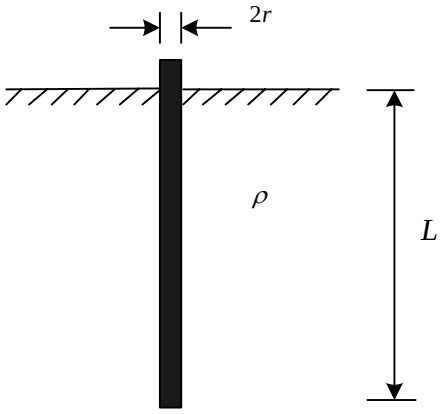
ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินปกติในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินปกติในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} \times \left\{ \ln \frac{2L}{r} \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1 + \left(\frac{r}{2L} \right)^2} \right\}$$

เมื่อ L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

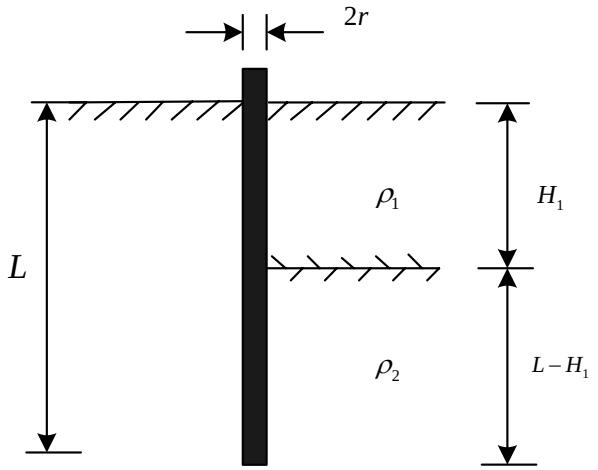
กำหนดให้ $\rho = 500\ \Omega - m$, $L = 3\ m.$, $r = 0.00625\ \ m.$

แทนค่าลงในสมการ

$$R = \frac{500}{2\pi(3)} \times \left\{ \ln \frac{2(3)}{(0.00625)} \left[1 + \sqrt{1 + \left(\frac{0.00625}{2(3)} \right)^2} \right] + \left(\frac{0.00625}{2(3)} \right) - \sqrt{1 + \left(\frac{0.00625}{2(3)} \right)^2} \right\}$$

$R = 337.975\ \ \Omega$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินปกติในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินปกติในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{k=1}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

ดังนั้นเมื่อพื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_2}{2\pi\left[\left(H_1\rho_2\right)+\left(L-H_1\right)\rho_1\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

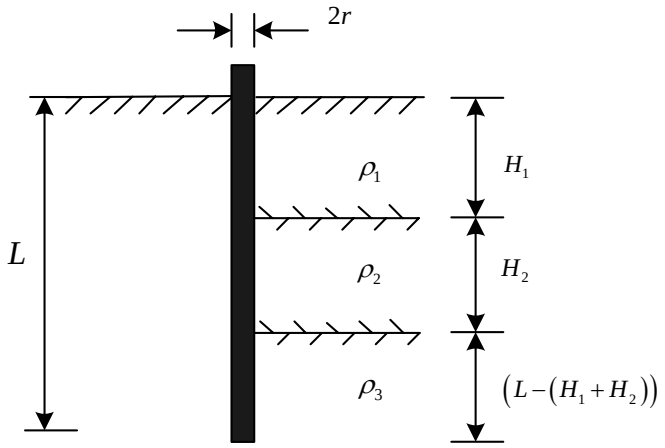
กำหนดให้ $\rho_1=500\ \ \Omega-m$, $\rho_2=200\ \ \Omega-m$, $H_1=1.5\ m.$, $L=3\ m.$, $r=0.00625\ \ m.$

แทนค่าลงในสมการ

$$R=\frac{\left(500\right)\left(200\right)}{2\pi\left[\left(1.5\times200\right)+\left(3-1.5\right)500\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2\left(3\right)}{\left(0.00625\right)}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2\left(3\right)}\right)^2}\right]+\frac{\left(0.00625\right)}{2\left(3\right)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2\left(3\right)}\right)^2}\right\}$$

