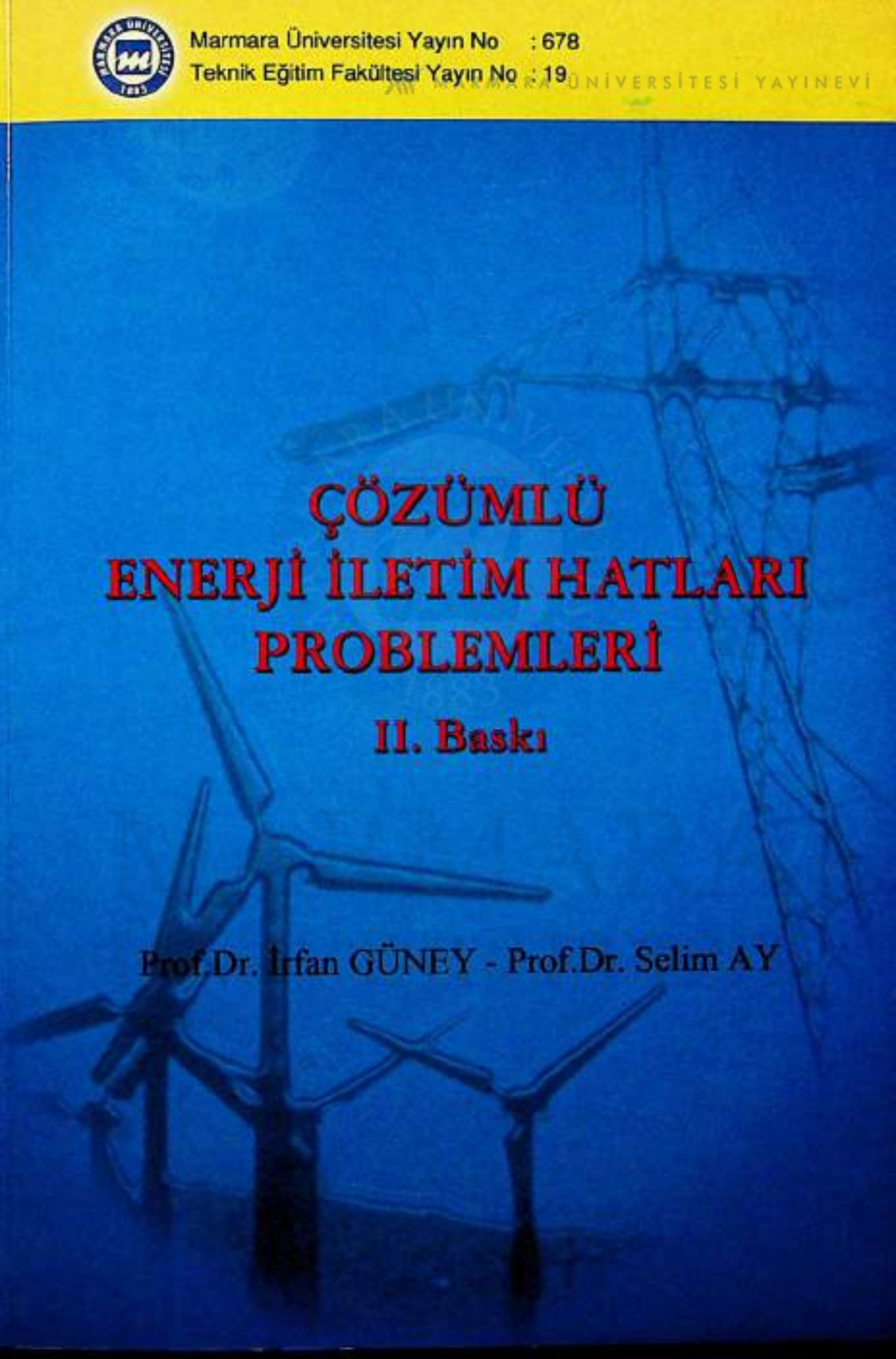
Marmara Üniversitesi Yayın No : 678
Teknik Eğitim Fakültesi Yayın No : 19
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



ÇÖZÜMLÜ ENERJİ İLETİM HATLARI PROBLEMLERİ

II. Baskı

Prof.Dr. İrfan GÜNEY - Prof.Dr. Selim AY

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYIN NO : 675
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ YAYIN NO : 19

ÇÖZÜMLÜ ENERJİ İLETİM HATLARI PROBLEMLERİ

Enerji İletim Hatlarının Çeşitli Konularına İlişkin 183 adet Çözümlü Problemi İçermektedir.

Prof.Dr. İrfan GÜNEY
Marmara Üniversitesi
Teknik Eğitim Fakültesi

Prof.Dr. Selim AY
Yıldız Teknik Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi

İstanbul, 2001

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ISBN : 975-400-236-3

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
DÖNER SERMAYE İŞLETMESİ
TEKNİK EĞİTİM FAKÜLTESİ
MATBAA BİRİMİNDE BASILMIŞTIR

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Hocamız merhum

Prof.Dr. Ö. Vural AYGEN'in

anısına ithaf edilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ 1883

MARMARA
ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ÖNSÖZ

Enerji iletim hatları ile ilgili Türkçe kaynak eserlerin –özellikle çözümlü problemleri içeren eserlerin– çok sınırlı olduğu göz önünde bulundurularak hazırlanan bu kitap, Enerji iletim hatlarının çeşitli konularına ilişkin çözümlü problemleri içermektedir. Ülkemizde ve dünyada enerji iletimi, genellikle hava hatlarıyla gerçekleştirilmektedir. Enerji iletim hava hatları hesaplarının "mekanik" ve "elektrik" olmak üzere iki başlık altında toplandığı göz önünde bulundurularak, kitaptaki problemler de iki bölüm altında toplanmıştır. (Direklerin hesabı ile yeraltı ve sualtı kablosuyla enerji iletimi ayrı olduğundan, bu konulara bir başka kitapta yer verilmesi planlanmıştır.)

Seçilen problemlerin çoğunda, sayısal değerler ülkemizdeki işletme koşullarından alınmıştır. Her bölümün önünde; sembol listesi, kullanılan formüller ve açıklamaları ile hesaplarda öngörülen başlıca varsayımlar yer almaktadır. Böylece problemlerin izlenmesinde kolaylık sağlanması hedeflenmiştir. Çözümlü problemler ile ilgili teorik incelemeler için "Başvurulabilecek Kaynaklar", kitabın sonunda verilmiştir. Problemlerde adı geçen kavramların araştırılmasını yönlendirmek amacıyla eklenen sözel sorulara EK bölümünde yer verilmiştir.

Bugüne kadarki çalışmalarımızda sürekli teşvik ve desteklerini esirgemeyen İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi öğretim üyelerinden değerli hocamız Prof.Dr. Nesrin TARKAN'a teşekkür etmeyi bir borç biliriz. Basımındaki çok büyük katkılarından dolayı Teknik Eğitim Fakültesi Matbaa Eğitimi Bölümü tüm çalışanlarına şükranlarımızı sunarız. Kitabın konu ile ilgili öğrencilere ve meslektaşlarımıza yararlı olmasını dileriz.

İ.Güney, S.Ay

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

İÇİNDEKİLER

I. KISIM:

SEMBOL LİSTESİ

1. 0 HAVA HATTI İLETKENLERİ VE EK YÜKLER 5

1.1. Giriş 5

1.2. Çözümlü Problemler 12

2. 0 SİMETRİK MENZİL HESAPLARI 39

2.1. Giriş 39

2.2. Çözümlü Problemler 42

3. 0 ASİMETRİK MENZİL HESAPLARI 61

3.1. Giriş 61

3.2. Çözümlü Problemler 63

4.0 DEĞİŞEN ORTAM KOŞULLARININ MEKANİK HESAPLAR ÜZERİNDE ETKİLERİ 93

4.1. Giriş 93

4.2. Çözümlü Problemler 96

II. KISIM

SEMBOL LİSTESİ

5.0 İŞLETME İLE İLGİLİ HESAPLAR 125

5.1. Giriş 125

5.2. Çözümlü Problemler 125

6.0 SÜREKLİ İŞLETME ANALİZİ 143
6.1. Giriş 143
6.2. Çözümlü Problemler 146
7.0. ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE PER-UNİT (BİRİM) BÜYÜKLÜKLER 195
7.1 Giriş 195
7:2 Çözümlü Problemler 199
8.0 GEÇİCİ İŞLETME ANALİZİ 217
8.1. Kısa Devre Analizi 217
8.2.Kararlılık (Stabilite) Analizi 222
8.3. Çözümlü Problemler 225
BAŞVURULABİLECEK LİTERATÜR LİSTESİ 279
EK
TAMAMLAYICI SORULAR 287

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ 1883

SEMBOL LİSTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

a : Menzil [m]

c : Pürüzlülük katsayısı

Sehim parametresi [m]

d : İletken çapı [mm]

f : Sehim [m]

G : Menzil boyunca ağırlık [kg]

g : Birim ağırlık [kg/m]

H : Yatay teğetli noktadaki çekme kuvveti [kg]

h : Yükselti (kot) farkı [m]

k : Buz yükü katsayısı

ℓ : İletken uzunluğu [m]

Q : Dinamik rüzgar basıncı [kg/m^2]

q : iletken (gerçek) kesiti [mm^2]

q_n : İletkenin norm (anma) kesiti [mm^2]

S : Askı noktasındaki çekme kuvveti [kg]

t : Sıcaklık derecesi [°C]

V : Direğe gelen düşey kuvvet (ağırlık) [kg]

v : Rüzgar hızı [m/s]

x : y.t.n. ile askı noktası arasındaki düşey uzaklık [m]

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

y : y.t.n. ile askı noktası arasındaki düşey uzaklık [m]

α : Salınım açısı

γ : Özgül ağırlık [kg/m.mm^2]

ε_t : Termik uzama katsayısı [1/°C]

ε_e : Elastik uzama katsayısı [mm^2/kg]

θ : Arazi eğim açısı

ρ_b : Buzun özgül ağırlığı [kg/dm^3]

σ : İletkendeki gerilme [kg/mm^2

İndisler:

b : buz

i : iletken

r : rüzgar

t : toplam

eş : eşdeğer

iz : izolatör

kr : kritik

b,r : eşzamanlı (buz+rüzgar)

Kısaltmalar:

y.t.n.: Yatay teğetli nokta

DHD: Değişik haller denklemi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

1.0 HAVA HATTI İLETKENLERİ VE EK YÜKLER

1.1. Giriş

Enerji iletim hava hatlarında, yaygın olarak, çelik özlü alüminyum (AÇSR) iletkenler kullanılmaktadır. Elektriksel özelliklerinin iyi olmasına karşılık mekanik yönden yeterli performansı sağlayamayan alüminyumun çelik bir göbekle güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Böylece ortadaki çelik damarların etrafında alüminyum damarlar yer alır. Çelik ve alüminyum damarların çapları -kullanım yerine bağlı olarak- aynı ya da farklı olabilir; aynı şekilde n tabakalı bir iletkende damar sayısı için $1 + 1 * 6 + 2 * 6 + ... + n * 6$ şeklindeki form çoğu kez geçerlidir.

Bir çelik -alüminyum hava hattı iletkeni için tanımlanabilecek karakteristik büyüklükler iki grup altında incelenebilir.

– Mekanik hesaplarda dikkate alınacak parametreler; iletken kesiti (alüminyum, çelik kısımların ayrı ayrı kesitleri), damar (tel) çapları ve sayısı, anma çapı, anma kopma yükü, alüminyum - çelik kısımlarla iletkenin toplam birim ağırlığı, malzemenin elastik uzama ve termik uzama katsayıları şeklinde özetlenebilir.

– Elektriksel hesaplarda dikkate alınacak parametreler (Bunlara 6. bölümde yer verilmiştir.)

Tüm hesaplamalarda iletkenin tanım (anma) kesiti yerine "gerçek" kesiti kullanılır. Damarlı yapı nedeniyle arada bir miktar farklılık bulunmaktadır. Uygulamada iletkeni tanımlayan çeşitli normlar mevcuttur. bunlar kısaca şu şekilde özetlenebilir:

– Bilinen [mm^2] tanımlaması (örneğin 242/39 mm^2; burada alüminyum ve çelik kısımların anma kesit değerleri verilmiştir.)

– CM tanımlaması. CM (circular mil) çapı 0.001 inch olan dairenin alanıdır. 1 CM = $5067 * 10^{-7}$ mm^2 dir.

Bunun 1000 katı ise "MCM" olarak tanımlanır.

(Örneğin 477 MCM; [mm^2] karşılığı ilgili tablodan alınabilir.)

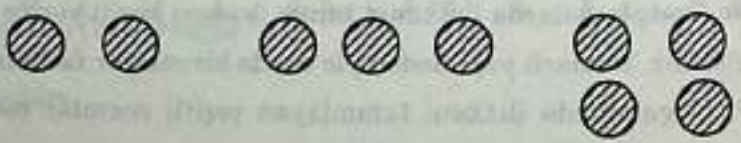
Diğer taraftan, daha küçük kesitli iletkenlerin AWG ölçütü ile de tanımlanması mümkündür. Burada 0000 (4/0) 000 (3/0) 00 (2/0) 0 (1/0) 1 2 .... şeklindeki rakamlar iletkeni tanımlar; karşılık düşen [mm^2] karşılığı ilgili tablodan alınabilir.

– Kanada normuna göre tanımlama. Burada çelik özlü alüminyum iletkenler kuş isimleriyle tanımlanmıştır. (örgülü alüminyum iletkenler ise çiçek isimleriyle tanımlanmaktadır.) (Örneğin CARDİNAL; [mm^2] karşılığı ilgili tablodan alınabilir.)

Çelik/Alüminyum malzeme kesit oranı büyüdükçe, iletkenin dayanımında artış sağlanmış olur. Örneğin boğaz, nehir atlama hatlarında, çetin iklim koşullarının hüküm sürdüğü bölgelerde yer alan büyük direk açıklıklarında vb. yerlerde bu yol izlenebilir. Diğer taraftan, bakır-kadmiyum iletkenler, fosfor-broz iletkenler vb. özel kullanım alanları için öngörülebilir.

Yüksek gerilimli enerji iletim hatlarında bir fazın birden çok iletken üzerinden çekilmesiyle oluşan "demet iletkenler" yaygın olarak kullanılır.

Demeti oluşturan her iletken çelik-alüminyum dur. (Şekil G1.1)



Şekil G1.1 2-li demet (a), 3-lü demet (b) ve 4-lü demet gösterimleri.

Demetler arası açıklığın, minimum elektrik alanı oluşacak şekilde seçilmesi gerekir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Demet iletkenlerin üstün yanları şöylece özetlenebilir:

- Demet iletkenlerin endüktansı normal iletkenlere göre daha küçüktür. Böylece gerilim düşümü azalır, ayrıca iletilen güç miktarı artırılabilir.
- Korona kayıpları daha azdır.
- Enerji sisteminin kararlılığı iyileştirilmiş olur.

Sakıncalı yanları ise;

- İletken çekim, işçilik vb. maliyeti yüksektir. Askı takımları pahalıdır, özel donanım (spacer) gerektirir.
- Ek buz ve ek rüzgar yüklerinde artış gözlenir.
- Demet iletkenlerin kapasitesi normal iletkenlere göre daha büyüktür. Böylece kaçak (şarj) akımları daha yüksek değerler alır.

şeklinde özetlenebilir.

