

BORU TOPRAKLAYICI İNCELEME

Nebi MUTLU - Elektrik Mühendisi

nebi.mutlu@emo.org.tr

Aşağıdaki Şekil-1 de görüldüğü gibi D çaplı L uzunluğunda bir boruyu üst ucu toprak yüzeyden h derinliğinde olacak şekilde gömülmü.



Şekil-1

Toprak özgül direnci ρ olsun. Bu düzenin topraklamasının çeşitli standartlardaki çeşitli formüllerden bağımsız hesaplama yöntemi geliştireceğiz. Bu hesapta boru etrafındaki eş potansiyel yüzeyleri tespit edeceğiz. Tespit edilen Yüzey alanlarına $S_1, S_2...S_n$ diyelim. Bu yüzeylerden S_k, S_{k+1} diye iki yüzey seçelim. Tüm yüzeyler bir birinden Δx uzaklıkta olsun.

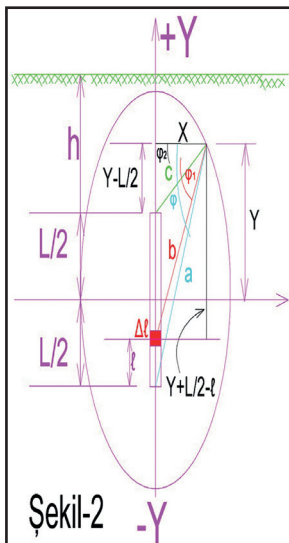
Elektrik akımı S_k 'dan S_{k+1} 'e geçen ΔR direnci ile karşılaşır. Bu direnç

$$\Delta R = \rho \Delta X / ([(S_k + S_{k+1})/2])$$

Şeklinde dir.

S_1 'den S_n 'e kadar bu sonlu elemanların dirençlerin toplamı borunun toprak yayılma direncidir. Uluslar arası adı FEM (Finite Elements Metod)'dur. Türkçe karşılığı sonlu elemanlar metodudur.

Şimdi boru etrafındaki eş potansiyel yüzey formunu bulalım. Bunun için Şekil-2 deki resmi çizdim.



Şekil-2

Boru boyunca eşit yayılmış elektrik yüküne λ diyelim. Şekilde $Y=0$ noktasından boru boyunca ℓ uzaklığındaki boru parçasına $\Delta \ell$ diyelim. Bu parça üzerindeki yük $\Delta q = \lambda \cdot \Delta \ell$ olur. $\Delta \ell$ parçasını $d\ell$ diferansiyel büyüklüğünde küçük seçersek $dq = \lambda \cdot d\ell$ olur.

$$Y - L/2 = X \cdot \tan \phi_2 \quad Y + L/2 = X \cdot \tan \phi_1$$

$$Y + L/2 - \ell = X \cdot \tan \phi$$

Bu son eşitliğin $(Y + L/2 - \ell) = (X \cdot \tan \phi)$ şeklinde türevini alalım.

$-d\ell = X \cdot \sec^2 \phi \cdot d\phi$ olur. $d\ell$ uzunluğundaki elektrik yükü $dQ =$

$-d\ell \cdot \lambda$ ve işlem kolaylığı için $\lambda = 1$ kabul edersek $dQ = -d\ell$ olur. dQ yükün şekil 2 deki b uzaklığında oluşturacağı dV voltaj $dV = dQ/b$ $dV = -d\ell/b$ $dV = -X \cdot \sec^2 \phi \cdot d\phi / b$ olur. $b = X \cdot \sec \phi$ $dV = (-X \cdot \sec^2 \phi \cdot d\phi) / (X \cdot \sec \phi)$ $dV = -X \cdot \sec \phi \cdot d\phi$ olarak sadeleşir.

