www.powerjam.ir

در این رابطه $\varepsilon_0 = 8/85\times10^{-12}$ ضریب نفوذ الکتریکی[1] هوا می باشد.

dv_p پتانسیل نقطه p براثر بارهای الکتریکی qdz و -qdz روی دو هادی بوده و برابر است با:

$$dv_p = \frac{qdz}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{r_a^2+z^2}} - \frac{qdz}{4\pi\varepsilon_0\sqrt{r_b^2+z^2}}$$

پتانسیل نقطه p از انتگرال dv_p در طول هادی بدست می آید. اگر طول هر هادی را با 2L نشان دهیم انتگرال را می توان در فاصله L- تا L+ تعیین نمود و سپس با قرار دادن $L \to \infty$ پتانسیل الکتریکی نقطه p را بدست آورد:

$$V_p = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\int_{-L}^{L}\left(\frac{1}{\sqrt{r_a^2+z^2}} - \frac{1}{\sqrt{r_b^2+z^2}}\right)dz$$

$$V_p = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\ln\frac{\left(1+\sqrt{1+\left(\frac{r_a}{L}\right)^2}\right)\left(-1+\sqrt{1+\left(\frac{r_b}{L}\right)^2}\right)}{\left(1+\sqrt{1+\left(\frac{r_b}{L}\right)^2}\right)\left(-1+\sqrt{1+\left(\frac{r_a}{L}\right)^2}\right)} \qquad (3-71)$$

پس از بسط جملات نظیر $\sqrt{1+x} = 1+\frac{1}{2}x+\ldots$ و سپس با اعمال $L \to \infty$ و تعیین حد رابطه (۳-۷۱) خواهیم داشت:

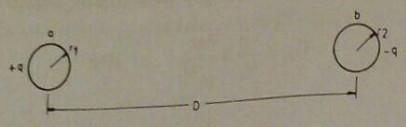
$$V_p = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_b}{r_a} \quad V \qquad (3-72)$$

۳-۱۸ کاپاسیتانس خط یک فاز

یک خط انتقال یک فاز شامل دو هادی با شعاع r_1 و r_2 را در نظر بگیرید. فاصله مراکز دو هادی از یکدیگر طبق شکل (۳-۲۴) مساوی D می باشد. پتانسیل V_a روی هادی a با قرار دادن $r_b = D$ و $r_a = r_1$ در رابطه (۳-۷۲) بدست می آید:

$$V_a = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D}{r_1} \qquad (3-73)$$

1. Permitivity



شکل ۳-۲۴ خط یک فاز دو سیمه

بهمین ترتیب برای هادی b با شعاع r_2 داریم:

$$V_b = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_2}{D} \qquad (3-74)$$

اختلاف پتانسیل بین دو هادی برابر است با:

$$V_{ab} = V_a - V_b = \frac{q}{\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D}{\sqrt{r_1 r_2}} \quad V \qquad (3-75)$$

کاپاسیتانس بین دو هادی طبق تعریف برابر است با نسبت بار الکتریکی روی یک هادی به اختلاف پتانسیل بین دو هادی. بنابراین:

$$C_{ab} = \frac{q}{V_{ab}} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{\sqrt{r_1 r_2}}} \quad F/m \qquad (3-76)$$

اگر $r_1 = r_2 = r$ باشد داریم:

$$C_{ab} = \frac{\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}} \quad F/m \qquad (3-77)$$

رابطه (۳-۷۷) کاپاسیتانس دو هادی را نسبت بیکدیگر نشان می دهد. کاپاسیتانس هادی a نسبت به نقطه خنثی (زمین) طبق رابطه زیر تعریف می شود:

$$C_{an} = \frac{q}{V_a} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r_1}} \quad F/m \qquad (3-78)$$

www.powerjam.ir

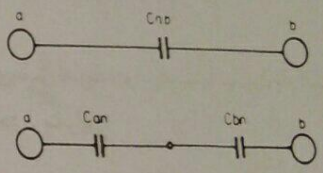
بهمین ترتیب کاپاسیتانس هادی b با در نظر گرفتن بار q- نسبت به نقطه خنثی برابر است با:

$$C_{bn} = \frac{-q}{V_b} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r_2}} \quad F/m \qquad (3-79)$$

برای $r_1 = r_2 = r$ داریم:

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D}{r}} \qquad (3-80)$$

این نتیجه با شکل (۲۵-۳) تطابق دارد که نشان می دهد کاپاسیتانس بین دو هادی C_{ab} از سری شدن C_{an} و C_{bn} بدست می آید. کاپاسیتانس بین دو هادی نصف کاپاسیتانس هر یک از هادیها نسبت به نقطه خنثی می باشد.