Enerji iletim hava hatları, ülke coğrafyasında yıl boyunca değişik iklim koşullarının etkisi altındadır. Hatların projelendirilmesi sırasında tüm elektriksel analizlerin (kararlılık, kısa devre, güç akışı, koruma ve yalıtım koordinasyonu vb.) yanısıra, iklim koşullarından ortaya çıkan "ek yükler" in de yeterli duyarlıkta hesaplanması gereği vardır. Aksi halde iletken kopmaları, direk devrilmeleri ve uzun süreli enerji kesintileri başgösterebilir.

Ek yükler buz yükü, rüzgar yükü ve eşzamanlı (buz+rüzgar) yük olarak sınıflandırılabilir. Hesaplar, bir faz (demet kullanılmışsa bir demet iletkeni) için yapılır.

Buz yükü:

Kırağı, kristal kırağı, don, kristal buz ve kar yükü gibi türleri olan buz yükünün oluşumuna yol açan etkenler; sıcaklık derecesi, nem mikta-

rı (bağıl nem > % 90 olmalıdır), rüzgarın hızı sıklığı ve yönü, arazinin deniz seviyesinden yüksekliği veya direk boyu olarak sıralanabilir.

Yönetmelik, buzun oluşum sıcaklığını - 5°C olarak kabul etmiştir.

Buz yükünün hesabı için analitik bir bağıntı olmayıp yılların deneyimi ışığında oluşturulan ampirik ifadeler kullanılır. Buz yükü bakımından beş bölgeye ayrılan ülkemizde, buz yükü haritası üzerinde her bölge (I, II, ..., V) işaret edilmiştir. Buz yükü

$$g_b = k\sqrt{d} \quad [kg/m] \tag{1.1}$$

ifadesiyle hesaplanır. k, buz yükü katsayısı ve d [mm] iletken çapıdır. Buzlu haldeki iletken ağırlığı ise

$$g_t = g_i + g_b \quad [kg/m] \tag{1.2}$$

olacaktır. g_i, iletkenin birim ağırlığıdır.

Tablo 1.1

Buz yükü katsayıları

Bölge	I	II	III	IV	V
K	0.0	0.2	0.3	0.5	1.2

Buz yükü hesaplanırken, buz kılıfının silindirik olarak direk açıklığı boyunca üniform şekilde iletkeni sardığı ve rüzgarın etkili olmadığı kabul edilmektedir. O bölge için k değerinin daha yüksek olması, "aşırı buzlanmayı" gösterir.

Rüzgar yükü:

Bir iletkene gelecek metre başına rüzgar yükü

$$g_r = c^* Q * d * 10^{-3} \quad [kg/m] \tag{1.3}$$

bağıntısıyla hesap edilir. Burada c dinamik rüzgar basıncı (pürüz-

lülük) katsayısı, Q dinamik rüzgar basıncı [kg/m^2] ve d [mm] iletken çapıdır.

Tablo 1.2

Pürüzlülük kat sayıları

d [mm]	< 12.5	12.5....15.8	> 15.8
c	1.2	1.1	1.0

$$Q = \frac{v^2}{16} \tag{1.4}$$

v [m/s] rüzgar hızı olmak üzere hesaplanır. Ancak Q, direk yüksekliğine bağlı olarak listelenmiş olduğu için, uygulamada gözlenen 15-40 m yüksekliği için 53 kg/m^2 alınması yeterlidir. Bileşke yük ise

$$g_{eş} = \sqrt{g_i^2 + g_r^2} \tag{1.5}$$

olur. rüzgar nedeniyle iletkenin savrulması, α salınım açısıyla belirlenir:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{g_r}{g_i}\right) \tag{1.6}$$

Bu açının belirli değerleri aşması, iletkenin dikmelere tehlikeli olarak yaklaşmasına ve faz-toprak kısa devrelerinin oluşmasına yol açabilir. Hesaplarda rüzgarın etkin olduğu sıcaklık derecesi + 5°c kabul edilir. Rüzgarın iletkene dik doğrultuda etki ettiği, buz kılıfının oluşmadığı yapılan kabuller arasındadır.

Eşzamanlı yük (buz+rüzgar yükü):

Buz ve rüzgarın birlikte etkili olmadığı varsayımı, maliyetlerin yüklemesi içindir. Ancak 380 kV luk hatlarda her iki yükün eşzamanlı etkidiği kabul edilmektedir. Bu durumda eşzamanlı bileşke yük

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$g_{eş_{b,r}} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + g_{b,r}^2} \tag{1.7}$$

olup, $g_{b,r}$ buzlu iletkene etkiyen rüzgar kuvvetini göstermektedir.

$$g_{b,r} = c * Q * d_b * 10^{-3} \tag{1.8}$$

d_b buzlu iletken çapı [mm], bölgenin fiziksel özelliklerine yakından bağlıdır:

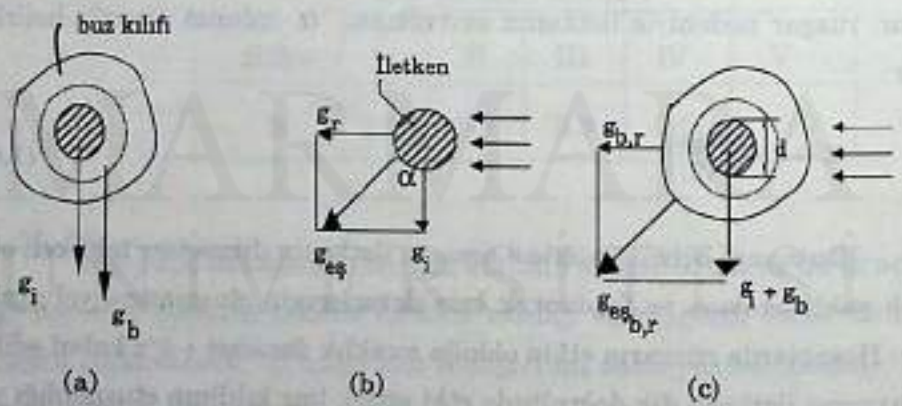
$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4000\, k\sqrt{d}}{\rho_b * \pi}} \tag{1.9}$$

g_b [kg/dm^3] buz yoğunluğunu göstermektedir.

Eşzamanlı yüklenmeye ilişkin salınım açısı ise

$$\alpha_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{g_{b,r}}{g_i + g_b}\right) \tag{1.10}$$

olacaktır.



Şekil G 1.2 Buz yüklü (a), rüzgar yüklü (b) ve eşzamanlı olarak yüklü (c) iletim hattında yüklerin gösterilmesi.

NOT 1 : Hesaplarda iletkenin birim ağırlığı yerine özgül ağırlığı (γ_i) verildiğinde, ek yükler de özgül ağırlık cinsinden ifade edilir. Buna göre

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\gamma_i = \frac{g_i}{q} \; ; \; \gamma_b = \frac{g_b}{q} \; ; \; \gamma_r = \frac{g_r}{q} \; ; \; \ldots\ldots \; [kg/m.mm^2] \qquad (1.11)$$

eşitlikleri geçerli olacaktır. q, iletkenin (çelik ve alüminyum kısımlarının toplam) kesitidir [mm^2].

NOT 2: Menzil boyunca [kg] cinsinden yükün ifadesi gerekiyorsa, g [kg/m] (birim yük) menzil ile çarpılır:

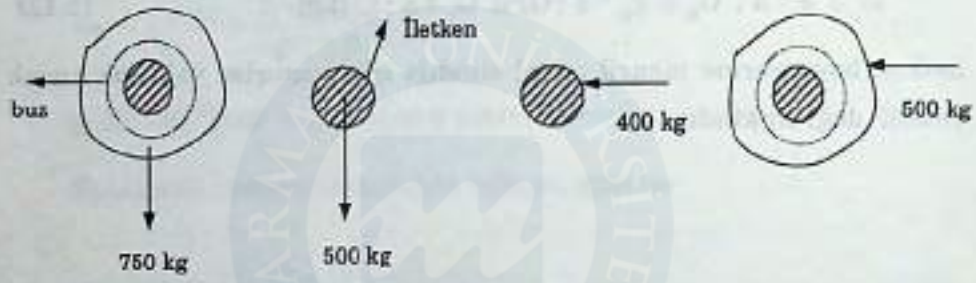
$$G_i \equiv g * a \; ; \; G_b \equiv g_b * a \; ; Gr \equiv G_r * a \; ; \ldots [kg] \qquad (1.12)$$

iletken boyu yerine menzil a [m] alındığı için, sonuçlar yaklaşık ancak yeterli doğruluktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 1.1

Bir enerji iletim hattının tasarımı sırasında buz ve rüzgar yükünün bir arada dikkate alınması öngörülmüştür. İletim hattına çeşitli durumlarda gelen kuvvetler Şekil 1.1 de verilmiştir. Buz ve rüzgar yükünün etkin olduğu bu yüklenme hali için, iletkenin eşdeğer yükünü ve salınım açısını bulunuz.



Şekil 1.1. Çeşitli Durumlarda Etkili Olan Kuvvetler.

Çözüm

$$G_{eş,r} = \sqrt{(G_i + G_b)^2 + G_{b,r}^2} = \sqrt{(500 + 750)^2 + 1500^2} = 1950 \text{ kg}$$

$$\alpha_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{G_{b,r}}{G_i + G_b}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1500}{500 + 750}\right) \cong 50° \quad \text{bulunur.}$$

Eş zamanlı yük hali incelendiği için, çıplak iletkene etkiyen rüzgar yükü (400 kg) hesaplarda kullanılmamıştır.

Problem 1.2.

Tek metalli örgülü bir iletkende öz hariç, iki tabaka bulunmaktadır. Her damarın çapı 4.25 mm ve çekme kuvveti 200 kg olduğuna göre:

a) İletkenin çapını,

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

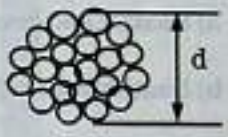
b) iletkenin gerçek kesitini,

c) İletkenin çekme kuvvetini ve gerilmesini, bulunuz.

Çözüm:

Normal yapıdaki 2- tabakalı bir örgülü iletkende 1 + 1 x 6 + 2 x 6 = 19 damar bulunacaktır.

a) İletkenin çapı: d = 4.25 x 5 = 21.25 mm



b) İletkenin gerçek kesiti: $q = 19 \ \frac{\pi (4.25)^2}{4} = 269.4 \ mm^2$

c) İletkenin çekme huvveti: H = 19 * 200 = 3800 kg

iletkenin gerilmesi: $\sigma = H * q = 3800 * 269.4 = 14.1 \ kg/mm^2$

olarak hesaplanır.

Problem 1.3.

Birim ağırlığı 1.5 kg/m olan bir iletken IV. Bölgede gerilmiştir. Bu bölgede iletken üzerindeki birim buz yükünün 2.5 kg/m ve buz kılıfı çapının iletken çapının 2 katı olduğu bilinmektedir. Pürüzlülük katsayısı 1.0 ve dinamik rüzgar basıncı 50 kg/m^2 ise, eşzamanlı yük için birim eşdeğer ağırlığı bulunuz.

Çözüm:

IV. Bölgede k = 0.5 olduğundan, $g_b = k\sqrt{d}$ ifadesinden $2.5 = 0.5 \sqrt{d}$; d = 25 mm bulunur.

Tanım gereği $d_b = 2d = 50$ mm dir.

$g_{b,r} = c \cdot Q \cdot d_b \cdot 10^{-3} = 1.0 * 50 * 50 * 10^{-3} = 2.5$ kg/m olup

$g_{eş,r} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + g_{b,r}^2} = \sqrt{(1.5 + 2.5)^2 + 2.5^2} = 4.717$ kg/m

elde edilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 1.4

Çapı 2.5 mm olan bir iletken damarı, 1 saat süre ile 0.5 kg/mm^2 lik çekme gerilmesine kopmadan dayanmaktadır. Söz konusu damarlardan kullanılarak 1,2 ve 3 tabakalı örgülü iletkenlerden imal edilecektir. Buna göre örgülü iletkenlerin:

a) Saatlik gerilmesinin,

b) Saatlik çekme kuvvetinin,

tabaka sayısına göre ayrık değişimini çiziniz.

Çözüm:

a) 1 Tabakalı iletkende $1 + 1 * 6 = 7$ damar

2 Tabakalı iletkende $1 + 1 * 6 + 2 * 6 = 19$ damar

3 Tabakalı iletkende $1 + 1 * 6 + 2 * 6 + 3 * 6 = 37$ damar

bulunacaktır. O halde

1 Tabakalı iletkenin gerilmesi : $7 * 0.5 = 3.5$ kg/mm^2

2 Tabakalı iletkenin gerilmesi : $19 * 0.5 = 9.5$ kg/mm^2

3 Tabakalı iletkenin gerilmesi : $37 * 0.5 = 18.5$ kg/mm^2 olur.

b) Bir damarın kesiti $q' = \frac{\pi (2.5)^2}{4} = 4.9$ mm^2/ damar

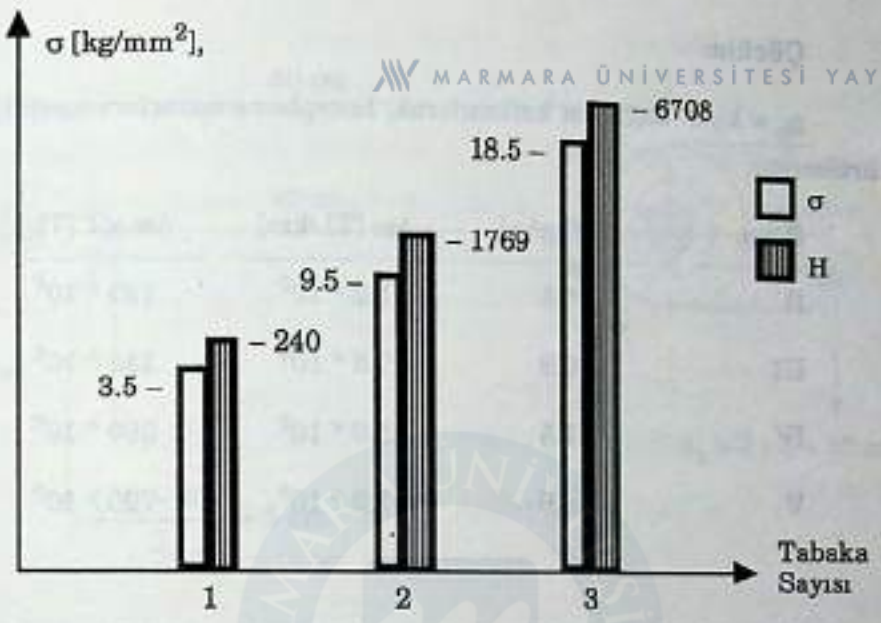
olacağından; 1,2 ve 3 tabakalı iletkenlerin kesitleri ve çekme kuvvetleri aşağıdaki değerleri alacaktır:

$7 * 4.9 = 34.3$ mm^2 ; $7 * 34.3 \cong 240$ kg

$19 * 4.9 = 93.1$ mm^2; $19 * 93.1 \cong 1769$ kg

$37 * 4.9 = 181.3$ mm^2; $37 * 181.3 \cong 6708$ kg

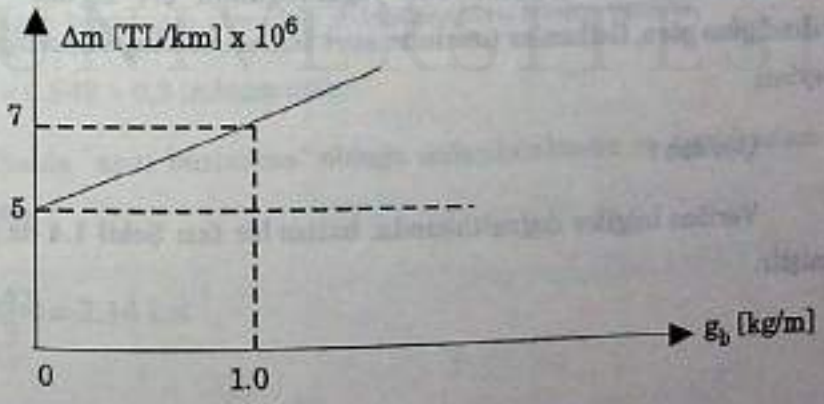
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 1.2. Saatlik çekme gerilmesi ve kuvvetinin tabaka sayısına bağlı ayrık değişimi.