X, Y noktasında L uzunluğundaki borunun oluşturacağı V voltajı dV voltajının $-L/2$ den $+L/2$ ye ve dolayısıyla trigonometrik olarak ϕ_1 den ϕ_2 ye integralini alalım. $\int_{\phi_1}^{\phi_2} (-X \cdot \sec \phi) \cdot d\phi$ - işaretini değiştirmek için integrali

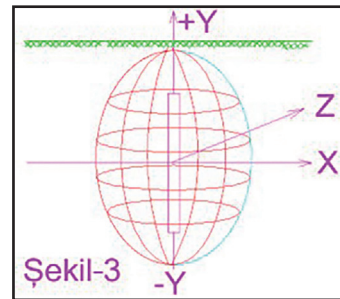
ϕ_2 den ϕ_1 ye şeklinde değiştirelim. $\int_{\phi_2}^{\phi_1} X \cdot \sec \phi \cdot d\phi$ olur. İntegralin sonucu

$$V = [\ln(\sec \phi + \tan \phi)]_{\phi_2}^{\phi_1} \quad V = \ln \left(\frac{\sec \phi_1 + \tan \phi_1}{\sec \phi_2 + \tan \phi_2} \right)$$

Şekil 2 den $[\sec \phi_1] = \frac{a}{x} = \frac{\sqrt{x^2 + (y + L/2)^2}}{x}$ $\tan \phi_1 = \frac{y + L/2}{x}$

$[\sec \phi_2] = \frac{c}{x} = \frac{\sqrt{x^2 + (y - L/2)^2}}{x}$ $\tan \phi_2 = \frac{y - L/2}{x}$ bunları entegralin sonucunda yerine koyarsak $V = \ln \frac{\sqrt{x^2 + (y + L/2)^2} + (y + L/2)}{\sqrt{x^2 + (y - L/2)^2} + (y - L/2)}$ orijinden bir x, y noktasında borunun oluşturacağı voltajı elde edeceğimiz formülü bulmuş olduk.

$V = V$ sabit bir değer bulacak şekilde x, y noktalarını tespit edersek bu noktalarla Şekil-3 deki gibi bir elipsoid yüzey elde ederiz.



Şekil-3

$\Delta S =$ Bu sonlu yüzey = Çevre Δy

$$\Delta S = 2 \pi \cdot x \cdot \Delta y \text{ olur.}$$

Bu mavi eğriyi elipsoidin $X=0$ olduğu Y_1 noktasından, $X=0$ olduğu diğer noktaya Y_2 ye kadar elde etmek için Y_1 den başlayıp Δy ilave ederek y koordinatını artırır seçilen bir

sabit $V_{başlangıç1}$ voltajı sabit olacak şekilde her y için bir x bulup x, y noktası elde ederiz. Bu x, y noktası için ΔS buluruz. Y_1 den Y_2 ye ulaşana kadar elde ettiğimiz ΔS leri toplayarak eş potansiyel olan bir S_n yüzeyi elde ederiz. Bu S_n yüzeyini sabit bir kalınlık olarak aldığımız X kalınlık kadar dışarı taşımak için $x + X$ kalınlık, y noktası için bir $V_{başlangıç2}$ voltajı bulup bu voltaja ait bir S_{n+1} eş potansiyel yüzey buluruz. I elektrik akımı S_n yüzeyinden S_{n+1} yüzeyine geçerken X kalınlık kadar yol alır. Bu iki yüzey arasındaki

oluşan

direnç R_n olsun. $R_n = \rho \cdot \frac{X}{S_n}$ $R_n(O)$ dan $R_n(R)$ a kadar olan dirençleri

Y_1 den Y_2 ye kadar adım adım eş potansiyel eğri hesaplanırken aynı anda eş potansiyel yüzey ve ona bağlı R_n dirençleri toplanıp toplam direnç hesaplanır. Her katmandaki akan akım aynı olup I olsun her katmandaki gerilim düşümü $\Delta V_n = R_n \cdot I$ olup ilk katmandan sonsuzuncu katmana kadar ΔV_n lerin toplamı topraklayıcının topraklama sistemindeki gerilim düşümünü verir. Herhangi 1 nokta ile herhangi bir 2. Nokta arasındaki gerilim farkı bu aralıktaki ΔV_n lerin toplamıdır.