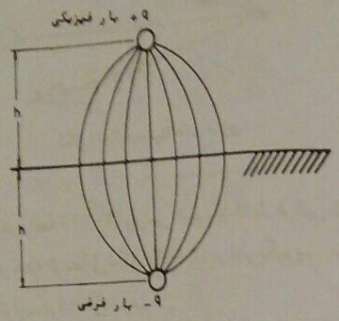
شکل ۲۵-۳ کاپاسیتانس بین دو هادی و کاپاسیتانس هر هادی با نقطه خنثی

رابطه (۸۰-۳) قابل مقایسه با رابطه (۶۶-۳) می باشد. یک فرق اساسی بین معادلات بدست آمده برای محاسبه کاپاسیتانس و اندوکتانس در این است که شعاع r برای محاسبه کاپاسیتانس، شعاع خارجی هادی است، در صورتیکه در محاسبه اندوکتانس از GMR هادی استفاده می شود. شعاع خارجی هادی بر حسب اینچ از جدول (۱-۳) برای انواع هادیهای ACSR بدست می آید.

۱۹-۳ اثر زمین بر کاپاسیتانس خطوط

در رابطه (۸۰-۳) از تاثیر زمین بر روی کاپاسیتانس صرفنظر کرده ایم. در صورتیکه ارتفاع هادیها از سطح زمین خیلی زیاد نباشد حضور زمین باید تاثیر داده شود. اگر بار الکتریکی q به ارتفاع h از سطح زمین قرار گرفته باشد تصویر فرضی آن با بار الکتریکی q- در ارتفاع h-

از سطح زمین مطابق شکل (۲۶-۳) در نظر گرفته می شود. سطح پتانسیل صفر در وسط بارهای q+ و q- قرار خواهد گرفت و در حقیقت زمین بعنوان صفحه هادی به ابعاد بی نهایت عمل می کند.



شکل ۲۶-۳ بار الکتریکی q و تاثیر زمین

بنابراین برای تاثیر زمین در تعیین کاپاسیتانس خطوط برای هر بار فیزیکی q+ بار فرضی q- را بصورت قرینه q+ نسبت به زمین در نظر گرفته و در محاسبات وارد می کنیم.

۲۰-۳ پتانسیل یک نقطه در نزدیکی چند هادی موازی

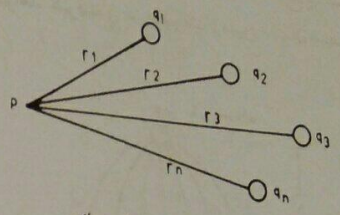
همانطوریکه در قسمت (۱۷-۳) دیدیم پتانسیل الکتریکی نقطه p که به فواصل r_1 و r_2 از هادیهای موازی ۱ و ۲ قرار دارد به این ترتیب محاسبه می شود:

$$V_p = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{r_2}{r_1} = \frac{q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{r_1} + \frac{-q}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{r_2} \qquad (3-81)$$

شکل (۲۷-۳) یک سیستم با n هادی موازی بسیار بلند را نشان می دهد. بار الکتریکی این هادیها بترتیب برابر $q_1, q_2, \ldots, q_n$ می باشد. پتانسیل الکتریکی نقطه ای مانند p که در فاصله $r_1, r_2, \ldots, r_n$ از هادیها قرار دارد برابر است با:

$$V_p = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{r_1} + \frac{q_2}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{r_2} + \ldots + \frac{q_n}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{r_n} \qquad (3-82)$$

www.powerjam.ir

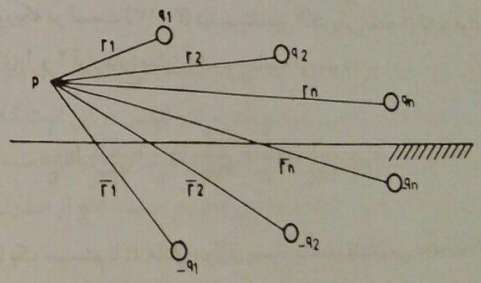


شکل ۲۷-۳ سیستم n هادی موازی

اگر بخواهیم اثر زمین را در رابطه (۸۲-۳) بررسی کنیم باید n بار فرضی $-q_1$ و $-q_2,\ldots,-q_n$ را در فواصل $\bar{r}_1,\bar{r}_2,\ldots,\bar{r}_n$ از نقطه p مطابق شکل (۲۸-۳) در نظر بگیریم. در اینصورت پتانسیل الکتریکی نقطه p به این ترتیب نوشته می شود:

$$V_p = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{1}{r_1} + \frac{q_2}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{1}{r_2} + \ldots + \frac{q_n}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{1}{r_n} \qquad (۳-۸۳)$$

$$+\frac{-q_1}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{1}{\bar{r}_1} + \frac{-q_2}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{1}{\bar{r}_2} + \ldots + \frac{-q_n}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{1}{\bar{r}_n}$$



شکل ۲۸-۳ سیستم n هادی موازی و تاثیر زمین

$$V_p = \frac{q_1}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{\bar{r}_1}{r_1} + \frac{q_2}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{\bar{r}_2}{r_2} + \ldots + \frac{q_n}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{\bar{r}_n}{r_n} \qquad (۳-۸۴)$$

خط یک فاز شامل دو هادی موازی a و b در شکل (۲۹-۳) نشان داده شده است.