Problem 1.5

100 km uzunluğundaki bir enerji iletim hava hattında 9 mm çapında örgülü iletkenlerden kullanılmıştır. Bu sistemde, birim buz yükünün kilometrik hat maliyetine etkisi Şekil 1.3 de görülmektedir. Dört buz bölgesi için, ek yükten ortaya çıkan hat maliyetini, buz yükü katsayısına bağlı olarak hesaplayınız.



Şekil 1.3. Buz yükünün hat maliyetine etkisi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$g_b = k\sqrt{d}$ bağıntısı kullanılarak, hesaplama sonuçları aşağıda belirtilmiştir.

Bölge	g_b [kg/m]	Δm [TL/km]	Δm x ℓ [TL]
II	0.6	$1.2 * 10^6$	$120 * 10^6$
III	0.9	$1.8 * 10^6$	$180 * 10^6$
IV	1.5	$3.0 * 10^6$	$300 * 10^6$
V	3.6	$7.2 * 10^6$	$720 * 10^6$

Hattın 5 milyon TL'lik maliyeti, ek yükten bağımsız (yapım, işletme vb.) maliyetlere karşılık düşmektedir; bu bakımdan dikkate alınmamıştır.

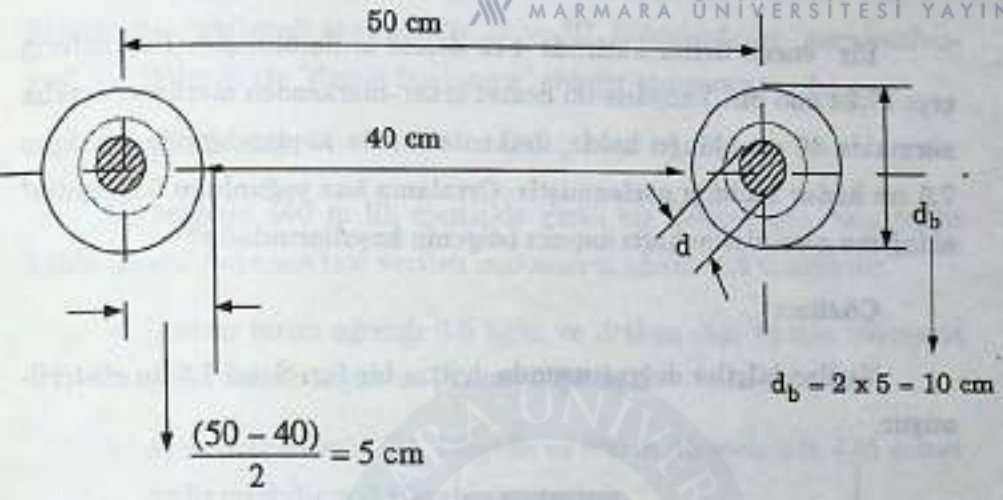
Problem 1.6

Bir enerji iletim hattında 2-li demet kullanılmıştır. İletkenlerin çapı 21.77 mm dir. Buzsuz halde demetler arasında -merkezden merkeze- 50 cm lik açıklık öngörülmüştür. İletkenler üzerinde buz kılıfı oluştuğunda, iletkenler arası açıklığın 40 cm ye düştüğü gözlenmiştir. Bölgenin III. Bölge ve ortalama buz yoğunluğunun 0.4 kg/dm^3 olduğu bilindiğine göre, iletkenler üzerinde aşırı buzlanma olup olmadığını belirleyiniz.

Çözüm :

Verilen bilgiler doğrultusunda, hattın bir fazı Şekil 1.4 de gösterilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 1.4 Buzlu halde 2.li demet düzeni.

Şekil yardımıyla buz kılıfının çapı 100 mm bulunur.

$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4.10^3\, k\sqrt{d}}{\rho_b\, \pi}} = \sqrt{21.77^2 + \frac{4.10^3 * k_x\sqrt{21.77}}{0.4\,\pi}} \overset{\Delta}{=} 100$$

Bu eşitlikten $k_x = 0{,}3$ (III. bölgenin buz yükü katsayısı) bulunması halinde, aşırı buzlanma olmadığı anlaşılacaktır. Hesap sonucu

$k_x = 0{,}642 > 0{,}3$ bulunmuştur."

O halde "aşırı buzlanma" olduğu anlaşılmaktadır ve aşırı buzlanma miktarı:

$$\frac{0.642}{0.3} = 2.14 \text{ kat}$$

olarak bulunur.

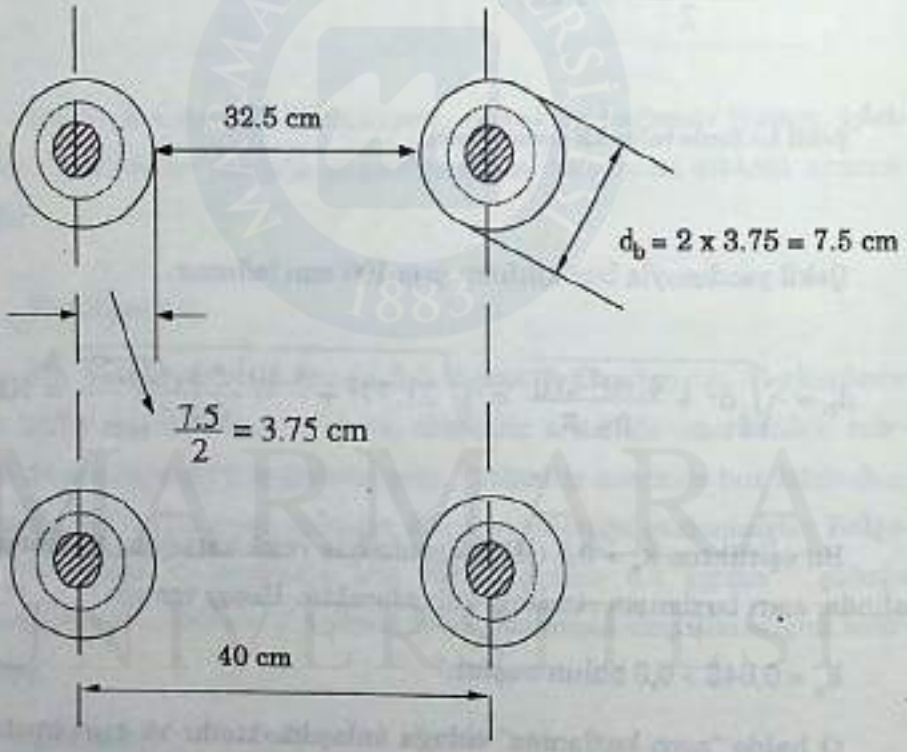
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 1.7

Bir enerji iletim hattında 4-lü demet kullanılmıştır. İletkenlerin çapı 17.28 mm dir. Yanyana iki demet arası -merkezden merkeze- açıklık normalde 40 cm olduğu halde, iletkenler buzla kaplandığında açıklığın 7.5 cm kadar azaldığı gözlenmiştir. Ortalama buz yoğunluğu 0.4 kg/dm^3 olduğuna göre, iletim hattı kaçıncı bölgenin koşullarındadır?

Çözüm:

Verilen bilgiler doğrultusunda, hattın bir fazı Şekil 1.5 de gösterilmiştir.



Şekil 1.5 Buzlu halde 4.lü demet düzeni.

Şekil yardımıyla buz kılıfının çapı 75 mm bulunur.

$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4000\, k\sqrt{d}}{\rho_b\ \pi}} = 75 \overset{\Delta}{=} \sqrt{17.28^2 + \frac{4000\, k\sqrt{17.28}}{0.4\ \pi}}$$

Buradan k ≅ 0.4 bulunur. O halde, iletim hattının II., III., IV. Bölgelerde olabileceği söylenebilir. II. ve III. Bölgelerde ise "aşırı buzlanma", IV. Bölgede ise "düşük buzlanma" olduğu sonucuna varılır.

Problem. 1.8

II. bölgede 400 m lik menzilde gerili bir iletken için, tam buzlu halde menzil boyunca izin verilen maksimum ağırlık 1.6 ton/faz dır.

a) İletken birim ağırlığı 0.5 kg/m ve iletken çapı 16 mm olduğuna göre, demet sayısı en çok kaç seçilebilir?

b) Aynı iletkenlerle, III. Bölgede ve 300 m lik menzilde 4-lü demet kullanılabilir mi? Hesapla gösteriniz.

Çözüm:

a) n demet sayısı olmak üzere, menzil için

$$n\,(g_i + k\sqrt{d}\,).\,a = G_{max}$$

yazılabilir. Verilenler yerlerine konulursa

$$n\,(0.5 + 0.2\sqrt{16}\,).\,400 = 1600$$

Buradan n ≅ 3.07 bulunur. Güvenlik payı da dikkate alınarak, 3-lü demet kullanılabilir.

b) Bu kez

$$n\,(g_i + k'\sqrt{d}\,).\,a' = G_{max}$$

ifadesi yardımıyla

$$n'\,(0.5 + 0.3\sqrt{16}\,).\,300 = 1600\,;\quad n' \cong 3.13 \text{ bulunur.}$$

Bu durumda 4-lü demet kullanılamayacaktır; ancak direk açıklığının daha düşürülmesiyle kullanılabilir.

Problem 1.9

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Kesiti 276.1 mm^2, çapı 21.7 mm, birim ağırlığı 0.912 kg/m olan bir iletken III. Bölgede 400 m lik direk açıklığında gerilmiştir. Eşzamanlı yük etkimesi halinde, bileşke özgül ağırlığı ve menzil boyunca bileşke yükü bulunuz. Buzun fiziksel yoğunluğu 0.4 kg/dm^3, dinamik rüzgar basıncı 30 kg/m^2 olup, $d_b - c$ ilişkisi şu şekilde verilmiştir:

d_b [mm]	c
55 ile 65	1.8
66 ile 75	2.0
76 ile 85	2.2

Çözüm:

Eşzamanlı yük için, önce buz kılıfı çapını bulalım:

$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4.10^3\, k\sqrt{d}}{\rho_b \pi}} = \sqrt{21.7^2 + \frac{4000 * 0.3\sqrt{21.7}}{0.4\,\pi}} = 70.13 \text{ mm}$$

Buna göre $c = 2.0$ alınacaktır.

Buzlu iletkene gelecek yatay kuvvet

$g_{b,r} = c \cdot Q \cdot d_b \cdot 10^{-3} = 2.0 * 30 * 70.13 * 10^{-3} = 4.207$ kg/m ve

toplam düşey kuvvet $g_i + g_b$

$g_i = 0.912$ kg/m

$g_b = k\sqrt{d} = 0.3\sqrt{21.7} = 1.39$ kg/m ; $g_i + g_b = 2.302$ kg/m

bulunduktan sonra metre başına bileşke yük

$$g_{eş,r} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + g_{b,r}^2} = \sqrt{(2.302)^2 + (4.207)^2} = 4.8 \text{ kg/m}$$

bileşke özgül ağırlık

$\gamma_{eş\ b,r} = g_{eş\ b,r} / q = 4.8 / 276.1 = 17 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Menzil boyunca bileşke yük

$G_{eş\ b,r} \equiv g_{eş\ b,r} * a = 4.8 * 400 = 1920$ kg / faz

bulunur.

Problem 1.10

Çapı 24.1 mm, birim ağırlığı 1.288 kg/m, kesiti 294.9 mm^2 olan enerjilendirilmemiş bir iletken üzerinde, III. Bölgede tam buzlu halde buz kılıfı ölçülmüştür. Yaklaşık silindirik kabul edilen buz örtüsü altında, hattın dört ayrı yerinden yapılan ölçümlerde buz kılıfı çapları: 70-74-75-71 mm bulunmuştur. Eşzamanlı yük halinde, metre başına bileşke yük ne olacaktır? Buzlu halde etkin rüzgar hızı 72 km/h ve dinamik rüzgar bazıncı katsayısı 1.3 alınacaktır.

Çözüm:

Buzlu iletken çapının ortalama değerini bulalım:

$$\bar{d}_b = \frac{70 + 74 + 75 + 71}{4} = 72.5 \text{ mm}$$

$g_{eşb,r} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + g_{b,r}^2}$ bileşke yükünün hesabı istenmektedir.

$g_i = 1.288$ kg/m (verilmiş)

$g_b = k\sqrt{d} = 0.3\sqrt{24.1} = 1.472$ kg/m

$g_{b,r} = c \cdot Q \cdot \bar{d}_b \cdot 10^{-3}$; $c = 1.3$; $\bar{d}_b = 72.5$ mm

$Q = \frac{v^2}{16}$ olup, burada v [m/s] dir. Birim değişimi yapılırsa.

$$v = 72 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 72 \frac{10^3 \text{ m}}{3600 \text{ s}} = 20 \text{ m/s}$$

$Q = \frac{20^2}{16} = 25\ kg/m^2$ olur, ve

$g_{b,r} = 1{,}3 * 25 * 72.5\ 10^{-3} = 2.356\ kg/m$

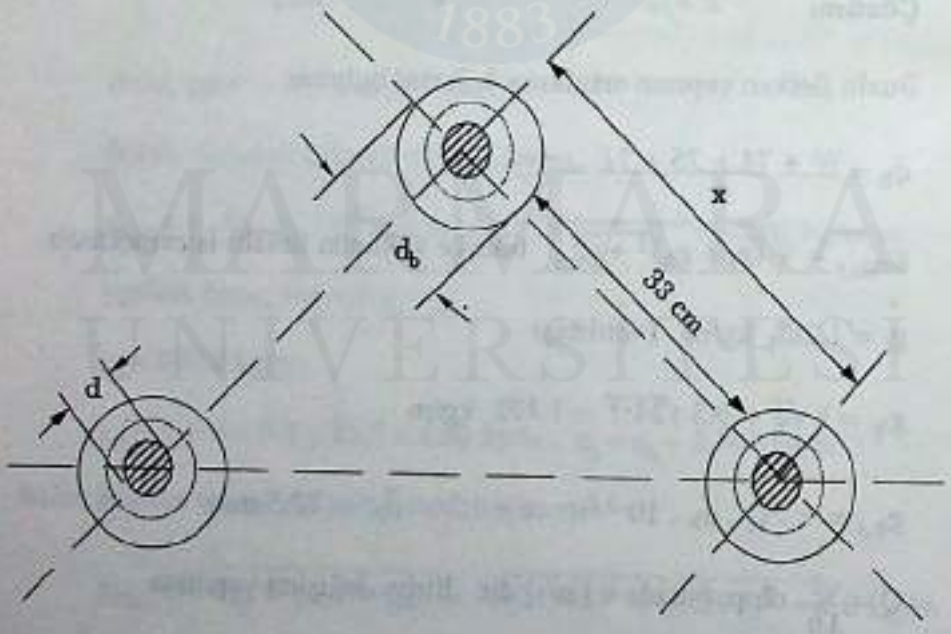
$g_{eşk,r} = \sqrt{(1.288^2 + 1.472)^2 + 2.356^2} = 3.628\ kg/m$

bulunur.

