاً نیز گفته شده بدن انسان در مقابل جریانهای با فرکانسهای پائینتر و بالاتر از حدود فرکانس ۵۰-۶۰ هرتز مقاومتی بوده به قسمی که بعنوان مثال برای جریان dc مقاومت آن ۵ برابر میگردد، لذا اگر بتوان با استفاده از اسیلاتورها فرکانس گذرنده از برج را افزایش و یا کاهش داد، میتوان احتمال برق گرفتگی را نیز کاهش داد.

متأسفانه این روش بسیار گرانقیمت بوده و صرفاً "قابل کاربرد در محل های خاص نظیر سایت های مخبراتی و راداری مناطق نظامی با کاربردهای خاص دارد.