برای تاثیر دادن نقش زمین در کاپاسیتانس خط، هادیهای فرضی a′ و b′ را در فاصله h از زمین در نظر می گیریم. ولتاژ فاز a طبق رابطه (۸۴-۳) برابراست با:

$$V_a = \frac{q}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{2h}{r} + \frac{-q}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{D_{ab'}}{D}$$

$$V_a = \frac{q}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{2h}{r}\,\frac{D}{\sqrt{D^2+4h^2}}$$

$$V_a = \frac{q}{2\pi\varepsilon_\circ}\ln\frac{D}{r\sqrt{1+\frac{D^2}{4h^2}}} \qquad (۳-۸۵)$$

و از آنجا کاپاسیتانس C_n از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_n = C_{an} = C_{bn} = \frac{2\pi\varepsilon_\circ}{\ln\frac{D}{r'}} \quad F/m \qquad (۳-۸۶)$$

مقایسه این رابطه با رابطه (۸۰-۳) نشان می دهد که r′ جایگزین شعاع هادی r شده است. مقدار r′ از این رابطه تعیین می شود:

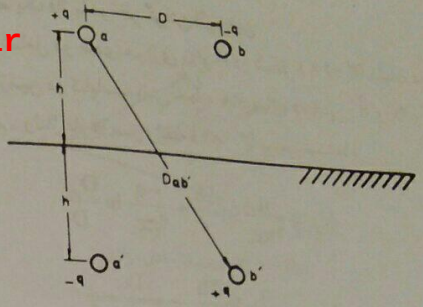
$$r' = r\sqrt{1+\frac{D^2}{4h^2}} \qquad (۳-۸۷)$$

بنابراین اثر زمین شعاع r را به r′ تبدیل می نماید. اگر ارتفاع هادی در مقایسه با فاصله دو هادی خیلی زیاد باشد از D^2 در مقایسه با $4h^2$ صرفنظر شده و $r' = r$ خواهد شد.

کاپاسیتانس بین دو هادی خط یک فاز نیز با در نظر گرفتن اثر زمین این چنین محاسبه می شود:

$$C_{ab} = \frac{\pi\varepsilon_\circ}{\ln\frac{D}{r'}} \quad F/m \qquad (۳-۸۸)$$

www.powerjam.ir



شکل ۲۹-۳ خط یک فاز با در نظر گرفتن تاثیر زمین

مثال ۷-۳ کاپاسیتانس یک فاز نسبت به نقطه خنثی را برای یک خط یک فاز با هادیهای Pheasant حساب کنید. فاصله دو هادی از یکدیگر ۵m و ارتفاع آنها از زمین ۲۰m می باشد.

حل: ابتدا با توجه به جدول (۱-۳) قطر خارجی هادی را بدست آورده و از آنجا شعاع هادی را محاسبه می کنیم:

$$r = ۱/۳۸۲ \times \frac{۱}{۲} \times ۰/۰۲۵۴ = ۰/۰۱۷۵۵ \quad m$$

$$r' = r\sqrt{۱+\frac{D^۲}{۴h^۲}} = ۰/۰۱۷۵۵\sqrt{۱+\frac{۵^۲}{۴\times ۲۰^۲}} = ۰/۰۱۷۶۹ \quad m$$

$$C_n = \frac{۲\pi\varepsilon_۰}{\ln\frac{D}{r'}} = \frac{۲\pi\times ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}}{\ln\frac{۵}{۰/۰۱۷۶۹}} = ۹/۸۵۲\times ۱۰^{-۱۲} \quad F/m$$

اگر اثر زمین را در نظر نگیریم داریم:

$$C_n = \frac{۲\pi\varepsilon_۰}{\ln\frac{D}{r}} = \frac{۲\pi\times ۸/۸۵\times ۱۰^{-۱۲}}{\ln\frac{۵}{۰/۰۱۷۵۵}} = ۹/۸۳۸\times ۱۰^{-۱۲} \quad F/m$$

خطای نسبی با صرفنظر کردن از تاثیر زمین برابر است با:

$$\frac{۹/۸۵۲-۹/۸۳۸}{۹/۸۵۲} = ۰/۰۰۱۴۲ = \%۰/۱۴۲$$

۳-۲۲ کاپاسیتانس خط انتقال سه فاز

کاپاسیتانس خط انتقال سه فاز را در حالت کلی که فاصله فازها از یکدیگر مساوی نبوده و جابجائی فازها در سه طول مساوی در خط انجام شده است مورد بررسی قرار می دهیم. با استفاده از شکل (۱۴-۳) پتانسیل الکتریکی فاز a را می نویسیم:

$$V_{a_I} = \frac{q_a}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{r} + \frac{q_b}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{D_{۱۲}} + \frac{q_c}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{D_{۱۲}}$$

$$V_{a_{II}} = \frac{q_a}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{r} + \frac{q_b}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{D_{۲۳}} + \frac{q_c}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{D_{۱۲}}$$

$$V_{a_{III}} = \frac{q_a}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{r} + \frac{q_b}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{D_{۱۲}} + \frac{q_c}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{۱}{D_{۲۳}}$$

در این روابط r شعاع هادیها و q_a و q_b و q_c نیز بار الکتریکی هادیهای فازهای a و b و c می باشند. پتانسیل V_a به این ترتیب محاسبه می شود:

$$V_a = \frac{۱}{۳}\left(V_{a_I} + V_{a_{II}} + V_{a_{III}}\right)$$

$$V_a = \frac{۱}{۲\pi\varepsilon_۰}\left(q_a\ln\frac{۱}{r} + (q_b+q_c)\ln\frac{۱}{\sqrt[۲]{D_{۱۲}D_{۲۳}D_{۱۳}}}\right)$$