Problem 1.11

Bir enerji iletim hattında 3-lü demet kullanılmıştır. İletkenlerin çapı 16,28 mm dir. İletkenler tam buzla kaplı oldukları zaman, demetler arası açıklığın 33 cm den küçük olmaması istenmektedir. Bölgenin IV. Bölge ve ortalama buz yoğunluğunun 0,5 kg/dm^3 olduğu bilindiğine göre, direk üzerinde demetler arası açıklık en az ne kadar olmalıdır?

Çözüm:



Şekil 1.6 Buz yüklü halde 3-lü demet düzeni.

$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4000\ k\ \sqrt{d}}{\rho_b\ \pi}} = \sqrt{16{,}28^2 + \frac{4000 * 0.5\ \sqrt{16.28}}{0{,}5\ \pi}} \cong 73{,}5 \text{ mm}$$

$$\frac{d_b}{2} = \frac{73.5}{2} = 36.75 \text{ mm}$$

$$36{,}75 - \frac{d}{2} = 36.75 - \frac{16{,}28}{2} = 28.61 \text{ mm}$$

$$2\ (28.61) = 57.22 \text{ mm} \cong 5.7 \text{ cm}$$

$$x = 5{,}7 + 33 = 38.7 \text{ cm}$$

Direk üzerinde, demetler arası açıklığın yaklaşık 40 cm olması gerekir.

Problem 1.12

Bir bölgede 154 kV luk HAWK (kesiti 280.84 mm^2) ve 35 kV luk PIGEON (kesiti 99,3 mm^2) iletkenleri mevcuttur. Birim uzunluğa düşen buz yükü bakımından, HAWK iletkeni üzerinde PIGEON'a göre yaklaşık kaç kat fazla buz yükü oluşacaktır?

Çözüm:

İletkenler damarlı (örgülü) yapıda olduğu için, iletken kesiti yardımıyla iletken çapı yaklaşık olarak bulunabilir. Buna göre HAWK için

$$q_1 = \frac{\pi\ d_1^2}{4}; \qquad d_1 = \sqrt{\frac{4\ x\ 280.84}{\pi}} = 18.91 \text{ mm}$$

PIGEON için

$$q_2 = \frac{\pi\ d_2^2}{4}; \qquad d_2 = \sqrt{\frac{4\ x\ 99.3}{\pi}} = 11{,}25 \text{ mm}$$

$g_b = k\ \sqrt{d}$ bağıntısı her iki iletken için kullanılacak olursa, aynı bölge için k buz yükü katsayıları eşit olacağından

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\frac{g_{b_1}}{g_{b_2}} = \frac{k\sqrt{18.91}}{k\sqrt{11.25}} = 1.298 \equiv 1.3$$

Yaklaşık % 30 daha fazla buz yükü oluşur.

Problem 1.13

Bir hava hattı iletkeninde çelik/alüminyum oranı 8.92/53,52 (mm^2/mm^2) dir. Bu iletken 50 km boyunca 8 kg/mm^2 lik ortalama gerilme ile çekilmiştir. Normal işletmede yüke ilişkin değerler: 154 kV – 40 MVA dır.

a) İletkendeki çekme kuvveti nedir?

b) İletkendeki akım yoğunluğunu bulunuz.

Çözüm:

a) $H = \sigma \cdot q$; ; $q = q_t = q_{Al} + q_{st} = 8.92 + 53.52 = 62.44\ mm^2$

Mekanik hesaplarda "Toplam" iletken kesiti kullanılır.

O halde

$H = 8 * 62.44 = 499.5 \equiv 500$ kg

bulunur.

b) Elektriksel hesaplarda, yalnızca alüminyum damarların kesiti kullanılacağından akım yoğunluğu

$$j = I / q_{Al} \qquad [A / mm^2]$$

şeklinde yazılabilir.

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}\,U} = \frac{40 * 10^6}{\sqrt{3} * 154 * 10^3} \cong 150\ A$$

$$j = \frac{150}{53.52} = 2.8\ A/mm^2$$

bulunur.

Problem 1.14

154 kV luk 477 MCM iletkenli (çapı 21.77 mm olan) Çorlu-Hadımköy hattı Ocak 1974 de yıkıldığında, buzlu iletken çapının 80 mm olduğu gözlenmiştir. Yöredeki buz yoğunluğunun 0.8 kg/dm^3 ve buz yükü katsayısının 0.2 olduğu bilindiğine göre, yıkılmaya neden olan "aşırı buzlanma miktarı" nedir?

Çözüm:

$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4000\ k\sqrt{d}}{\rho_b \pi}}$ ifadesinde $d_b = 80$ mm konulursa

$$80 = \sqrt{21.77^2 + \frac{4000\ k'\sqrt{21.77}}{0.8\ \pi}}\ ;\ k' \equiv 0.8$$

elde edilir. $g_b = k\sqrt{d}$ ifadesi kullanılırsa

$$\left.\begin{aligned} g_b &= k\sqrt{d} = 0.2\sqrt{d} \\ g_{b'} &= k'\sqrt{d} = 0.8\sqrt{d} \end{aligned}\right\}$$

taraf tarafa bölüm yapılırsa, aşırı buzlanma miktarının 4 kat olduğu görülür.

Problem 1.15

Bir iletim hattında 795 MCM iletkeni kullanılmış olup iletkenin birim ağırlığı 1,622 kg/m ve çapı 28,11 mm olarak verilmektedir. Bu iletim hattı için öngörülen maksimum salınım açısı 40° dir. Daha büyük değer-

lerde faz-toprak arızası oluşabilmektedir. Arızaya yol açabilecek rüzgar hızını bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Rüzgar kuvveti nedeniyle salınım açısı

$$\tan\alpha_r = \frac{g_r}{g_i} \; ; \; \tan 40^\circ = \frac{g_r}{1.622} \; ; \; g_r = 1{,}361 \text{ kg/m}$$

bulunur. Diğer taraftan

$$g_r = Q \cdot d \cdot 10^{-3} \; ; \; Q = \frac{1.361}{28.11 * 10^{-3}} = 48.4 \text{ kg/m}^2$$

şeklindedir (d > 15.8 mm olduğu için, c = 1.0 alınmıştır.)

$$Q = \frac{v^2}{16} \; ; \; v = \sqrt{16\,Q} = \sqrt{16 * 48.4} = 27.83 \text{ m/s}$$

elde edilir.

Problem 1.16

Ağırlığı 1.513 kg/m, çapı 27.72 mm olan CONDOR iletkeni IV. Bölgede çekilmiştir. İletkende tam buz yükünün % 50'si kadar aşırı buzlanma olması halinde, eşzamanlı yüklenmeye ilişkin salınım açısı ne oranda değişir? (Bölgedeki buz yoğunluğu 0,.8 kg/dm^3 olup rüzgar hızının daima sabit olduğu varsayılmaktadır.)

Çözüm:

Önce normal buzlu hale ilişkin salınım açısını bulalım:

$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4.10^3\, k\, \sqrt{d}}{\rho_b \pi}} = \sqrt{27.72^2 + \frac{4000\ 0.5\ \sqrt{27.72}}{0.8\ \pi}} = 70.43 \text{ mm}$$

$g_b = k\sqrt{d}$; $g_i + g_b = 1.513 + 0,.5\sqrt{27.72} = 4.145$ kg/m

$\alpha_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{g_{b,r}}{g_i + g_b}\right)$; $g_{b,r} = Q \cdot d_b \cdot 10^{-3}$; $Q = \frac{v2}{16}$

Dinamik rüzgar basıncı (Q) rüzgar hızına bağımlıdır; ancak rüzgar hızı daima sabit olduğu için, buzlu iletken çapının bir fonksiyonu olarak değişecektir. O halde

$$\alpha_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{70.43 * 10^{-3}}{4.145}\right) \qquad (A)$$

% 50 Aşırı buzlanma halinde ise;

$$d_b' = \sqrt{d^2 + \frac{4\ 10^3\ (k\sqrt{d}\ )\ 1.50}{\rho_b \pi}} = \sqrt{27.72^2 + \frac{6000 * 0.5\sqrt{27.72}}{0.8\ \pi}}$$

$= 84$ mm

$\alpha_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{g_{b,r'}}{g_i + 1.50\ g_b}\right)$;

$g_i + 1.50\ g_b = 1.513 + 1.50 * 0.5\sqrt{27.72} = 5.462$ kg/m

$$\alpha'_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{84 * 10^{-3}}{5.462}\right) \qquad (B)$$

(A) ve (B) ifadelerinde, parantezler oranlanırsa

$\left(\frac{\alpha'_{b,r}}{\alpha_{b,r}}\right) \equiv 0.9$ bulunur. Bir diğer deyişle, salınım açısı ≈ % 10 azalır.

NOT: Bu oran yaklaşıktır. Çünkü Q doğrudan hesaplanamadığı için, $\alpha_{b,r}$ salınım açıları derece cinsinden bulunamamıştır. Ancak bir $\tan^{-1}(\ )$ ifadesinde, parantez içi büyüdükçe açını da artacağı bilinmektedir.

Problem 1.17

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

50 km uzunluğundaki bir enerji iletim hattında 477 MCM lik çelik-alüminyum iletken kullanılmıştır. (iletkenin çapı 21,77 mm dir.) Söz konusu hattın 15 km lik kısmı III. bölgeden, 25 km lik kısmı II. Bölgeden ve 10 km lik kısmı da IV. Bölgeden geçiş yapmaktadır.

İletim hattı boyunca "ortalama buz yükü"nü bulunuz.

Çözüm:

$g_b = k\sqrt{d}$ ve $G_{bj} \cong l_j \; g_{bj}$ $(j = 1,2,3)$; l_j : j. hat parçasının uzunluğu [kg/m] ifadeleri yardımıyla

$$G_{b1} = 15 * 10^3 * 0.3 \sqrt{21.77} = 21000 \text{ kg/faz}$$

$$G_{b2} = 25 * 10^3 * 0.2 \sqrt{21.77} = 23330 \text{ kg/faz}$$

$$G_{b3} = 10 * 10^3 * 0.5 \sqrt{21.77} = 23330 \text{ kg/faz}$$

Ortalama buz yükü $(\overline{g}_b)$:

$$\overline{g}_b = \frac{\sum_{j=1}^{3} G_{bj}}{\sum_{j=1}^{3} l_j} = \frac{21000 + 23330 + 23330}{50000} = 1.35 \text{ kg/m.-faz}$$

bulunur.

Problem 1.18

Bir enerji iletim sisteminde çekilecek St-Al iletken için aşağıdaki bilgiler verilmiştir:

İletken ağırlığı = 0.8 kg/m

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Buz yükü ağırlığı = 2.5 kg/m

İletkene etkiyen rüzgar yükü = 0.6 kg/m

Tam buzlu iletkene etkiyen rüzgar yükü = 1.8 kg/m

60 km lik bir hat parçası için, ek yük olarak;

1°) Buz yükü

2°) Eşzamanlı yük

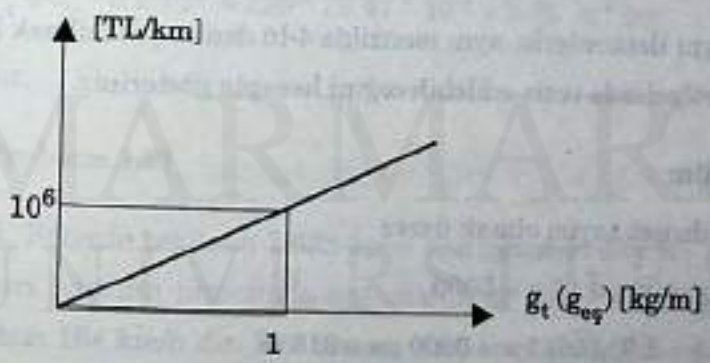
Öngörülmesi hallerinde, iletim maliyetindeki farkı bulunuz.

Ek yükün birim maliyete etkisi, bileşke yük başına 10^6 TL/km dir.

Çözüm:

1°) Buz yüklü hal için:

$g_t = g_i + g_b = 0,8 + 2,5 = 3,3$ kg/m



Şekil 1.7 Bileşke yükün hat maliyetine etkisi

1 kg/m ⟶ 10^6 TL/km

3.3 kg/m ⟶ 3.3×10^6 TL/km

60 km için $3.3 \times 10^6 * 60 = 198$ milyon TL olur.

2°) Eşzamanlı yük hal için:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$g_{eş,r} = \sqrt{(g_i + g_b)^2 + g_{b,r}^2} = \sqrt{(0.8 + 2.5)^2 + 1.8^2} = 3.76 \text{ kg/m}$$

1 kg/m ⟶ 10^6 TL/km

3.76 kg/m ⟶ $3.76 * 10^6$ TL/km

60 km için $3.76 \times 10^6 * 60 = 226$ milyon TL olur.

FARK Maliyet = 226 – 198 = 28 milyon TL bulunur.

Problem 1.19

V. Bölgede çekilmiş bir iletim hattında 3-lü demet kullanılacaktır. Tam buzlu halde, menzil boyunca 5 ton/fazlık ağırlığa izin verilmektedir.

a) İletkenin birim ağırlığı 0,5 kg/m ve iletken çapı 16 mm olduğuna göre, menzil en çok kaç [m] olabilir?

b) Aynı iletkenlerle, aynı menzilde 4-lü demet çekebilmek için, hattın hangi bölgelerde tesis edilebileceğini hesapla gösteriniz.

Çözüm

a) n demet sayısı olmak üzere

$n * (g_i + k\sqrt{d}) * a = 5000$

$3 (0.5 + 1.2\sqrt{16}) * a = 5000$; $a \cong 315$ m

bulunur.

b) $n' * (g_i + k_x\sqrt{d}) * a = 5000$

eşitliği kullanılarak $k_x = 0.867$ bulunur.

İletim hattının buz yükü katsayısı 0.867'den küçük bölgelerde (II, III ve IV. Bölgelerde) çekilebileceği görülmektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 1.20

Bir iletkenin tam buzlu iken, toplam ağırlığı; III. Bölgede 3.48 kg/m, IV. Bölgede ise 4.584 kg/m.dir. Bu iletken I. Bölgede çekilmiş olsaydı, rüzgara maruz yüzeyi kaç [m^2] olurdu? (Rüzgar menzili 320 m alınacaktır.)

Çözüm:

$g_t = g_i + g_b$ ve $g_b = k\sqrt{d}$ ifadeleri yardımıyla

$g_i + 0.3\sqrt{d} = 3.48$

$g_i + 0.5\sqrt{d} = 4.587$

---

eşitliklerinin taraf tarafa çıkarılmasıyla,

$-0.2\sqrt{d} = -1.104$; $\sqrt{d} = 5.52\ mm^{1/2}$; $d = 30.47\ mm$

bulunur. Rüzgara maruz iletken yüzeyi (F_r)

$F_r \equiv \alpha_r * d \times 10^{-3} = 320 * 30.47 * 10^{-3} = 9.75\ m^2/faz$

olacaktır.