$R=193.129\quad\Omega$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินปกติในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินปกติในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{k=1}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

ดังนั้นเมื่อพื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\rho_1\rho_2\rho_3}{2\pi\left[\left(H_1\rho_2\rho_3\right)+\left(H_2\rho_1\rho_3\right)+\left(L-\left(H_1+H_2\right)\right)\rho_1\rho_2\right]}$$

$$\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นกลาง (โอห์ม-เมตร)

ρ_3 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

H_2 คือ ค่าความสูงของดินชั้นกลาง (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนดให้ $\rho_1 = 1000\ \ \Omega - m$, $\rho_2 = 500\ \ \Omega - m$, $\rho_3 = 300\ \Omega - m$, $H_1 = 1\ m.$, $H_2 = 1\ m.$

$L = 3\ \ m.$, $r = 0.00625\ \ m.$

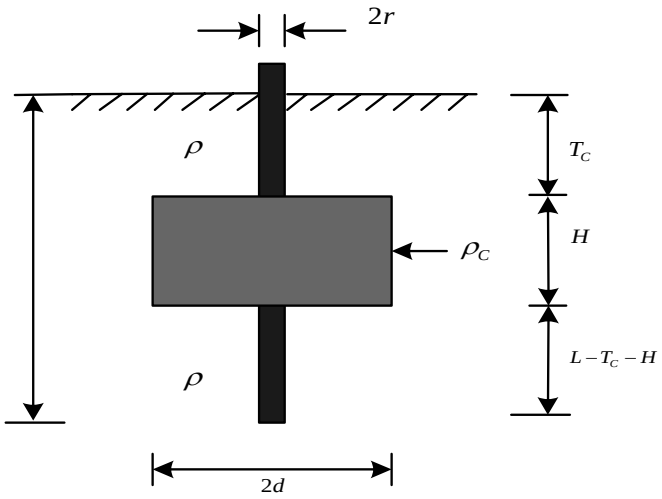
แทนค่าลงในสมการ

$$R = \frac{(1000)(500)(300)}{2\pi\left[(1\times 200\times 100)+(1\times 500\times 100)+(3-(1+1))500\times 200\right]}$$

$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$R = 320.187\ \ \Omega$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่มีตัวลดความต้านทานห่อหุ้มแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินที่มีตัวลดความต้านทานห่อหุ้มแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho\rho_c}{2\pi\left[H\rho+(L-H)\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$
$$+\frac{\rho(\rho-\rho_c)H}{2\pi L\left[H\rho+(L-H)\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ ρ คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดิน (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

H คือ ค่าความสูงของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนดให้ $\rho = 500\ \ \Omega - m$, $\rho_C = 4.6\ \ \Omega - m, d = 1.2\ m.\ H = 1.2\ H = 1.2, L = 3\ \ m.$

$r = 0.00625\quad m.$

แทนค่าลงในสมการ

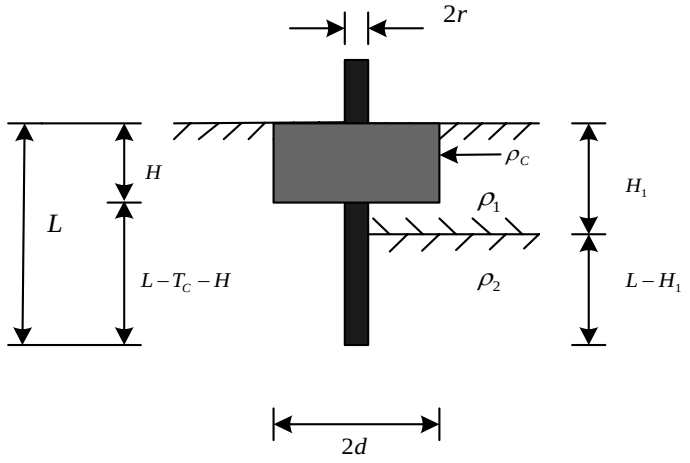
$$R = \frac{(500)(4.6)}{2\pi\left[(1.2\times 500)+(3-1.2)4.6\right]} \times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{500(500-4.6)1.2}{2\pi(3)\left[(1.2\times 500)+(3-1.2)4.6\right]}\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$R = 58.504\quad \Omega$