با توجه به اینکه $q_b + q_c = -q_a$ می باشد داریم:

$$V_a = \frac{q_a}{۲\pi\varepsilon_۰}\ln\frac{\sqrt[۲]{D_{۱۲}D_{۲۳}D_{۱۳}}}{r} \qquad (۳-۸۹)$$

www.powerjam.ir

کاپاسیتانس فاز a نسبت به نقطه خنثی از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_{an} = \frac{q_a}{V_a}$$

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{r}} \quad F/m \qquad (۳-۹۰)$$

در این رابطه D_{eq} بترتیب زیر بدست می آید:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}} \qquad (۳-۹۱)$$

و این همان فاصله متوسط هندسی (GMD) است که در محاسبه اندوکتانس نیز داشتیم. بدیهی است در صورتیکه فاصله فازها با یکدیگر برابر باشد، بجای D_{eq} از فاصله فازها D استفاده می شود.

۳-۲۳ کاپاسیتانس خط سه فاز با در نظر گرفتن اثر زمین

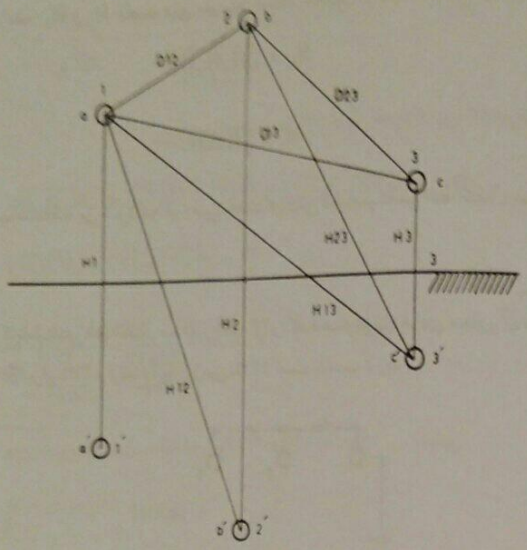
با استفاده از تصاویر بارهای الکتریکی می توان اثر زمین را در تعیین کاپاسیتانس خط انتقال سه فاز بررسی نمود. شکل (۳-۳۰) هادیهای خط انتقال سه فاز را در قسمت I از سیکل جابجائی فازها نشان می دهد. تصاویر آینه ای بارهای q_a و q_b و q_c بترتیب با $-q_a$، $-q_b$ و $-q_c$ نشان داده شده اند. با توجه به رابطه (۳-۸۴) ولتاژ فاز a را می توان به این ترتیب نوشت:

$$V_{a_I} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(q_a \ln\frac{H_1}{r} + q_b \ln\frac{H_{12}}{D_{12}} + q_c \ln\frac{H_{12}}{D_{12}}\right)$$

در قسمت II و III از جابجائی خواهیم داشت:

$$V_{a_{II}} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(q_a \ln\frac{H_2}{r} + q_b \ln\frac{H_{23}}{D_{23}} + q_c \ln\frac{H_{12}}{D_{12}}\right)$$

$$V_{a_{III}} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(q_a \ln\frac{H_2}{r} + q_b \ln\frac{H_{12}}{D_{12}} + q_c \ln\frac{H_{23}}{D_{23}}\right)$$



شکل ۳۰-۳ خط سه فاز با در نظر گرفتن اثر زمین

ولتاژ متوسط فاز a برابر است با:

$$V_a = \frac{1}{3}\left(V_{a_I} + V_{a_{II}} + V_{a_{III}}\right)$$

با جایگزین کردن $q_b + q_c = -q_a$ خواهیم داشت:

$$V_a = \frac{q_a}{2\pi\varepsilon_0}\ln\left(\frac{D_{eq}}{r}\sqrt[3]{\frac{H_1 H_2 H_3}{H_{12}H_{23}H_{13}}}\right) \qquad (۳-۹۲)$$

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\left(\frac{D_{eq}}{r}\sqrt[3]{\frac{H_1 H_2 H_3}{H_{12}H_{23}H_{13}}}\right)} \quad F/m \qquad (۳-۹۳)$$

این رابطه را می توان بصورت زیر نوشت:

$$C_{an} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{r} - \ln\frac{H_m}{H_s}} \quad F/m \qquad (۳-۹۴)$$

www.powerjam.ir

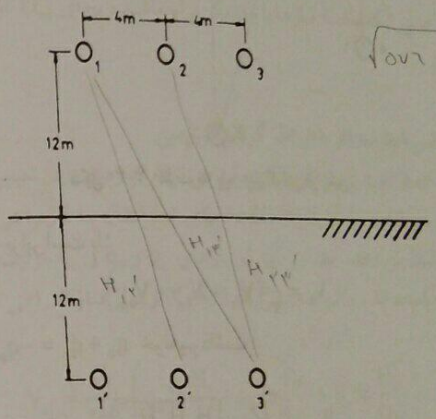
در این رابطه H_m و H_s فاصله های متوسط هستند که باین ترتیب محاسبه می شوند:

$$H_m = \sqrt[3]{H_{12}H_{23}H_{13}}$$

$$H_s = \sqrt[3]{H_1H_2H_3} \qquad (۳-۹۵)$$

به این ترتیب مشاهده می شود که اثر زمین باعث افزایش کاپاسیتانس خط انتقال سه فاز می گردد.