Problem 1.21

II. Bölgede çekilmiş 1.622 kg/m ağırlığındaki 154 kV luk Paşalar-Adapazarı hattının projesinde öngörülen buz yükü 1,06 kg/m ve etkin rüzgar hızı 104 km/h dir. Söz konusu hat, arızalandığı zaman belirlenen buzlu iletken çapı 130 mm ve rüzgar hızı 70 km/h dir. Bölgedeki ortalama buz yoğunluğu 0,8 kg/dm^3 olduğuna göre;

a) Buzsuz iletkene projedeki rüzgar hızı etki ettiğinde,

b) Projedeki değerler doğrultusunda eşzamanlı yük varsayım altında,

c) Arıza oluşumundan hemen önceki eşzamanlı yük halinde,

"Salınım Açısı"nı ayrı ayrı hesaplayınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

a) $\alpha_r = \tan^{-1}\left(\frac{g_r}{g_i}\right)$; $g_r = Q \cdot d \cdot 10^{-3}$; $Q = v^2/16$

ifadeleri yardımıyla

$v = 104$ km/h $\Rightarrow$ 28,88 m/s olacağından

$$Q = \frac{28.88^2}{16} = 52.16 \text{ kg/m}^2 ;$$

$$g_b = k\sqrt{d} \; ; \; 1.06 = 0.2\sqrt{d} \; ; \; d = 28.09 \text{ mm}$$

$$g_r = 52.16 * 28.09 * 10^{-3} = 1.465 \text{ kg/m}$$

$$\alpha_r = \tan^{-1}\left(\frac{1.465}{1.622}\right) \cong 42°$$

bulunur.

b) $\alpha_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{g_{b,r}}{g_i + g_b}\right)$; $g_{b,r} = Q \cdot d_b \cdot 10^{-3}$

$$d_b = \sqrt{d^2 + \frac{4.10^3 \, k\sqrt{d}}{\rho_b \, \pi}} = \sqrt{28.09^2 + \frac{4000 * 0.2\sqrt{28.09}}{0.8\,\pi}}$$

$$= 49.77 \text{ mm}$$

$$g_{b,r} = 52.16 * 49.77 * 10^{-3} = 2.596 \text{ kg/m}$$

$$\alpha_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{2.596}{1.622 + 1.06}\right) \cong 44°$$

elde edilir.

c) Arızadan hemen önce;

$$g_{b,r}' = Q' * d_b' * 10^{-3} \; ; \quad Q' = \frac{(v')^2}{16}$$

bağıntıları yardımıyla

$v' = 70$ km/h $\Rightarrow$ 19.44 m/s

$$Q' = \frac{19.44^2}{16} = 23.63 \text{ kg/m}^2$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$g'_{b,r} = 23.63 * 130 * 10^{-3} = 3.07 \text{ kg/m}$$

Arızadan hemen önceki "aşırı buz katsayısı"nı (k') hesaplamak gerekir:

$$130 \overset{\Delta}{=} \sqrt{28.09^2 + \frac{4000\, k' \sqrt{28.09}}{0.8\,\pi}} \quad ; \quad k' = 1.909$$

$$g'_b = k' \sqrt{d} = 1.909 \sqrt{28.09} = 10,12 \text{ kg/m}$$

$$\alpha'_{b,r} = \tan^{-1}\left(\frac{g'_{b,r}}{g_i + g'_b}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3.07}{1.622 + 10.17}\right) = 14.65°$$

olarak bulunur.

Problem 1.22

Ağırlığı 0.972 kg/m olan HAWK iletkeni, 400 m lik bir simetrik menzilde çekilmiştir. İletken tam buzla yüklendiğinde, ağırlığı 1.905 kg/m olmaktadır.

a) Yaz aylarında iletken üzerine, ortalama ağırlıkları 2 kg olan göçmen kuşların konması söz konusudur. İletkene kaç adet kuşun konması halinde, buzlu haldeki ağırlığa ulaşılır?

b) Gene yaz aylarında bu kuşlardan 50 tanesi iletken üzerine konmuş olsa, "menzil boyunca ortalama ağırlık" [kg/m] olarak ne olur?

c) İletken tam buzla yüklü iken, menzilin askı noktasından itibaren 150 m lik bölümündeki buz kılıfının yarısı dökülecek olsa, "menzil boyunca ortalama ağırlık" [kg/m] olarak ne olur?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

a) $g_b = g_t - g_i = 1.905 - 0.792 = 0.933$ kg/m

$G_b = q \times g_b = 40 * 0.933 = 373.2$ kg $\triangleq$ $G_{kuş}$ olacak!

Kuş sayısı N olsun. Her kuşun ortalama ağırlığı 2 kg verildiğine göre

$$N = \frac{373.2}{2} = 187 \text{ kuş}$$

bulunur.

b) $G_i = a * g_i = 400 * 0.972 = 388.8$ kg

$$\bar{g} = \frac{50 * 2 + 388.8}{400} = 1.222 \text{ kg/m}$$

c) $g_i + \frac{g_b}{2} = 0.972 + \frac{0.933}{2} = 1.438$ kg/m

$$\bar{g} = \frac{250 * 1.905 + 150 * 1.438}{400} = 1.73 \text{ kg/m}$$

olacaktır.

Problem 1.23

Bir enerji iletim hattında 795 MCM iletkeni kullanılmıştır. (Bu iletkende 7 adet çelik damar ve 54 adet alüminyum damar bulunmaktadır.) Hattın vadi yamacından geçen bölümünde iletkenin güçlendirilmesi öngörülmüştür. Bu amaçla, aynı kesitteki damarlardan oluşan ancak 2 tabakalı çelik öze sahip "özel iletken"in eklenmesi düşünülmüştür. Söz konusu iletkende, 795 MCM iletkene göre; oluşacak buz yükü ve rüzgar yükü, teorik olarak, hangi oranlarda değişecektir?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Çelik-alüminyum iletkenlerin genel yapısı gereği, her tabakada 6 (ve 6'nın katı) kadar damar bulunur.

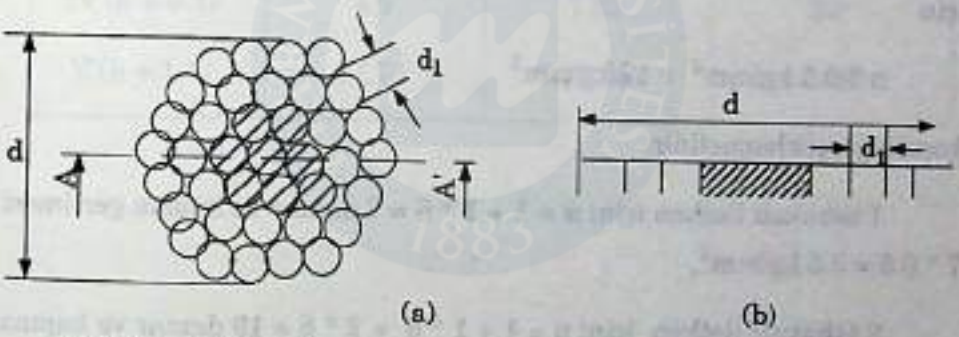
Buna göre 1. tabakada 1 + 1 x 6 = 7 St damar, ve

2. tabakada 2 * 6 = 12 Al damar

3. tabakada 3 * 6 = 18 Al damar

4. tabakada 4 * 6 = 24 Al damar

Toplam : 54 Al damar bulunacaktır.



Şekil 1.8 795 MCM iletkenin enine kesit görüntüsü (a) ve A - A' kesit görüntüsü (b).

Damar çapı d_1 olmak üzere, $d = 9\, d_1$ yazılabilir.

2 tabakalı çelik öze sahip özel iletkende ise, aynı yaklaşımı kullanarak $d' = 11\, d_1$ yazılabilir.

$g_b = k\sqrt{d}$ ve $g_b' = k\sqrt{d'}$ bağıntılarından

$\frac{g'_b}{g_b} = 1,.105$ (Buz yükü ≈ %,10 artar.)

$g_r = c * Q * d * 10^{-3}$ ve $g_r' = c * Q\, d' * 10^{-3}$ bağıntılarından

$\frac{g'_r}{g_r} = 1.22$ (Rüzgar yükü ≈ % 22 artar.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 1.24

Bir iletim hattında örgülü iletken kullanılacaktır. Örgülü iletkenin 17 kg/mm^2 lik gerilmeye dayanması gerekmektedir. Bu durumda, (kopma gerilmesi 0.5 kg/mm^2 olan damarlardan kullanılarak) kaç tabakalı örgülü iletken seçilmelidir?

Çözüm:

Bir örgülü iletkende n. tabakadaki damar sayısı

$1 + 1 * 6 + 2 * 6 + ... + n * 6$

şeklindedir. Toplam damar sayısı n olmak üzere, seçilecek iletken için

$n * 0.5$ kg/mm^2 > 17 kg/mm^2

koşulu gerçeklenmelidir.

1 tabakalı iletken için: $n = 1 + 1 * 6 = 7$ damar ve kopma gerilmesi $7 * 0.5 = 3.5$ kg/mm^2,

2 tabakalı iletken için: $n = 1 + 1 * 6 + 2 * 6 = 19$ damar ve kopma gerilmesi $19 * 0.5 = 9.5$ kg/mm^2,

3 tabakalı iletken için: $n = 1 + 1 * 6 + 2 * 6 + 3 * 6 = 37$ damar ve kopma gerilmesi $37 * 0.5 = 18.5$ kg/mm^2 bulunur.

Demek ki, 3 tabakalı örgülü iletken kullanılmalıdır.

Problem 1.25

Türkiye'de çapı 24 mm olan çelik-alüminyum iletkenlerin kullanılmasıyla 2-li demet, 3-lü demet ve 4-lü demet projesinde buz yükü miktarlarını karşılaştırınız.

Çözüm:

$g_b = k \sqrt{d}$ bağıntısı kullanılarak, faz başına buz yükü miktarları

Tablo 1.1 de verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Tablo 1.1

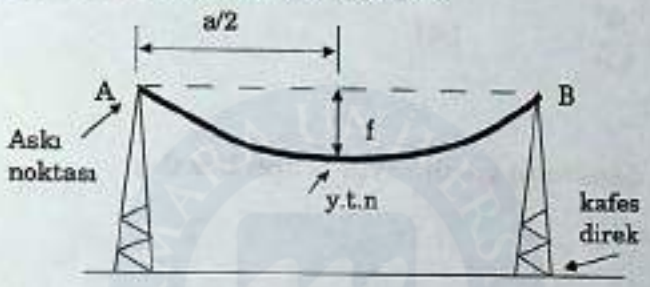
Bölge ve buz yükü katsayısı	Buz yükü [kg/m] toplam değeri/faz		
	2-li Demet	3-lü Demet	4-lü Demet
II (k = 0.2)	1.96	2.34	3.92
III (k = 0.3)	2.94	4.41	5.88
IV (k = 0.5)	4.9	7.35	9.8
V (k = 1.2)	11.75	17.64	23.52

2.0 SİMETRİK MENZİL HESAPLARI

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

2.1. Giriş

Aralarında yükselti (kot) farkı bulunmayan iki direk arasında çekilen iletken, "simetrik menzil" oluşturur, Menzil (direk açıklığı) a ile gösterilir. Uygulamada düz arazi bulmak çok güç olmakla birlikte, birkaç metrelik farklılıklar dikkate alınmayabilir.



Şekil G2.1 Simetrik menzilin basit gösterimi.

İletkenin yere en yakın noktası "yatay teğetli nokta (y.t.n.)" ve sarkma miktarı da "sehim (fleş)" olarak tanımlanır. Bu iki büyüklüğün, iletkenlerin mekanik hesabında oldukça önemli yeri vardır.

Hesaplarda ve yukarıdaki basit gösterimde şu kabuller geçerlidir:

- Bir faz (veya demet iletkeni) göz önünde bulundurulur.

- İzolatörlerin etkisi dikkate alınmaz.

- İletken eğrisi parabol olarak düşünülebilir.

- Her iki direğin de aynı tipte, aynı modelde ve eşit yükseklikte olduğu kabul edilir.

- İletim, güzergah boyunca devam etmekte olup yapılacak hesap ele alınan menzile ilişkin olacaktır.

- Yapılacak her hesap faz iletkenine olduğu gibi, koruma (toprak) teli için de uyarlanabilir.

Simetrik menzil hesapları, sehim hesabı ve çekme kuvveti (ge-

rilme) hesabı üzerinde yoğunlaşmıştır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Sehim hesabı için çeşitli yöntemlerden üçü kısaca özetlenmiştir.

Yaklaşık bağıntı yardımıyla sehim hesabı;

Yatay teğetli noktadaki çekme kuvveti H (veya gerilme σ) olmak üzere

$$f = \frac{g\,a^2}{8\,H} = \frac{\gamma a^2}{8\,\sigma} \qquad [m] \qquad (2.1)$$

yazılabilir.

Parabol denklemi yardımıyla sehim hesabı;

$$f = y = \frac{(a/2)^2}{2c} = \frac{a^2}{8\,c} \qquad [m] \qquad (2.2)$$

ifadesinde c : Sehim parametresi adını almakta ve

$$c = \frac{H}{g} = \frac{\sigma}{\gamma} \qquad [m] \qquad (2.3)$$

şeklinde tanımlanmaktadır.

Hiperbol denklemi yardımıyla sehim hesabı:

$$f = c\,(\cosh \frac{a}{2c} - 1) \qquad (2.4)$$

$$= \frac{a^2}{8\,c} + \frac{a^4}{384\,c^3} + \ldots$$

şeklinde verilebilir.

NOT 1: Ek yük olması halinde, ek yüklü hale ilişkin ağırlık (örneğin $g_t = g_i + g_b \ldots$) kullanılacaktır.

NOT 2: Hesaplarda birim ağırlık kullanıldığında çekme kuvveti, özgül ağırlık kullanıldığında ise gerilme kullanılır. Bu iki büyüklük arasındaki ilişki

$$\sigma = \frac{H}{q} \quad [kg/mm^2] \qquad (2.5)$$

şeklindedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Bir asimetrik menzilde askı noktalarındaki zorlanmalar birbirine eşit olup ($S_A = S_B$), yatay teğetli noktadaki zorlanma ile

$$S = H + g * f \tag{2.6a}$$

$$\sigma_{askı} = \sigma + \gamma * f \tag{2.6b}$$

bağıntısı mevcuttur. İletken üzerindeki herhangi bir N noktasındaki zorlanma ise

$$S_N = H + g * Y_N \tag{2.7a}$$

$$\sigma_N = \sigma + \gamma * Y_N \tag{2.7b}$$

şeklindedir. Y_N, parabol denklemiyle hesap edilir. Hat boyunca ortalama gerilme de

$$\bar{\sigma} = \sigma + f\gamma/2 \tag{2.8}$$

olmaktadır.

Her iki taraftaki menziller a_1 ve a_2 olan bir direğe faz iletkeninden dolayı gelecek düşey kuvvet

$$V = g\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right) \quad [kg] \tag{2.9}$$

değerindedir. Gerekirse koruma telinin etkisi, izolatör hırdavat takımı ağırlığı da bu ifadeye yansıtılabilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

2.2. Çözümlü Problemler

2. Bölüm

Problem 2.1

Kesiti 143 mm^2, çapı 15.7 mm ve özgül ağırlığı 3.45×10^{-3} kg/ $m.mm^2$ olan bir iletken, 300 m lik simetrik menzilde gerilidir. En alt traversin yere yüksekliği 22 m ve askı tipi izolatörün boyu 1.2 m dir. İletken tam buzla yüklü iken yere en çok 7 m yaklaşmasına izin verilmektedir. Yatay teğetli noktada öngörülen gerilme 7.35 kg/mm^2 olduğuna göre, bu iletken hangi bölgede tesis edilebilir?