Şimdi bilgisayar yazılımı için borudan x, y uzaklığındaki bir noktanın potansiyel voltajını yukarıda bulduğumuz formülden yararlanarak bir fonksiyon tanımlıyalım.

```
double NoktaVoltDerinlikliV3( double Boy,double Derinlik,
double X,double Y){ return log( ( Boy+ Derinlik-Y+sqrt(
pow(X,2)+pow(Boy+Derinlik-Y,2) )
/ ( Derinlik-Y+sqrt( pow(X ,2)+pow(Derinlik-Y,2) ) ) ); }
```

Bilgisayar yazılımı ile bir katman belirleyip bu katmana ait eşpotansiyele ait eşpotansiyel eğriyi hesaplayalım.

```
double Xorta,Ybaslangic,Ybitis,Xorta; bool Kontrol; double Vilk,
Vikinci,Valt,Vust,Vhata;
double KatmanX,BoruCap; bool yon; #define ileri 1 #define
geri 0 for(Xorta=0.1;Xorta <300;Xorta=Xorta +KatmanX)
{ ///////Her bir Xorta değeri için Y1 başlangıç ve Y2 bitiş noktasını hesaplama başı
Kontrol=FALSE; Ybitis=0.1;
while(Kontrol=FALSE)
{ Vilk=NoktaVolt_ilk(Boy,BoruCap/2, Ybitis);
VbaslangicVolt=NoktaVolt_ilk(Boy,Xorta,0);
Valt=VbaslangicVolt-Vhata; Vust=VbaslangicVolt+Vhata;
Vikinci=NoktaVolt_ilk(Boy,BoruCap/2, Ybitis + Δy);
if(Vilk>=Valt && Vilk<=Vust) {Kontrol=TRUE; }
else { //Vilk aralıktaki değilse
if(Vilk <Valt){if(yon=1){ Ybitis = Ybitis + Δy; }
else { Ybitis = Ybitis - Δy; }
}
else { if(yon=1) { Ybitis = Ybitis - Δy ; ; }
else { Ybitis = Ybitis + Δy; }
}
}
}
}
```

$Y_{aralik} = 2 \cdot Y_{bitis}$; $Y_{baslangici} = Y_{bitis}$;

/////Her bir Xorta değeri için Ybaşlangıç ve Ybitiş noktasını hesaplama sonu

```
/// Ybaslangic tan Δy aralık artışı ile Ybitis e eriştiriliyor başı
for(Y =Ybaslangic;Y<Ybitis;Y=Y + Δy)
{
if(Yaralik>=Boy)
{ X=0.1; Kontrol=FALSE;
while(Kontrol=FALSE)
{ Vilk=NoktaVolt_ilk(Boy,X,Y);
Vikinci=NoktaVolt_ilk(Boy,X+ ΔX,Y);
if(Vilk<=Vikinci){yon=1; }else{ yon=0; }
if(Vilk>=Valt && Vilk<=Vust) {Kontrol=TRUE; }
else { if(Vilk <Valt)
{ if(yon=1){ X=X+ ΔX; } /////
else { X=X- ΔX ; }
}
else{ if(yon=1)
{ X=X- ΔX; } ///// Vilk
alçalsın
else { X=X+ ΔX; }
}
}
} else { X=Xorta; }
}
```

Buradan voltajı değişmeyen her Y değeri için bir X değeri elde ederiz.

SetPixel(hPencere, X, Y ,Yesil); komutu ile ekranda bu noktardan bir elipsoid çizdiririz.

///// Ybaslangic dan Δy aralık artışı ile Ybitis e eriştiriliyor sonu
Ben buna benzer yazılım komutları ve matematik işlemlerle elipsoidleri elde ettim.

Elipsoidlerden yararlanarak yere dikey gömülü bir borunun toprak yayılma direncini buldum. Hatta borunun etrafına çok düşük özgül dirençli malzeme sıkıştırarak çift özgül dirençli sistemi inceledim. Çok da yararlı oldu.

Ayrıca yukarıdaki yöntemle bir kürenin yayılma direncini hesapladım. Kürenin yayılma direncini buldum. Elektrik Tesislerinde Topraklama yönetmeliğinde verilen formülle hesaplanan değerle örtüşüyor. Zaten Küre her yöne simetrik olduğu etrafındaki eşpotansiyel yüzeylerde küre olduğu için sonlu elemanlar yöntemine ihtiyaç duyulmuyor. Direk entegral alınarak Topraklama Yönetmeliğinde