مثال ۸-۳ کاپاسیتانس خط انتقال سه فاز ۲۳۰KV را که فاصله هر دو هادی مجاور آن مطابق شکل (۳۱-۳) برابر ۴m و ارتفاع آنها از زمین ۱۲m است بدست آورید.



شکل ۳۱-۳ مربوط به مثال (۸-۳)

شعاع هادیها از نوع Pheasant برابر ۱/۷۵۵cm می باشد. جریان کاپاسیتیو خط را نیز محاسبه کنید.

حل: ابتدا کاپاسیتانس خط را بدون در نظر گرفتن اثر زمین محاسبه می کنیم:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{۴\times۴\times۸} = ۵/۲۴ \quad m$$

$$C = \frac{۲\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{r}} = \frac{۲\pi\times۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}}{\ln\frac{۵/۲۴}{۰/۰۱۷۵۵}} = ۹/۸۲۴\times۱۰^{-۱۲} \quad F/m$$

حال کاپاسیتانس را با در نظر گرفتن اثر زمین بدست می آوریم:

$$H_m = \sqrt[3]{H_{12}H_{23}H_{13}} = \sqrt[3]{۲۴/۳۳\times۲۴/۳۳\times۲۵/۳} = ۲۴/۶۵ \quad m$$

$$H_s = \sqrt[3]{H_1H_2H_3} = \sqrt[3]{۲۴\times۲۴\times۲۴} = ۲۴ \quad m$$

$$C = \frac{۲\pi\times۸/۸۵\times۱۰^{-۱۲}}{\ln\frac{۵/۲۴}{۰/۰۱۷۵۵} - \ln\frac{۲۴/۶۵}{۲۴}} = ۹/۸۷۱\times۱۰^{-۱۲} \quad F/m$$

$$Y_c = j\omega c = j\times۲\pi\times۵۰\times۹/۸۷۱\times۱۰^{-۱۲} = j۳/۱۰۱\times۱۰^{-۹} \quad \mho/m$$

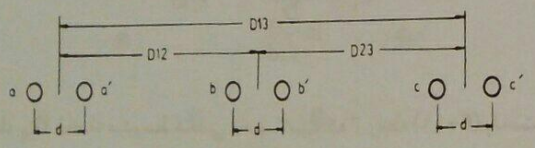
$$Y_c = j۳/۱۰۱\times۱۰^{-۶} \quad \mho/Km$$

$$I_a = j\omega c V_{an} = Y_c V_{an} = j۳/۱۰۱\times۱۰^{-۶}\times\frac{۲۳۰}{\sqrt{۳}}\times۱۰^{۳} = j۰/۴۱۱۸ \quad A/Km$$

به این ترتیب جریان خازنی (کاپاسیتیو) خط ۰/۴۱۱۸A/Km است. برای تعیین جریان کاپاسیتیو کل خط، این مقدار باید در طول خط بر حسب Km ضرب شود.

۳-۲۴ کاپاسیتانس خطوط با هادیهای باندل

شکل (۳۲-۳) خطی با هادیهای گروهی (باندل) را نشان می دهد که هر باندل آن دارای دو رشته هادی می باشد. با محاسبه V_a (ولتاژ فاز a) می توان کاپاسیتانس هر فاز چنین خطی را محاسبه نمود. اگر بارالکتریکی در فاز a را با q_a نشان دهیم، هادی های a و a′ هر



شکل ۳۲-۳ خط سه فاز با هادی های باندل دو رشته ای

www.powerjam.ir

کدام دارای باری معادل $\frac{q_a}{2}$ خواهند بود. این ترتیب را در فازهای b و c نیز خواهیم

برای محاسبه ولتاژ فاز a نسبت به نقطه خنثی در سه قسمت I و II و III از سیکل جابجائی فازها داریم:

$$V_{a_I} = \frac{\frac{1}{2}q_a}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{r} + \frac{\frac{1}{2}q_a}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{d} + \frac{\frac{1}{2}q_b}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{D_{12}}$$

$$+\frac{\frac{1}{2}q_b}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{D_{12}} + \frac{\frac{1}{2}q_c}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{D_{12}} + \frac{\frac{1}{2}q_c}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{1}{D_{12}}$$

$$V_{a_I} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(q_a\ln\frac{1}{\sqrt{rd}} + q_b\ln\frac{1}{D_{12}} + q_c\ln\frac{1}{D_{12}}\right)$$

$$V_{a_{II}} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(q_a\ln\frac{1}{\sqrt{rd}} + q_b\ln\frac{1}{D_{23}} + q_c\ln\frac{1}{D_{12}}\right)$$

$$V_{a_{III}} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(q_a\ln\frac{1}{\sqrt{rd}} + q_b\ln\frac{1}{D_{13}} + q_c\ln\frac{1}{D_{23}}\right)$$

با توجه به روابط $V_a = \frac{1}{3}\left(V_{a_I} + V_{a_{II}} + V_{a_{III}}\right)$ و $q_b + q_c = -q_a$ داریم:

$$V_a = \frac{q_a}{2\pi\varepsilon_0}\ln\frac{D_{eq}}{\sqrt{rd}} \qquad (3-96)$$

و لذا کاپاسیتانس فاز a نسبت به نقطه خنثی برابر است با:

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{\sqrt{rd}}} \quad F/m \qquad (3-97)$$

در این رابطه D_{eq} فاصله متوسط هندسی هادیها است که از رابطه (۳-۹۱) بدست می آید. مقایسه رابطه (۳-۹۷) با رابطه (۳-۹۰) نشان می دهد که $\sqrt{rd}$ جانشین r شده است.