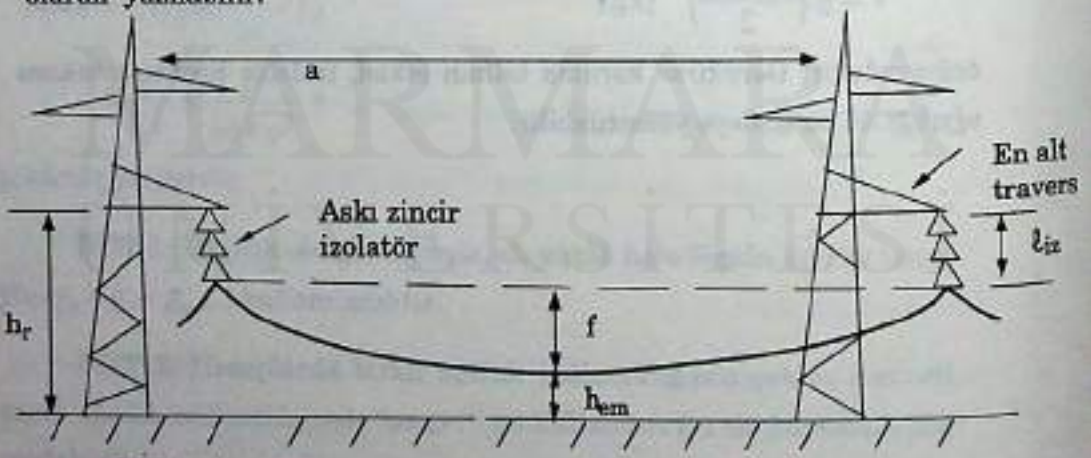
Çözüm:

Askı tipi izolatörden söz edildiği için, direklerin "Taşıyıcı Direk" oldukları anlaşılmaktadır (Şekil 2.1).

İzin verilen "h_{em}" emniyet mesafesi, y.t.n. daki buzlu hale ilişkin sehime göre verilmiş olduğu için; Şekil 2.1 yardımıyla en alt traversin yere olan yüksekliği h_T

$$h_T = \ell_{iz} + f + h_{em}$$

olarak yazılabilir.



Şekil 2.1 İletim Hattının görüntüsü.

Buradan

$$f = h_T - (\ell_{iz} + h_{em}) = 22 - (1.2 + 7) = 13.8 \text{ m olur.}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Söz konusu buzlu haldeki sehim

$$f = \frac{(\gamma_i + \gamma_b)\, a^2}{8\,\sigma}$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Burada

$$\gamma_b = \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{k\sqrt{15.7}}{143} = 27.7 * 10^{-3}\, k$$

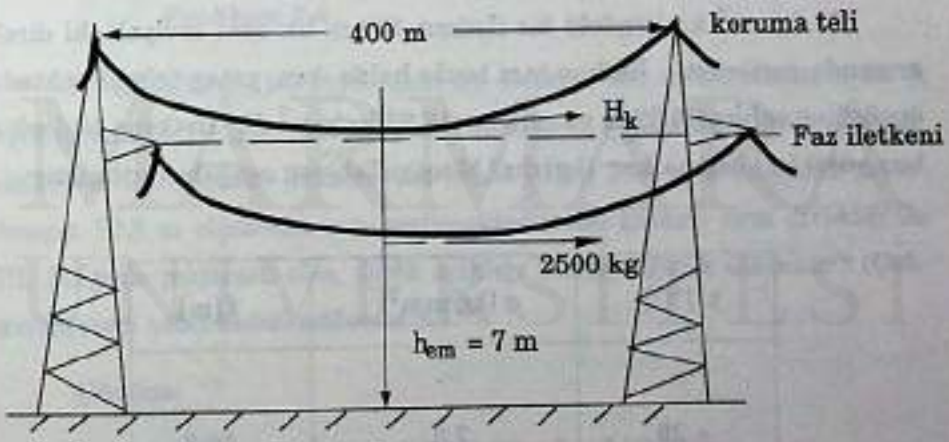
sehim ifadesinde yerine konulur ve k hesaplanırsa k = 0,2 bulunur. Böylece hattın, II. Bölgede çekilebileceği anlaşılır.

Problem 2.2

Şekil 2.2 deki enerji iletim sisteminde koruma telinin ağırlığı 0,525 kg/m, faz iletkeninin ağırlığı ise 0,984 kg/m dir.

a) Faz ve koruma hatlarının sehimlerinin aynı olabilmesi için, H_k çekme kuvveti hangi değerde seçilmelidir?

b) Eğer h_{em} yüksekliğinin 6 m olması öngörülseydi, direk açıklığı kaç [m] olacaktı?



Şekil 2.2 İletim hattının görüntüsü.

Çözüm:

a) "i" indisi faz iletkenini, "k" indisi koruma telini göstermek üzere

$$f_i = \frac{g_i\, a^2}{8\, H_i} \quad ; \quad f_k = \frac{g_k\, a^2}{8\, H_k} \quad ; \quad f_i \overset{\Delta}{=} f_k$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

eşitlikleriyle

$$\frac{0.984 * 400^2}{8 * 2500} = \frac{0.525 * 400^2}{8\ x * H_k}$$

$$H_k = 1334 \text{ kg}$$

bulunur.

b) h_{em} yüksekliğinin 6 m olması, iletkenin sehiminin 1 m kadar artması anlamını taşır.

$$f_i + 1 = \frac{0.984 * 400^2}{8 * 2500} = 7.87 + 1 = 8.87 \text{ m}$$

$$8.87 = \frac{0.984 * (a')^2}{8 * 2500} \quad ; \quad a' = 424.6 \text{ m}$$

olarak alınacaktı.

Problem 2.3

93.2 mm^2 kesitindeki bir iletken 480 m lik aynı seviyeli iki direk arasında gerilmiştir. İletken tam buzlu halde iken, yatay teğetli noktada öngörülen sehim 35.32 m ve gerilme 16.25 kg/mm^2 dir. İletkene etki eden buz yükü [m] başına kaç [kg] dır? Montaj Tablosu aşağıda verilmiştir:

t [°C]	σ [kg/mm²]	f [m]
...	...	...
+ 25	7.3	36.3
...	...	...

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

+ 25 °C sıcaklık için,

$$f = \frac{\gamma_i \, a^2}{8 \, \sigma}$$ bağıntısı geçerlidir. Buradan

$$\gamma_i = \frac{8 \, \sigma}{a^2} = \frac{8 * 36.3 * 7.3}{480^2} = 9.2 * 10^{-3} \ \text{kg/m.mm}^2$$

Buz yüklü halde ise

$$f_{BY} = \frac{(\gamma_i + \gamma_b) \, a^2}{8 \, \sigma_{BY}} \quad ; \quad 35.32 = \frac{\gamma_t * 480^2}{8 * 16.25}$$

$$\gamma_t = 19.92 * 10^{-3} \ \text{kg/m.mm}^2$$

$$\gamma_b = \gamma_t - \gamma_i = 19.92 * 10^{-3} - 9.2 * 10^{-3} = 10.72 * 10^{-3} \ \text{kg/m.mm}^2$$

$$g_b = \gamma_b * q = 10.72 * 10^{-3} * 93.2 = 1 \ \text{kg/m}$$

bulunur.

Problem 2.4

Birim ağırlığı 1.0 kg/m olan bir iletken 300 m lik simetrik direk açıklığında II. Bölgede çekilmiştir. Bu bölgede $g_b = 1{,}20 \, g_i$ bağıntısının olduğu bilinmektedir. İletken tam buzlu yüklü iken yere en yakın mesafesinin 10,5 m olmasına izin verilmektedir. Bu iletken aynı direkler ile III. Bölgede çekilecek olsa, direk açıklığı hangi değerde olacaktır? (Çekme kuvveti sabit kabul edilecektir.)

Çözüm:

II. Bölgede: $g_t = g_i + g_b = 1.0 + 1.20 \times 1 = 2.20$ kg/m

$$f = \frac{g_t * a^2}{8 \, H} = \frac{2.20 * 300^2}{8 \, H} \qquad (1)$$

III. Bölgede: $g_t' = g_i + g_b'$; $g_b = k \sqrt{d} = 1.20$ kg/m idi.

$$\frac{0.2\sqrt{d}}{0.3\sqrt{3}} = \frac{1.20}{g_b'}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$g'_b = 1.80$ kg/m bulunur. $g_t' = 1 + 1.8 = 2.8$ kg/m

Sehim, bu durumda artış gösterecektir. Halbuki aynı direkler kullanıldığından, direk boyu değişmeyecek ve böylece iletkenin yere olan mesafesi 10.5 m nin altına inecektir. Bu duruma yol açmamak için, a menzili 300 m nin altına düşürülmelidir.

$$f' = \frac{g_t' (a')^2}{8\,H} = \frac{2.8 * (a')^2}{8\,H} \qquad (2)$$

(1) ve (2) bağıntılarında, sehimler eşitlenirse

$a' \cong 266$ m bulunur.

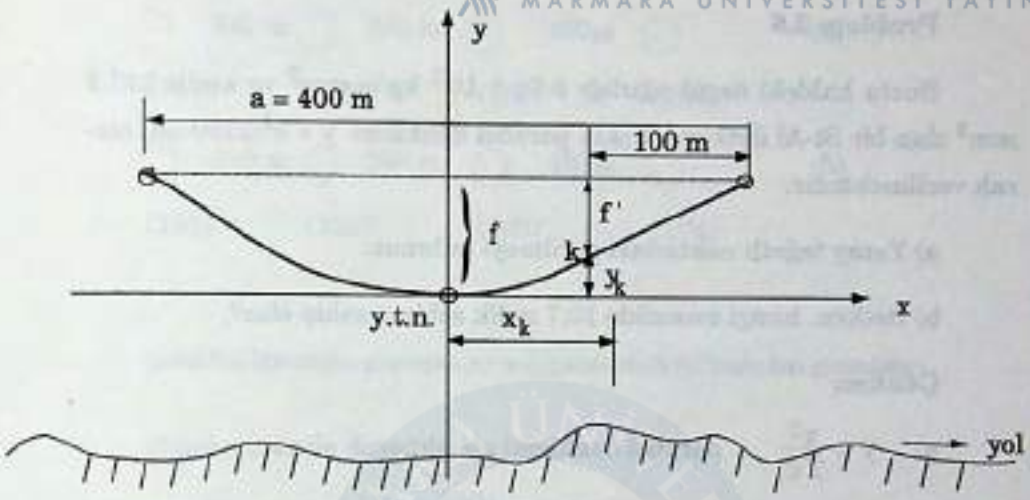
Problem 2.5

III. Bölgede gerili bulunan 400 m lik simetrik menzildeki bir iletim hattı parçasında, iletken kesiti 316.5 mm^2, iletken çapı 23.1 mm ve özgül ağırlık $3.65 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 dir. Tam buzlu halde yatay teğetli noktada ölçülen sehim 16.67 m olduğuna göre, bir askı noktasından itibaren 100 m mesafedeki sehimi bulunuz.

Çözüm:

İletken üzerinde herhangi bir noktadaki sehim (veya sarkma), "Parabol Denklemi" yardımıyla hesaplanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 2.3 Parabol kabul edilen iletim hattının x - y koordinat ekseninde gösterilmesi.

Şekilden: $f' = f - y_k$ dır.

$$f = \frac{(\gamma_i + \gamma_b)a^2}{8\sigma} \; ; \quad \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = \gamma_i + \frac{k\sqrt{d}}{q}$$

$$= 3.65 * 10^{-3} + \frac{0.3\sqrt{23.1}}{316.6}$$

$$= 8.2 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$16.67 = \frac{8.2 * 10^{-3} (400)^2}{8\sigma} \; ; \quad \sigma = 9.84 \text{ kg/mm}^2$$

$$c = \frac{\sigma}{\gamma_t} = \frac{9.84}{8.2 * 10^{-3}} = 1200 \text{ m}$$

$$y_k = \frac{x_k^2}{2c} = \frac{(200 - 100)^2}{2 * 1200} = 4.17 \text{ m}$$

$$f' = 16.67 - 4.17 = 12.5 \text{ m}$$

bulunur.

Problem 2.6

Buzlu haldeki özgül ağırlığı $9.52 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ve kesiti 247.2 mm^2 olan bir St-Al iletkene ilişkin parabol denklemi $y = x^2/2100$ [m] olarak verilmektedir.

a) Yatay teğetli noktadaki gerilmeyi bulunuz.

b) İletken, hangi menzilde 10,7 m lik sehime sahip olur?

Çözüm:

a) $y = \frac{x^2}{2c}$ parabol denklemi ele alınacak olursa,

$$c = \frac{2100}{2} = 1050 \text{ m bulunur.}$$

$$c = \frac{\sigma}{\gamma_t} \qquad \sigma = 1050 * 9.52 * 10^{-3} \cong 10 \text{ kg/mm}^2$$

b) $y = f = \frac{a^2}{8c} \overset{\Delta}{=} 10.7$ m olması için,

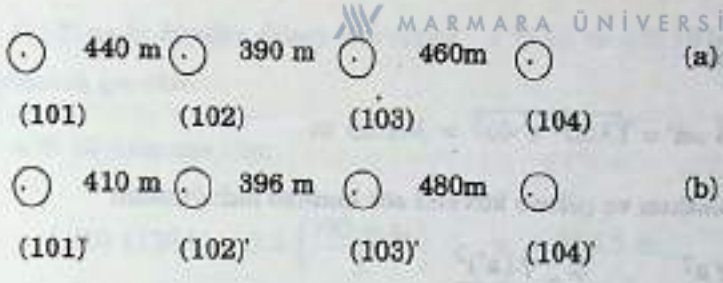
$a^2 = 8 * 1050 * 10.7 = 89880$ (m^2)

$a \cong 300$ m bulunur.

Problem 2.7

Düz arazide tesis edilecek bir iletim hattının projesinde, direklerin kuşbakışı yerleri Şekil 2.4 de gösterilmiştir. Ancak arazinin durumuna bağlı olarak, direk yerleri değişmiştir. Bu durumda (102)' ve (103)' numaralı direklere, iletkenlerden dolayı gelecek kuvvetler % kaç artacak ya da azalacaktır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 2.4 Direklerin projedeki (a) ve uygulamadaki (b) kuşbakışı görünüşleri.

Çözüm:

$$V_{(102)} = g\left(\frac{440+390}{2}\right) = 415\ g$$

$$V_{(102)'} = g\left(\frac{410+396}{2}\right) = 403\ g$$

$$V_{(103)} = g\left(\frac{390+460}{2}\right) = 425\ g$$

$$V_{(103)'} = g\left(\frac{396+480}{2}\right) = 438\ g$$

$$\frac{V_{(102)'}}{V_{(102)}} = \frac{403}{415} = 0.97 \quad (\%\ 3\ \text{azalır.})$$

$$\frac{V_{(103)'}}{V_{(103)}} = \frac{438}{425} = 1.03 \quad (\%\ 3\ \text{artar.})$$

Problem 2.8

Düz bir arazide tesis edilecek bir iletim hattının projelendirilmesinde, A ve B gibi iki nokta arasında 300 m lik menzil öngörülmüştür. Ancak uygulamaya geçildiğinde, arazi zeminindeki güçlükler nedeniyle, B noktasının 40 m kadar kuzey yöne kaydırılması gerekmiştir. Bu durumda sehim, proje üzerindeki değere göre % kaç değişecektir?