*ในกรณีที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินแต่ละชั้นสม่ำเสมอ ตำแหน่งของตัวลดความต้านทานไม่มีผลกับการคำนวณหาค่าความต้านทาน

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านบนของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มตัวลดความต้านทานบริเวณด้านบนของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2\pi}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{\substack{k=1\\k\neq 1}}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho_c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}(\Omega)$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

ดังนั้นค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านบนของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_C\rho_2}{2\pi\left[T_C\rho_2\rho_C+H\rho_1\rho_2+\left(L-T_C-H\right)\rho_1\rho_C\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{\rho_1\rho_2}{2\pi\left[H_1\rho_2+(L-H_1)\rho_1\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{\rho_1\rho_C\rho_2}{2\pi\left[T_C\rho_2\rho_C+H\rho_1\rho_2+\left(L-T_C-H\right)\rho_1\rho_C\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

H คือ ค่าความสูงของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)ในกรณีนี้จะเท่ากับ 0

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนด ให้ $\rho_1 = 500\ \Omega - m, \rho_2 = 200\ \Omega - m, \rho_C = 4.6\ \Omega - m, H = 1.2\ m.$

$H = 1.2\ m., H_1 = 1.5\ m., T_C = 0\ m., d = 1.2\ m., L = 3\ m., r = 0.00625\ m.$

แทนค่าลงในสมการ

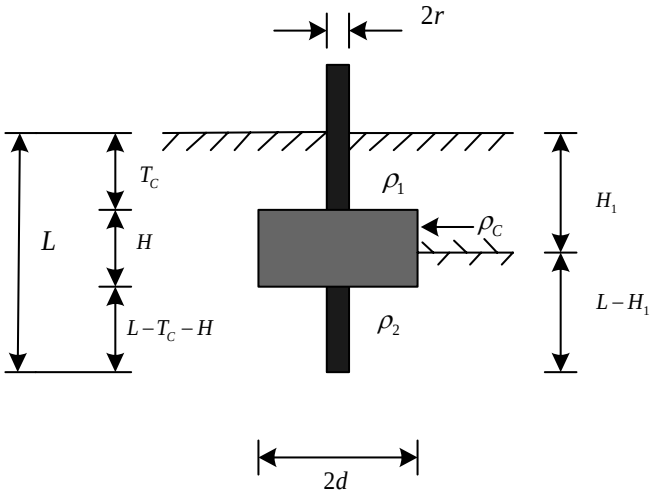
$$R = \frac{(500)(4.6)(200)}{2\pi\left[(0\times 500\times 4.6)+(1.2\times 500\times 200)+(3-0-1.2)500\times 4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{(500)(200)}{2\pi\left[(1.5\times 200)+(3-1.5)500\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{(500)(4.6)(200)}{2\pi\left[(0\times 200\times 4.6)+(1.2\times 500\times 200)+(3-0-1.2)500\times 4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}(\Omega)$$

$R = 35.664\ \ \Omega$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณตรงกลางของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณตรงกลางของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2\pi}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{\substack{k=1\\k\neq1}}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho_c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

ดังนั้นค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านบนของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\rho_1\rho_C\rho_2}{2\pi\left[T_C\rho_2\rho_C + H\rho_1\rho_2 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]} \times \left\{ \ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2} \right\}$$

$$+ \frac{\rho_1\rho_2}{2\pi\left[H_1\rho_2 + (L - H_1)\rho_1\right]} \times \left\{ \ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right] + \frac{d}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2} \right\}$$

$$- \frac{\rho_1\rho_C\rho_2}{2\pi\left[T_C\rho_2\rho_C + H\rho_1\rho_2 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]} \times \left\{ \ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right] + \frac{d}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2} \right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