$\sqrt{rd}$ را می توان $D^b_{s_c}$ خط باندل برای محاسبه کاپاسیتانس نامید. تفاوت $D^b_{s_c}$ در این حالت با D^b_s که برای محاسبه اندوکتانس بکار می رود این است که در محاسبه کاپاسیتانس برای تعیین $D^b_{s_c}$ (شعاع متوسط هندسی) بجای D_s هادی از r استفاده می شود که r در اینجا شعاع خارجی هادی است. بنابراین معادله تعیین کاپاسیتانس خط سه فاز به این صورت نوشته می شود:

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{D^b_{s_c}}} \quad F/m \qquad (3-98)$$

شعاع متوسط هندسی (GMR) برای تعیین کاپاسیتانس خطوط انتقال سه فاز با هادیهای باندل بترتیب زیر محاسبه می شود.

$$D^b_{s_c} = \sqrt{rd} \qquad \text{هادی باندل دو رشته ای}$$

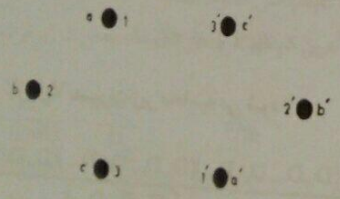
$$D^b_{s_c} = \sqrt[3]{rd^2} \qquad \text{هادی باندل سه رشته ای} \qquad (3-99)$$

$$D^b_{s_c} = 1/09\sqrt[4]{rd^3} \qquad \text{هادی باندل چهار رشته ای}$$

۳-۲۵ کاپاسیتانس خطوط سه فاز دو مداره

در یک خط سه فاز دو مداره می توان کاپاسیتانس هر فاز یک مدار را بدست آورد و با تقریب نسبتاً قابل قبول آنرا دو برابر نمود تا کاپاسیتانس خط دوبل بدست آید. در هر صورت اگر دو مدار خط انتقال روی یک دکل قرار گرفته باشند بهتر است برای دقت بیشتر تاثیر مدارها را بر یکدیگر بررسی نمود.

در شکل (۳-۳۳) یک خط انتقال سه فاز دو مداره در قسمت I از سیکل جابجائی فازها نشان داده شده است.



شکل ۳-۳۳ خط سه فاز دو مداره در قسمت I از جابجائی فازها

www.powerjam.ir

ولتاژ فازهای a و a′ را می توان به این صورت نوشت:

$$V_{a_I} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{2}q_a \ln\frac{1}{r} + \frac{1}{2}q_b \ln\frac{1}{D_{12}} + \frac{1}{2}q_c \ln\frac{1}{D_{12}}\right)$$

$$+\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{2}q_a \ln\frac{1}{D_{12}} + \frac{1}{2}q_b \ln\frac{1}{D_{12'}} + \frac{1}{2}q_c \ln\frac{1}{D_{13'}}\right)$$

$$V_{a'_I} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{2}q_a \ln\frac{1}{r} + \frac{1}{2}q_b \ln\frac{1}{D_{12'}} + \frac{1}{2}q_c \ln\frac{1}{D_{13'}}\right)$$

$$+\frac{1}{2\pi\varepsilon_0}\left(\frac{1}{2}q_a \ln\frac{1}{D_{12}} + \frac{1}{2}q_b \ln\frac{1}{D_{23'}} + \frac{1}{2}q_c \ln\frac{1}{D_{23'}}\right)$$

بهمین ترتیب با توجه به قسمت های II و III از سیکل جابجائی فازها (شکل های ۱۹-۳ و ۲۰-۳) می توان $V_{a_{II}}$ و $V_{a'_{II}}$ و $V_{a_{III}}$ و $V_{a'_{III}}$ را نوشت و سپس با استفاده از روابط زیر V_{an} را محاسبه نمود:

$$V_a = \frac{1}{3}\left(V_{a_I} + V_{a_{II}} + V_{a_{III}}\right)$$

$$V_{a'} = \frac{1}{3}\left(V_{a'_I} + V_{a'_{II}} + V_{a'_{III}}\right)$$

$$V_{an} = \frac{1}{2}\left(V_a + V_{a'}\right)$$

$$q_b + q_c = -q_a$$

پس از انجام عملیات لازم V_{an} بصورت زیر محاسبه می شود:

$$V_{an} = \frac{q_a}{12(2\pi\varepsilon_0)} \ln \frac{(D_{12}D_{23'}D_{12}D_{12'})(D_{23}D_{23'}D_{23}D_{23'})(D_{13}D_{23}D_{12}D_{13'})}{r^5(D_{12}D_{23'}D_{33'})} \quad (3-100)$$