Çözüm:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\overline{A'B} = a' = \sqrt{300^2 + 40^2} = 302.65 \text{ m}$$

Aynı iletken ve çekme kuvveti söz konusu olduğundan

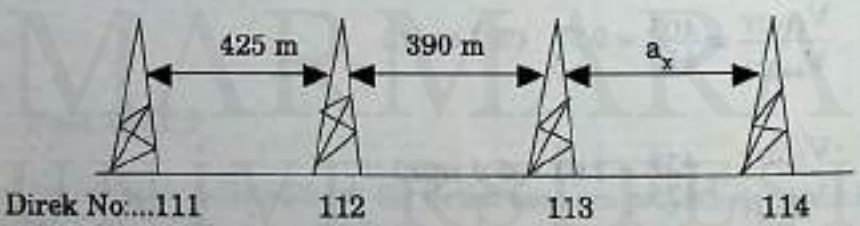
$$f = \frac{\gamma a^2}{8\sigma} \quad ; \quad f' = \frac{\gamma (a')^2}{8\sigma}$$

$$\frac{f'}{f} = \left(\frac{a'}{a}\right)^2 = \left(\frac{302.65}{300}\right)^2 \equiv 1{,}018$$

Bu durumda sehim = % 1.8 artacaktır.

Problem 2.9

Şekil 2.5 deki arazi profilinde, engebeler ihmal edilebilecek düzeydedir. Arazi boyunca, her direğe faz iletkenlerinden dolayı gelen kuvvetin, diğer direklerdekine göre en çok ± % 10 farklı (toleranslı) olmasına izin verilmektedir. Tam buzlu haldeki iletken ağırlığı 3.2 kg/m olduğuna göre; (113) ile (114) numaralı direkler arasındaki menzil, hangi sınırlar arasında seçilebilir?



Şekil 2.5 İletim hattının görüntüsü

Çözüm:

Verilen bilgiler ışığında, öncelikle ortadaki (112 no.lu) direği ele almak gerekir.

$$V_{(112)} = g\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right) = 3.2 \left(\frac{425 + 390}{2}\right) = 1304 \text{ kg}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

(113) no.lu direğin düşey kuvvetini, + % 10 ve – % 10 tolerans için hesaplamak gerekir:

+ % 10 tolerans için;

$$(1.10)\ (1304) = 3.2 \left(\frac{390 + a_x}{2}\right) \quad ; \quad a_x = 506.5 \text{ m}$$

– % 10 tolerans için;

$$(0.90)\ (1304) = 3.2 \left(\frac{390 + a_x}{2}\right) \quad ; \quad a_x = 434.5 \text{ m}$$

O halde a_x : (343,5,....., 506,5) m

sınırları arasında seçilebilir.

Problem 2.10

Simetrik menzil projesindeki bir menzilin uygulamada % 5 artırılması gerekmiştir. Sehimin projedeki değerinde aynı kalması için, çekme kuvveti hangi oranda değiştirilmelidir? Projedeki çekme kuvveti 1000 kg dır.

Çözüm:

a' = 1.05 a koşulu altında

$$f = \frac{g\,a^2}{8\,H} \quad ; \quad f' = \frac{g\,(a')^2}{8\,H} \quad ; \quad f \overset{\Delta}{=} f'$$

eşitlikleri kullanılarak

$$\frac{a^2}{1000} = \frac{1.1025\ a^2}{H'} \quad ; \quad H' = 1102.5 \text{ kg}$$

olmalıdır.

Problem 2.11

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Özgül ağırlığı $3.45 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ve gerilmesi 8.625 kg/mm^2 olan bir iletken, 600 m lik simetrik menzilde çekilmiştir. Sehimi;

a) "Yaklaşık Bağıntı" yardımıyla,

b) "Hiperbolik Fonksiyon" yardımıyla hesaplayınız.

Çözüm:

a) $$f = \frac{\gamma a^2}{8\sigma} = \frac{3.45 * 10^{-3} * 600^2}{8 * 8.625} = 18 \text{ m}$$

b) $$f = c\left[\cosh \frac{a}{2c} - 1\right]; \quad c = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{8{,}625}{3.45 * 10^{-3}} = 2500 \text{ m}$$

$$f = 2500\left[\cosh \frac{600}{2 * 2500} - 1\right] = 18.02 \text{ m}$$

veya seri açılımını kullanarak

$$f = \frac{a^2}{8c} + \frac{a^4}{384\,c^3} = \frac{600^2}{8 * .2500} + \frac{400^4}{384\,(2500)^3} = 18.02 \text{ m}$$

bulunur.

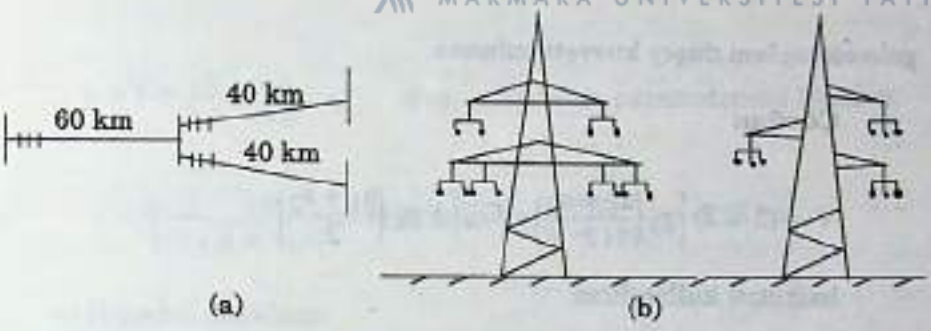
Problem 2.12

Düz arazide yer alan 154 kV luk iletim hattının 60 km lik bölümünde, öngörülen eşdeğer menzil boyunca, çift devre direkler kullanılmıştır. Tek devre direğin, çift devre direğe göre % 20 daha fazla düşey kuvvete dayandığı bilinmektedir. (Şekil 2.6)

a) 40 km lik hat bölümünde tek devre direkler kullanılacaktır. Burada öngörülecek maksimum eşdeğer menzil, 60 km lik hattınkinin % kaçı olabilir?

b) Tek devre direkte 4-lü demet kullanılması halinde, a-şıkkını yeniden cevaplayınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 2.6 İletim hattının tek-hat gösterimi (a) ve kullanılan direk modelleri (b).

Çözüm:

a) Eşdeğer menzil a olmak üzere, çift devre direğe gelecek düşey kuvvet şöyledir:

$$(2 \times 6)\, g \left(\frac{a + a}{2}\right) = 12\, g\, a \quad (kg)$$

40 km lik hattaki eşdeğer menzil a' olmak üzere, tek devre direk yukarıdaki değerin 1.20 katına dayanabildiğine göre

$$(12\, g\, a)\ 1.20 = (3 * 3)\, g \left(\frac{a' + a'}{2}\right)$$

$$\frac{a'}{a} = \frac{14,4}{9} = 1.6$$ (Menzil % 60 fazla olabilir.)

b) Bu duruma ilişkin eşdeğer menzil a" olmak üzere,

$$(12\, g\, a)\ 1.20 = (3 * 4)\, g \left(\frac{a'' + a''}{2}\right)$$

$$\frac{a''}{a} = \frac{14,4}{12} = 1.20$$ (Menzil % 20 fazla olabilir.)

Problem 2.13

Çift devre direklerin kullanıldığı bir iletim hattında, iletkenin ağırlığı 1 kg/m, koruma telinin ağırlığı 0.8 kg/m ve izolatör-hırdavat takımı ağırlığı 100 kg dır. Komşu menzilleri 360 m ve 400 m olan bir direğe

gelecek toplam düşey kuvveti bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$$V = (3 \times 2)\left[g_i\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right) + G_{iz}\right] + g_k\left(\frac{a_1 + a_2}{2}\right)$$

bağıntası kullanılırsa

$$V = (3 \times 2)\left[1\ \left(\frac{360 + 400}{2}\right) + 100\right] + 0{,}8\left(\frac{360 + 400}{2}\right)$$

$$= 3184 \text{ kg/direk}$$

bulunur.

Problem 2.14

Özgül ağırlığı $8.9 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 olan bir iletken, I. Bölgede 350 m lik simetrik direk açıklığında gerilmiştir. Yatay teğetli noktadaki gerilme 16 kg/mm^2 dir. Sehimi;

a) Yaklaşık bağıntı

b) Parabol denklemi

c) Hiperbol denklemi

d) Pratik bağıntı

yardımıyla hesaplayınız.

Çözüm:

a) I. bölgede $\gamma_b = 0$; $\gamma = \gamma_i$

$$f = \frac{\gamma * a^2}{8\,\sigma} = \frac{8{,}9 * 10^{-3}\ (350)^2}{8 * 16} \cong 8{,}.52 \text{ m}$$

b) Parabol denklemi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$y = f = \frac{x^2}{2c} = \frac{a^2}{8c}$ olup, önce sehim parametresini bulalım:

$$c = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{16}{8.9 * 10^{-3}} \cong 1800 \text{ m} \; ; \quad f = \frac{350^2}{8 * 1800} \cong 8.51 \text{ m}$$

c) Hiperbol denklemi

$$f = c\left(\cosh \frac{a}{2c} - 1\right) \text{ olup}$$

$$f = 1800\left(\cosh \frac{350}{2 * 1800} - 1\right) \cong 8,.51 \text{ m}$$

d) Pratik bağıntı

$$f = \frac{a * a^*}{8c} + \frac{3a^2 - 2h^2}{144\, a^*}\left(\frac{a^3}{8c^3}\right)$$

Simetrik menzil olduğu için; $h = O$; $a^* = a$

$$f = \frac{a^2}{8c} + \frac{3\,a^2}{144\, a}\left(\frac{a^3}{8\,c^3}\right) = \frac{350^2}{8 * 1800} + \frac{3\,(350)^2}{144 * 350}\left(\frac{350^3}{8 * 1800^3}\right)$$

$$\cong 8.51 \text{ m}$$

bulunur.

Problem 2.15

Bir enerji iletim hattı güzergahının 2.8 km lik kısmındaki taşıyıcı direklerin menzilleri, sırasıyla, 370 m - 420 m - 380 m - 430 m - 360 m - 400 m - 440 m dir. Bu kısımda "Eşdeğer Menzil" kaç metredir?

Çözüm:

Verilen yedi menzil için Eşdeğer Menzil

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$a_{eş} = \sqrt{\frac{a_1^3 + \ldots\ldots\ldots + a_7^3}{a_1 + \ldots\ldots\ldots + a_7}}$$

$$= \sqrt{\frac{370^3 + 420^3 + 380^3 + 430^3 + 360^3 + 400^3 + 440^3}{370 + 420 + 380 + 430 + 360 + 400 + 440}}$$

$$= 403 \text{ m}$$

bulunur.

Problem 2.16

Aynı seviyeli dört direk arasında birim uzunluğunun ağırlığı 1.6 kg/m, kesiti 412 mm^2 olan bir iletken, 2500 kg lık bir çekme kuvveti ile çekilecektir. Menziller 600 m - 450 m - 540 m olduğuna göre, bir faz için kaç [m] iletken kullanılacaktır?

Çözüm:

$$\Sigma L = L_1 + L_2 + L_3$$

$$L = a + \frac{1}{24} \cdot \frac{a^3}{c^2} \quad ; \quad c = \frac{H}{g} = \frac{2500}{1.6} = 1562.5 \text{ m}$$

$$L_1 = 600 + \frac{1}{24} \frac{(600)^3}{(1562.5)^2} = 603.88 \text{ m/faz}$$

$$L_2 = 450 + \frac{1}{24} \frac{(450)^3}{(1562.5)^2} = 451.55 \text{ m/faz}$$

$$L_3 = 540 + \frac{1}{24} \frac{(540)^3}{(1562.5)^2} = 542.68 \text{ m/faz}$$

$$\Sigma L \cong 1598 \text{ m/faz}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Üç fazlı bir enerji sistemi için 3 * 1598 = 4794 m, çift devre enerji sistemi için de (2 x 3) 1598 = 9588 m iletken kullanılacaktır.

Problem 2.17

Çapı 17,3 mm, kesiti 174.3 mm^2, birim ağırlığı 0.614 kg/m olan bir iletken, III. Bölgede 300 m lik simetrik menzilde gerilmiştir. Buzlu halde y.t.n. da seçilen maksimum gerilme 10 kg/mm^2 dir. Bu iletim hattında kullanılan direkler, aynı iletken kullanılarak V. Bölgede kullanılacak olsa, seçilecek menzilin maksimum değeri ne olur?

Çözüm:

III. bölgede sehimi bulalım:

$$\gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = \frac{g_i}{q} + \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{0.614}{174.3} + \frac{0.3\sqrt{17.3}}{174.3} = 10.68 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$f = \frac{\gamma_t a^2}{8\,\sigma_{-5°\,BY}} = \frac{(10{,}68 * 10^{-3})\,(300)^2}{8 * 10} \cong 12 \text{ m}$$

V. Bölge için özgül ağırlık

$$\gamma_t' = \gamma_i + \gamma_b' = \frac{0.614}{174.3} + \frac{1.2\sqrt{17.3}}{174.3} = 32.16 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

Aynı direkler kullanılacağı için, 12 m lik sehimin aynı kalması gerekir. V. Bölgede buz yükü arttığından, iletkenin fazla sarkmaması için a' < a olacağı açıktır.

$$f \overset{\Delta}{=} f' \;;\quad 12 = \frac{\gamma_t' (a)^2}{8\,\sigma_{-5°\,BY}}$$

$$12 = \frac{(32{,}16 * 10^{-3})\,(a')^2}{8 * 10} \;;\quad a' \cong 173 \text{ m}$$

bulunur. (Menzil = % 42 azaltılacaktır.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 2.18

Kesiti 143 mm^2, çapı 15.7 mm ve özgül ağırlığı $3.45 * 10^{-3}$ $kg/m.mm^2$ olan bir iletken III. Bölgede 400 m lik simetrik menzilde gerilmiştir. İletkenin bir askı noktasından itibaren 100 m lik ve 200 m lik kısmında "kısmi buz yükü" oluşması halinde, y.t.n.lar kaçar [m] yer değiştirir?

Çözüm:

$$\gamma_b = \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{0.3\sqrt{15.7}}{143} = 8.3 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm2}$$

$$\gamma_i = \gamma_i + \gamma_b = 3.45 * 10^{-3} + 8.3 * 10^{-3} = 11.75 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

100 m lik kısmi buz yükü varsayımı:

$$\tau = \frac{\text{Kısmi buz açıklığı}}{\text{Menzil}} = \frac{100}{400} = 0.25$$

$$\tau_o = \frac{\sqrt{\gamma_i \gamma_t} - \gamma_i}{\gamma_b} = \frac{\sqrt{3.45 * 10^{-3} * 11.75 * 10^{-3}} - 3.45 \times 10^{-3}}{8.3 * 10^{-3}} = 0.35$$

$\tau < \tau_o$ (0.25 < 0.35) olduğu için, y.t.n. buzsuz kısım üzerindedir.

$$x = \frac{1}{2}\left[\frac{\gamma_b}{\gamma_t}\ \tau\ (2 - \tau) + \frac{\gamma_i}{\gamma_t}\right]$$

$$= \frac{400}{2}\left[\frac{8.3 * 10^{-3}}{11,.75 * 10^{-3}}\ 0.25\ (2 - 0.25) + \frac{3.45 * 10^{-3}}{11,.75 * 10^{-3}}\right] = 120.5 \text{ m}$$

y.t.n. nın yer değiştirmesi (ΔX):

$$\Delta x = \frac{a}{2} - * = \frac{400}{2} - 120.5 = 79.5 \text{ m}$$

bulunur.