H คือ ค่าความสูงของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนด ให้ $\rho_1 = 500\ \Omega - m\,,\ \rho_2 = 200\ \Omega - m\,,\ \rho_C = 4.6\ \Omega - m\,,\ H = 1.2\ m.$

$H = 1.2\ m.\,, H_1 = 1.5\ m.\,, T_C = 0.9\ d = 1.2\ m.\,,\ L = 3\ \ m.\ \,, r = 0.00625\ \ m.$

แทนค่าลงในสมการ

$$R = \frac{(500)(4.6)(200)}{2\pi\left[(0.9\times 500\times 4.6)+(1.2\times 500\times 200)+(3-0.9-1.2)500\times 4.6\right]}$$

$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{(500)(200)}{2\pi\left[(1.5\times 200)+(3-1.5)500\right]}$$

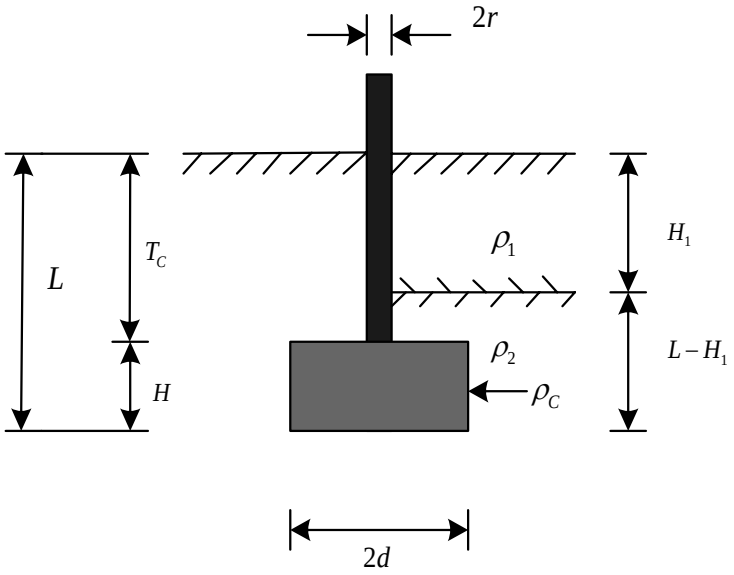
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{(500)(4.6)(200)}{2\pi\left[(0.9\times 200\times 4.6)+(1.2\times 500\times 200)+(3-0.9-1.2)500\times 4.6\right]}$$

$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$R = 35.728 \quad \Omega$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านล่างของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านล่างของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2\pi}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{\substack{k=1\\k\neq 1}}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho_c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

ดังนั้นค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านล่างของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสองชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\rho_1\rho_C\rho_2}{2\pi\left[T_C\rho_2\rho_C + H\rho_1\rho_2 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]} \times \left\{ \ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2} \right\}$$

$$+ \frac{\rho_1\rho_2}{2\pi\left[H_1\rho_2 + (L - H_1)\rho_1\right]} \times \left\{ \ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right] + \frac{d}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2} \right\}$$

$$- \frac{\rho_1\rho_C\rho_2}{2\pi\left[T_C\rho_2\rho_C + H\rho_1\rho_2 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]} \times \left\{ \ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right] + \frac{d}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2} \right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

H คือ ค่าความสูงของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนด ให้ $\rho_1 = 500\ \Omega - m$, $\rho_2 = 200\ \Omega - m$, $\rho_C = 4.6\ \Omega - m$, $H = 1.2\ m.$

$H = 1.2\ m., H_1 = 1.5\ m., T_C = 1.8\ m., d = 1.2\ m., L = 3\ m.\ , r = 0.00625\ m.$