پیدا کاپاسیتانس هر فاز خط دو مداره برابر است با:

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{GMD}{GMR}} \quad F/m \quad (3-101)$$

فاصله متوسط هندسی (GMD) خط سه فاز دو مداره بترتیب زیر تعریف می شود:

$$GMD = \sqrt[9]{D_{ab_{eq}} D_{bc_{eq}} D_{ac_{eq}}} \quad (3-102)$$

$$D_{ab_{eq}} = \sqrt[4]{D_{11}D_{12'}D_{21}D_{22'}} \quad (3-103)$$

$$D_{bc_{eq}} = \sqrt[4]{D_{22}D_{23'}D_{32}D_{23'}} \quad (3-104)$$

$$D_{ac_{eq}} = \sqrt[4]{D_{13}D_{13'}D_{31}D_{33'}} \quad (3-105)$$

شعاع متوسط هندسی GMR نیز مطابق زیر محاسبه می شود:

$$GMR = \sqrt[9]{r_a\, r_b\, r_c} \quad (3-106)$$

$$r_a = \sqrt{r\, D_{11'}} \quad (3-107)$$

$$r_b = \sqrt{r\, D_{22'}} \quad (3-108)$$

$$r_c = \sqrt{r\, D_{33'}} \quad (3-109)$$

۳-۲۶ خلاصه محاسبه کاپاسیتانس خطوط انتقال

رابطه اصلی تعیین کاپاسیتانس خطوط انتقال بصورت زیر نوشته می شود:

$$C_n = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{GMD}{GMR}} = \frac{2\pi\varepsilon_0}{\ln\frac{D_{eq}}{D_{s_c}}} \quad F/m \quad (3-110)$$

سساسپتانس خازنی B_c بر حسب Ω/Km در فرکانس ۵۰Hz نیز از ضرب کردن مقدار

www.powerjam.ir

کاپاسیتانس در $\omega = 2\pi \times 50$ و متعاقباً در ۱۰۰۰ بدست می آید:

$$B_c = \frac{1/747 \times 10^{-5}}{\ln \frac{D_{eq}}{D_{s_c}}} \quad \mho/Km \qquad (3-111)$$

راکتانس خازنی X_c نیز بر حسب $\Omega.Km$ به این ترتیب محاسبه می شود:

$$X_c = \frac{1}{B_c} = 5/724 \times 10^{4} \ln \frac{D_{eq}}{D_{s_c}} \quad \Omega.Km \qquad (3-112)$$

برای استفاده از روابط (۱۱۰-۳) تا (۱۱۲-۳) حالت های مختلف زیر را در نظر می گیریم:

الف: خط انتقال یک فاز. در این صورت D_{eq} فاصله بین دو هادی خط بوده و D_{s_c} نیز شعاع خارجی هادی یعنی r می باشد. کاپاسیتانس بدست آمده، کاپاسیتانس هر یک از هادیها نسبت به نقطه خنثی می باشد و کاپاسیتانس بین دو هادی نصف کاپاسیتانس هر هادی نسبت به نقطه خنثی است.

ب: خط انتقال سه فاز. در این حالت D_{eq} فاصله متوسط هندسی از رابطه زیر بدست می آید:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{12}D_{23}D_{13}} \qquad (3-113)$$

ج: خط سه فاز با هادیهای باندل. در این صورت بجای D_{s_c} باید از $D^b_{s_c}$ استفاده نمود و D_{eq} نیز از رابطه (۱۱۳-۳) بدست می آید که در اینجا D_{12} و D_{23} و D_{13} فاصله مراکز باندلها از یکدیگر می باشند.

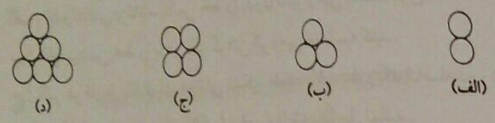
د: خط انتقال سه فاز دو مداره. در این صورت با تقریب قابل قبولی می توان کاپاسیتانس خط یک مداره را دو برابر کرد و برای محاسبه دقیق تر باید $D_{ab_{eq}}$ $D_{bc_{eq}}$ و $D_{ac_{eq}}$ را با استفاده از روابط (۱۰۳-۳) تا (۱۰۵-۳) تعیین نمود و سپس D_{eq} یا GMD را به این ترتیب محاسبه نمود:

$$D_{eq} = \sqrt[3]{D_{ab_{eq}} D_{bc_{eq}} D_{ac_{eq}}} \qquad (3-114)$$

همچنین باید GMR خط دو مداره را با استفاده از روابط (۱۰۶-۳) تا (۱۰۹-۳) محاسبه نمود تا بتوان از رابطه (۱۱۰-۳) کاپاسیتانس خط دو مداره را بدست آورد. در خطوط سه فاز دو مداره باندل نیز مطابق فوق عمل می کنیم و تنها باید بجای r از $D^b_{s_c}$ استفاده نمود.

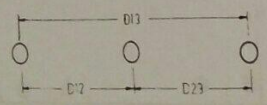
مسائل فصل سوم

۳-۱ برای هر یک از هادیهای رشته ای شکل (۳۴-۳) شعاع متوسط هندسی (GMR) را بر حسب شعاع هر رشته r بدست آورید.