แทนค่าลงในสมการ

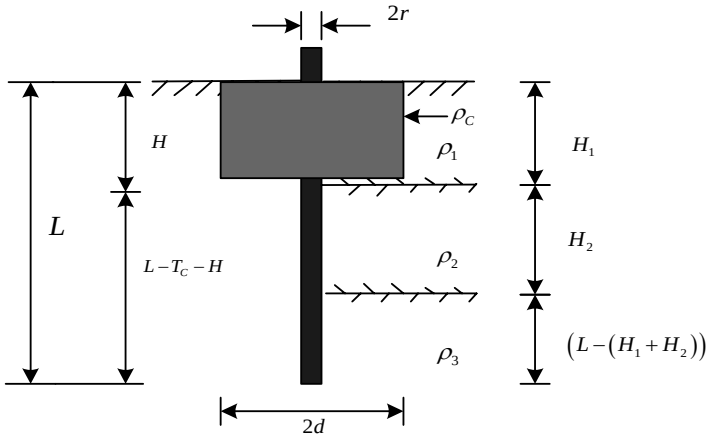
$$R = \frac{(500)(4.6)(200)}{2\pi\left[(1.8\times 500\times 4.6)+(1.2\times 500\times 200)+(3-1.8-1.2)500\times 4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{(500)(200)}{2\pi\left[(1.5\times 200)+(3-1.5)500\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{(500)(4.6)(200)}{2\pi\left[(1.8\times 200\times 4.6)+(1.2\times 500\times 200)+(3-1.8-1.2)500\times 4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$R = 35.794\ \ \Omega$$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านบนของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านบนของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2\pi}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{\substack{k=1\\k\neq1}}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho_c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

ดังนั้นค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านบนของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\rho_1\rho_C\rho_3}{2\pi\left[T_C\rho_3\rho_C + H\rho_1\rho_3 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]} \times \left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right] + \frac{r}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+ \frac{\rho_1\rho_2\rho_3}{2\pi\left[\left(H_1\rho_2\rho_3\right) + \left(H_2\rho_1\rho_3\right) + \left(L - \left(H_1 + H_2\right)\right)\rho_1\rho_2\right]} \times \left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right] + \frac{d}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$- \frac{\rho_1\rho_C\rho_3}{2\pi\left[T_C\rho_3\rho_C + H\rho_1\rho_3 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]} \times \left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right] + \frac{d}{2L} - \sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นกลาง (โอห์ม-เมตร)

ρ_3 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

H คือ ค่าความสูงของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

H_2 คือ ค่าความสูงของดินชั้นกลาง (เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)ในกรณีนี้จะเท่ากับ 0

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนด ให้ $\rho_1 = 1000\ \ \Omega - m$, $\rho_2 = 500\ \ \Omega - m$, $\rho_3 = 300\ \Omega - m$, $\rho_C = 4.6\ \Omega - m$

$H = 1.2\ m.$, $H_1 = 1\ m.$, $H_2 = 1\ m.$, $T_C = 0\ m.$, $d = 1.2\ m.$, $L = 3\ \ m.$

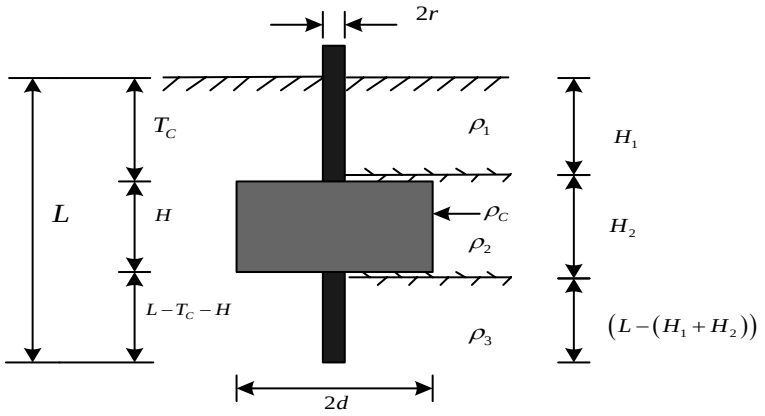
$r = 0.00625\ \ m.$

แทนค่าลงในสมการ

$$R = \frac{(1000)(4.6)(300)}{2\pi\left[(0\times 300\times 4.6)+(1.2\times 1000\times 500)+(3-0-1.2)1000\times 4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$
$$+\frac{(1000)(500)(300)}{2\pi\left[(1\times 500\times 300)+(1\times 1000\times 300)+(3-(1+1))1000\times 500\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$
$$-\frac{(1000)(4.6)(300)}{2\pi\left[(0\times 300\times 4.6)+(1.2\times 1000\times 500)+(3-0-1.2)1000\times 4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$R = 108.958\ \ \Omega$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณตรงกลางของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณตรงกลางของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2\pi}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{\substack{k=1\\k\neq1}}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho_c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

ดังนั้นค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณตรงกลางของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\rho_1\rho_C\rho_3}{2\pi\left[T_C\rho_3\rho_C + H\rho_1\rho_3 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$
$$+\frac{\rho_1\rho_2\rho_3}{2\pi\left[\left(H_1\rho_2\rho_3\right)+\left(H_2\rho_1\rho_3\right)+\left(L-\left(H_1+H_2\right)\right)\rho_1\rho_2\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$
$$-\frac{\rho_1\rho_C\rho_3}{2\pi\left[T_C\rho_3\rho_C + H\rho_1\rho_3 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นกลาง (โอห์ม-เมตร)

ρ_3 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

H คือ ค่าความสูงของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

H_2 คือ ค่าความสูงของดินชั้นกลาง (เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนด ให้ $\rho_1 = 1000\ \ \Omega - m$, $\rho_2 = 500\ \ \Omega - m$, $\rho_3 = 300\ \Omega - m$, $\rho_C = 4.6\ \Omega - m$

$H = 1.2\ m.$, $H_1 = 1\ m.$, $H_2 = 1\ m.$, $T_C = 0.9\ m.$, $d = 1.2\ m.$, $L = 3\ \ m.$

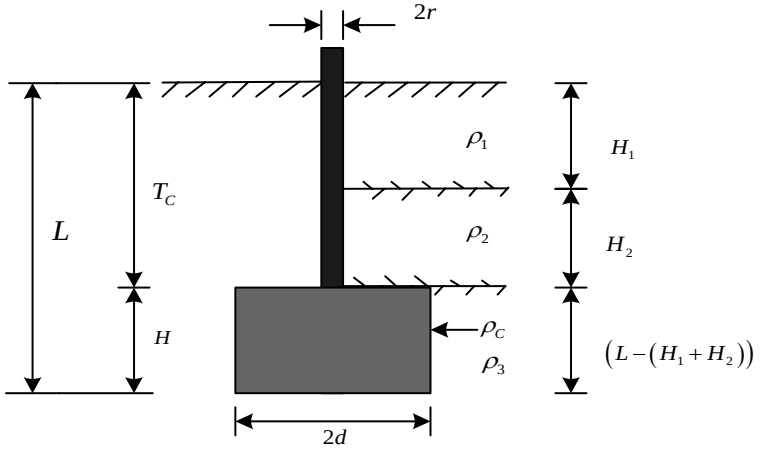
$r = 0.00625\ \ m.$

แทนค่าลงในสมการ

$$R = \frac{(1000)(4.6)(300)}{2\pi\left[(0.9\times300\times4.6)+(1.2\times1000\times500)+(3-0.9-1.2)1000\times4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$
$$+\frac{(1000)(500)(300)}{2\pi\left[(1\times500\times300)+(1\times1000\times300)+(3-(1+1))1000\times500\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$
$$-\frac{(1000)(4.6)(300)}{2\pi\left[(0.9\times300\times4.6)+(1.2\times1000\times500)+(3-0.9-1.2)1000\times4.6\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$R = 109.009\ \ \Omega$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านล่างของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ



ภาพแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านล่างของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอ

สามารถคำนวณหาค่าความต้านทานได้จากสมการ

$$R=\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2\pi}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{\prod_{k=1}^{n}\rho_k}{2\pi\left[\sum_{j=1}^{n-1}\prod_{\substack{k=1\\k\neq 1}}^{n}\rho_k h_j+\left(L-\sum_{j=1}^{n-1}h_j\right)\prod_{k=1}^{n-1}\rho_k\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{\rho_1\rho_c\rho_n}{2\pi\left[T_c\rho_n\rho_c+H\rho_1\rho_n+\left(L-T_c-H\right)\rho_1\rho_c\right]}\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ n คือ จำนวนของชั้นดิน

j คือ จำนวนความสูงของชั้นดิน

ρ_k คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของชั้นดินใดๆ (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

h_j คือ ค่าความสูงของชั้นดินใดๆ (เมตร)