شکل ۳۴-۳ مربوط به مساله (۱-۳)

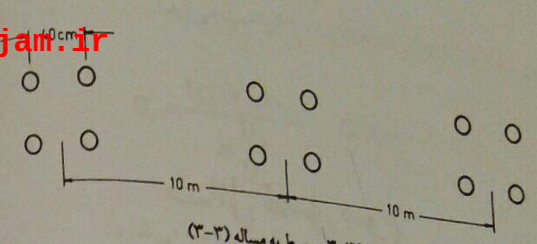
۳-۲ در یک خط انتقال سه فاز فاصله هادیهای سه فاز با یکدیگر مساوی بوده و مقدار آن $D = 5\ m$ می باشد. اگر بخواهیم خط انتقال را بصورت افقی مطابق شکل (۳۵-۳) طراحی نمائیم، فاصله هادیهای مجاور چقدر باشد تا اندوکتانس حاصله با اندوکتانس خط سه فاز اولیه برابر باشد. $(D_{12} = D_{23})$



شکل ۳۵-۳ مربوط به مساله (۲-۳)

۳-۳ در خط سه فاز ۷۶۵KV مطابق شکل (۳۶-۳) از هادیهای باندل از نوع Pheasant استفاده شده است. اندوکتانس، کاپاسیتانس و جریان خازنی خط را در فرکانس ۶۰HZ بدست آورید.

www.powerjam.ir



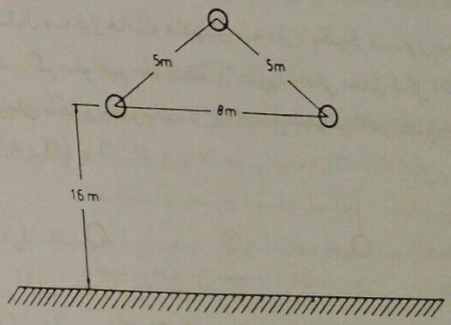
شکل ۳۶-۳ مربوط به مساله (۳-۳)

۳-۴ خط انتقال سه فازی مطابق شکل (۳۷-۳) دارای آرایش هادیهائی بصورت مثلث می باشد. هادیها از نوع Cardinal می باشند.

الف: اندوکتانس و کاپاسیتانس خط را بدون تاثیر زمین بدست آورید.

ب: کاپاسیتانس خط را با در نظر گرفتن اثر زمین محاسبه کنید.

ج: اگر هر فاز از باندلهای دوتائی تشکیل شده باشد بطوریکه فاصله دو رشته در هر باندل $d = 30\ cm$ باشد قسمت های (الف) و (ب) را مجدداً حل نمائید.

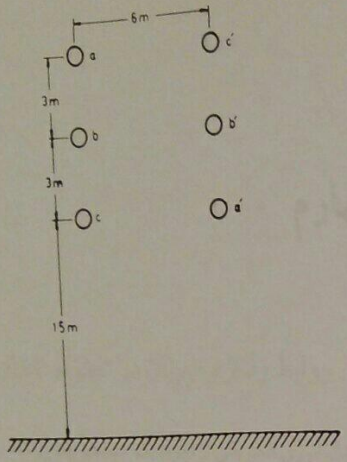


شکل ۳۷-۳ مربوط به مساله (۴-۳)

۳-۵ در یک خط سه فاز دو مداره از هادیهای Drake استفاده شده است. فاصله بین هادیها و ارتفاع آنها مطابق شکل (۳۸-۳) مشخص شده است.

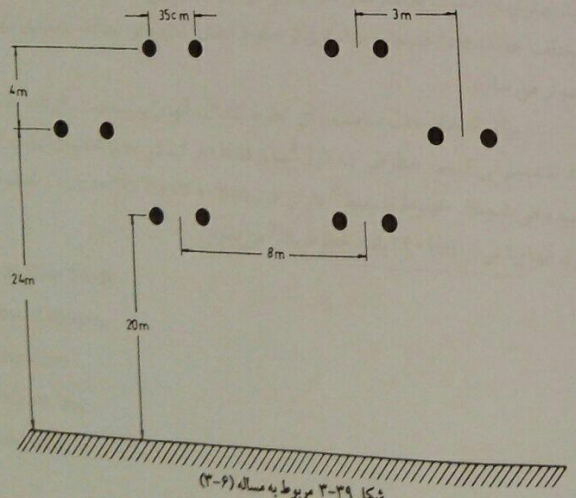
الف: اندوکتانس و راکتانس القائی خط را محاسبه کنید.

ب: کاپاسیتانس و ساسپتانس خط را محاسبه نمائید.



شکل ۳۸-۳ مربوط به مساله (۵-۳)

۳-۶ یک خط انتقال سه فاز دو مداره باندل که هر باندل آن دارای دو رشته است در شکل (۳۹-۳) نشان داده شده است. هادیها از نوع Pheasant هستند. اندوکتانس و کاپاسیتانس خط را محاسبه کنید (از اثر زمین صرفنظر کنید).



شکل ۳۹-۳ مربوط به مساله (۶-۳)