$\prod$ คือ ฟังก์ชันแฟกเทอเรียล ในสมการจะใช้เป็นผลคูณของ ρ_k

$\sum$ คือ ผลบวก

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

ดังนั้นค่าความต้านทานของแท่งรากสายดินที่ห่อหุ้มด้วยตัวลดความต้านทานบริเวณด้านล่างของแท่งตัวนำในสภาพที่พื้นดินมีค่าความต้านทานจำเพาะของดินสามชั้นไม่สม่ำเสมอสามารถหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\rho_1\rho_C\rho_3}{2\pi\left[T_C\rho_3\rho_C + H\rho_1\rho_3 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2L}{r}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right]+\frac{r}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{r}{2L}\right)^2}\right\}$$
$$+\frac{\rho_1\rho_2\rho_3}{2\pi\left[\left(H_1\rho_2\rho_3\right)+\left(H_2\rho_1\rho_3\right)+\left(L-\left(H_1+H_2\right)\right)\rho_1\rho_2\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$
$$-\frac{\rho_1\rho_C\rho_3}{2\pi\left[T_C\rho_3\rho_C + H\rho_1\rho_3 + \left(L - T_C - H\right)\rho_1\rho_C\right]}$$
$$\times\left\{\ln\frac{2L}{d}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right]+\frac{d}{2L}-\sqrt{1+\left(\frac{d}{2L}\right)^2}\right\}$$

เมื่อ ρ_1 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นบน (โอห์ม-เมตร)

ρ_2 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นกลาง (โอห์ม-เมตร)

ρ_3 คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของดินชั้นล่าง (โอห์ม-เมตร)

ρ_C คือ ค่าความต้านทานจำเพาะของตัวลดความต้านทาน (โอห์ม-เมตร)

H คือ ค่าความสูงของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

H_1 คือ ค่าความสูงของดินชั้นบน (เมตร)

H_2 คือ ค่าความสูงของดินชั้นกลาง (เมตร)

T_C คือ ระยะห่างของตัวลดความต้านทานกับผิวดิน (เมตร)

d คือ รัศมีของตัวลดความต้านทาน (เมตร)

L คือ ความยาวของแท่งตัวนำ (เมตร)

r คือ รัศมีของแท่งตัวนำ (เมตร)

กำหนด ให้ $\rho_1 = 1000\ \ \Omega - m$, $\rho_2 = 500\ \ \Omega - m$, $\rho_3 = 300\ \Omega - m$, $\rho_C = 4.6\ \Omega - m$

$H = 1.2\ m.$, $H_1 = 1\ m.$, $H_2 = 1\ m.$, $T_C = 1.8\ m.$, $d = 1.2\ m.$, $L = 3\ m.$

$r = 0.00625\ \ m.$

แทนค่าลงในสมการ

$$R = \frac{(1000)(4.6)(300)}{2\pi\left[(1.8\times 300\times 4.6)+(1.2\times 1000\times 500)+(3-1.8-1.2)1000\times 4.6\right]}$$

$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{0.00625}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{0.00625}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{0.00625}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$+\frac{(1000)(500)(300)}{2\pi\left[(1\times 500\times 300)+(1\times 1000\times 300)+(3-(1+1))1000\times 500\right]}$$

$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$$-\frac{(1000)(4.6)(300)}{2\pi\left[(1.8\times 300\times 4.6)+(1.2\times 1000\times 500)+(3-1.8-1.2)1000\times 4.6\right]}$$

$$\times\left\{\ln\frac{2(3)}{1.2}\left[1+\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right]+\frac{1.2}{2(3)}-\sqrt{1+\left(\frac{1.2}{2(3)}\right)^2}\right\}$$

$R = 109.061\ \ \Omega$