200 m lik kısmi buz yükü varsayımı:

$\tau = 0.5$; $\tau_o = 0.35$; $\tau > \tau_o$ (0.5 > 0.35) olduğu için, y.t.n. buzlu kısım üzerindedir. O halde

$$x' = \frac{400}{2}\left[\frac{8.3 * 10^{-3}}{11.75 * 10^{-3}} 0.5\,(2 - 0.5) + \frac{3.45 * 10^{-3}}{11.75 * 10^{-3}}\right] = 164.7 \text{ m}$$

ve y.t.n. nın yer değiştirmesi

$$\Delta x' = \frac{400}{2} - 164.7 = 35.3 \text{ m}$$

olacaktır.

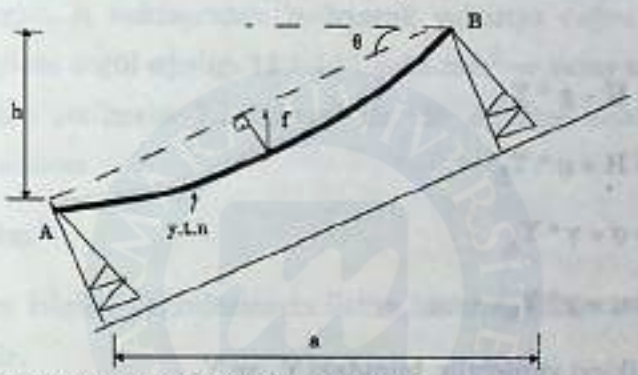
MARMARA ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3.0 ASİMETRİK MENZİL HESAPLARI

3.1. Giriş

Aralarında h gibi bir yükselti (kot) farkı bulunan iki direk arasında çekilen iletken, "asimetrik menzil"i oluşturur.



Şekil G 3.1 Asimetrik menzilin basit gösterimi.

Burada iki askı noktası arasında çizilen doğrunun orta noktasından çizilen dikmenin iletkeni kestiği noktadan direğe çizilen paralel, sehimi (f) verecektir. θ arazinin eğim açısı olup

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{a}\right) \qquad (3.1.)$$

şeklindedir. Simetrik menzilde sözü edilen kabuller burada da geçerlidir.

Yaklaşık bağıntı yardımıyla sehim hesabı;

$$f = \frac{g a^2}{8 H * \cos\theta} = \frac{\gamma a^2}{8 \sigma * \cos\theta} \quad [m] \qquad (3.2)$$

bağıntısıyla verilebilir.

Pratik bağıntı yardımıyla sehim hesabı;

$$f = \frac{g * a * a^*}{8H} + \frac{3a^2 - 2h^2}{144\, a^*}\left(\frac{a^3 g^3}{8H^3}\right) \qquad (3.3)$$

şeklinde tanımlanırken, a* menzili şöyle hesaplanır:

$$a^* = a/\cos\theta \qquad (3.4)$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Askı noktalarındaki zorlanma ile yatay teğetli nokta (y.t.n.) arasındaki ilişkiyi bulabilmek için, iletken eğrisi x-y koordinat eksenine y.t.n. sı orijine çakışacak şekilde yerleştirilir. A ve B askı noktalarının orijine olan yatay açıklıkları X_A ve X_B, düşey uzaklıkları da Y_A ve Y_B olmak üzere

$$S_A = H + g * Y_A \qquad (3.5)$$

$$S_B = H + g * Y_B$$

$$\sigma_A = \sigma + \gamma * Y_A \qquad (3.6)$$

$$\sigma_B = \sigma + \gamma * Y_B$$

eşitlikleri verilebilir. buradaki Y_A ve Y_B

$$Y_A = \frac{X_A^2}{2c} \qquad (3.7)$$

$$Y_B = \frac{X_B^2}{2c}$$

parabol denklemiyle hesaplanır. X_A ve X_B ise

$$x = \frac{ch}{a} \pm \frac{a}{2} \qquad (3.8)$$

bağıntısıyla bulunabilir. Burada y.t.n. nın menzil içinde kaldığı kabulüyle, şekil üzerinde kısa olan x açıklığı için (-), büyük olan x açıklığı için de (+) işareti alınacaktır.

Diğer taraftan, maksimum zorlanma yüksekteki direkte askı noktasında oluşacaktır. Bu değer biliniyorken y.t.n.daki zorlanma hesaplanacak ise aşağıdaki bağıntı kullanılır:

$$\left(\frac{h^2}{a^2} + 2\right)\sigma^2 - (2\,\sigma_{askı} - \gamma h)\,\sigma + \frac{a^2\gamma^2}{4} = 0 \qquad (3.9)$$

Bulunacak $\sigma_{1,2}$ kökünden, değerce büyük olanı kullanılır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

3.2. Çözümlü Problemler

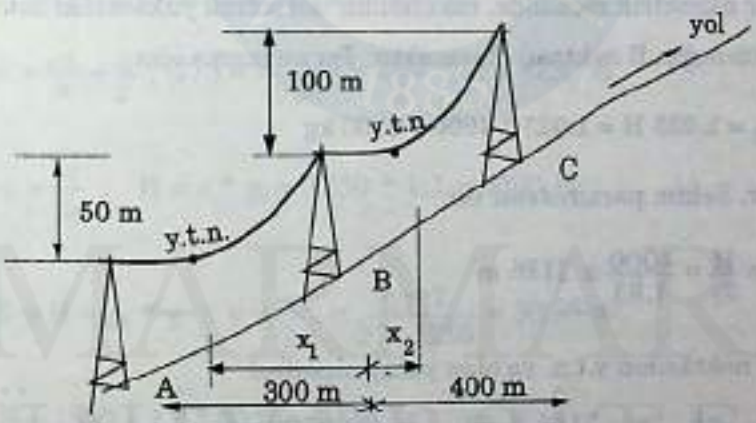
Problem 3.1

A, B, C gibi üç noktaya, aynı karakteristiklere sahip direklerden dikilmiştir. A-B arası yatay açıklık 300 m ve kot farkı 50 m dir. B-C arası yatay açıklık 400 m ve kot farkı 100 m dir.

Güzergah, A noktasından başlıyarak yukarıya doğru eğimlidir. İletkenin toplam özgül ağırlığı $12 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ve yatay teğetli noktalarda seçilen gerilmeler 7.2 kg/mm^2 dir. B direğine ilişkin "Ağırlık Menzili"ni bulunuz.

Çözüm:

Verilen bilgiler doğrultusunda iletim hattının görüntüsü Şekil 3.1 de verilmiştir.



Şekil 3.1. İletim hattının görüntüsü

Ağırlık menzili $(a_g) = x_1 + x_2$ dir

$$c = \frac{\sigma}{\gamma_1} = \frac{7.2}{12 * 10^{-3}} = 600 \text{ m olmak üzere}$$

$$x_1 = \frac{ch_1}{a_1} + \frac{a_1}{2} = \frac{600 * 50}{300} + \frac{300}{2} = 250 \text{ m}$$

$$x_2 = \frac{ch_2}{a_2} + \frac{a_2}{2} = \frac{600 * 100}{300} - \frac{300}{2} = -50 \text{ m}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$a_g = 250 + (-50) = 200 \text{ m}$$

bulunur.

Problem 3.2

Aralarındaki kot farkı 50 m olan A ve B gibi iki askı noktası arasına bir hat çekilmiştir. İletken ağırlığı 1,83 kg/m ve yatay teğetli noktada çekilen kuvvet 4000 kg dır. Sistemdeki en büyük zorlanma, yatay teğetli noktadaki değerin % 2,5 fazlasını aşmayacak koşulu altında, menzil hangi değerde olmalıdır?

Çözüm:

Bir asimetrik menzilde, maksimum zorlanma yüksekteki askı noktasında (örneğin B noktası) oluşacaktır. Bu zorlanma için

$$S_B = 1.025\ H = 1.025 * 4000 = 4100 \text{ kg}$$

olmalıdır. Sehim parametresi ise

$$c = \frac{H}{g_i} = \frac{4000}{1.83} \cong 2186 \text{ m}$$

B noktasının y.t.n. ya olan yatay mesafesi

$$x_B = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} = \frac{2186 * 50}{a} + \frac{a}{2} = \frac{109300}{a} + 0.5\ a \qquad (1)$$

denklemi yazılabilir. Diğer taraftan bu nokta için

$$S_B = H + g_i * y_B\ ;\ 4100 = 4000 + 1.83\ y_B\ ;\ y_B = 54.64 \text{ m}$$

ve

$$y_B = \frac{x_B^2}{2c}\ ;\ x_B = \sqrt{2c * y_B} = \sqrt{2 * 2186 * 54.64} = 488.76 \text{ m}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

x_B değeri (1) bağıntısında yerine yazılırsa

$$488.76 = \frac{109300}{a} + 0.50\,a \Rightarrow a^2 - 977.52\,a + 218600 = 0$$

Bu denklemin 346,33 ve 531,2 gibi iki kökü bulunur. $a < x_B$ olması, yatay teğetli noktanın menzil dışında olması demektir; bu ise sorunun verilişine uygun değildir. O halde uygun değer a = 631,2 m dir.

Problem 3.3

Menzilin 300 m, kot farkının 30 m olduğu bilinen bir iletim hattında, tam buzlu halde iken aşağı ağırlık menzilinin 275 m olması öngörülmüştür. Buzlu halde toplam ağırlık 1,2 kg/m dir. Yüksekteki askı noktasındaki çekme kuvvetini bulunuz.

Çözüm:

Aşağı ağırlık menzilinin tanımından

$$x = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2}\;;\; 275 = \frac{c * 30}{300} + \frac{300}{2}\;;\; c = 1250\ m$$

$$c = \frac{H}{g_t}\;;\; H = c * g_t = 1250 * 1{,}2 = 1500\ kg$$

$$S = H + g_t * y\;;\; y = \frac{x^2}{2c} = \frac{275^2}{2 * 1250} = 30.25\ m$$

$$S = 1500 + 1.2 * 30.25 = 1536\ kg$$

bulunur.

Problem 3.4

Bir vadi yamacında 500 m lik asimetrik direk açıklığında çekilmiş bulunan bir enerji iletim hattında, A ve B askı noktalarındaki gerilmeler çok duyarlı olarak belirlenmiş ve σ_A = 7.497 kg/mm^2 ile σ_B= 8.67 kg/mm^2 bulunmuştur. İletkenin özgül ağırlığı 11.76 * 10^{-3} kg/m.mm^2 dir.

Yukarı ağırlık menzili - 125 m olduğuna göre, yatay teğetli noktadaki gerilmeyi bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$\sigma_B > \sigma_A$ olduğuna göre, B noktası yüksekteki direği temsil etmektedir. Her iki nokta için askı noktalarındaki gerilmeler.

$$\sigma_A = \sigma + \gamma_t \; y_A$$

$$\sigma_A = \sigma + \gamma_t \; y_B$$

$$(\sigma_A - \sigma_A) = \gamma_t \; (y_A - y_B)$$

$$(7.497 - 8.67) = 11.76 \times 10^{-3} \; (y_A - y_B) = -1.173$$

Diğer taraftan

$$y_A = \frac{x_A^2}{2c} \; ; \; y_B = \frac{x_B^2}{2c} \; ; \; x_A = -125 \text{ m} \; ; \quad x_B = 375 \text{ m}$$

$$\frac{y_A}{y_B} = \frac{x_A^2}{x_B^2} = \frac{125^2}{375^2} = 0.111 \; ; \; y_A = 0.111 \; y_B$$

Bu değer yukarıda yerine konulursa

$$11.76 * 10^{-3} \; (0{,}111 \; y_B - y_B) = -1.173 \; ; \; y_B = 112.5 \text{ m}$$

$$\sigma_B = \sigma + \gamma_t * y_B \; ; \quad 8.67 = \sigma + 11.76 * 10^{-3} * 112.5$$

$$\sigma = 7.35 \text{ kg/mm}^2$$

bulunur.

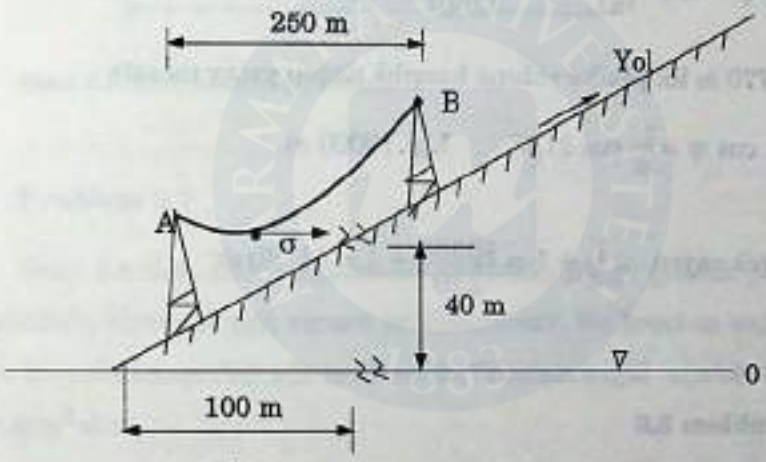
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 3.5

Bir enerji iletimin hattının çekileceği yolun profili Şekil 3.2 de gösterilmiştir. $\sigma = 10$ kg/mm^2 ve iletken özgül ağırlığı $40 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 dir.

a) σ_B değerini bulunuz.

b) Bu iletim hattının ilk 10770 metresinde ortalama kaç direk kullanılacaktır?



Şekil 3.2 İletim hattının görüntüsü.

Çözüm:

a) $\sigma_B = \sigma + \gamma * y_B$ olup

$$x_B = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} \; ; \quad c = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{10}{40 * 10^{-3}} = 250 \text{ m}$$

100 40

250 ⟶ h

h (kot farkı) = 100 m dir.

MARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$x_B = \frac{250 * 100}{250} + \frac{250}{2} = 225 \text{ m}$$

$$y_B = \frac{x_B^2}{2c} = \frac{225^2}{2 * 250} = 101.25 \text{ m}$$

$$\tau_B = 10 + 40 * 10^{-3} * 101.25 = 14.05 \text{ kg/mm}^2$$

b) $\psi = \tan^{-1}\left(\frac{h}{a}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{100}{250}\right) = 21.8°$ Arazi eğim açısı

10770 m lik patika yoluna karşılık düşen yatay mesafe

$$\cos\psi = \frac{L}{a} \cos 21{,}8° \quad ; \quad L \equiv 10000 \text{ m}$$

$$\text{Direk sayısı} = \frac{L}{a} + 1 = \frac{10000}{250} + 1 = 41 \text{ direk}$$

bulunur.

Problem 3.6

Aralarındaki yatay açıklık 300 m, kot farkı 110 m olan farklı seviyedeki iki askı noktası arasında eşdeğer birim ağırlığı 3,16 kg/m olan bir iletken gerilecektir. Belirli ortam koşullarında çekme kuvvetinin yatay bileşeni 1500 kg dır. İletken eğrisini yaklaşık olarak çiziniz.

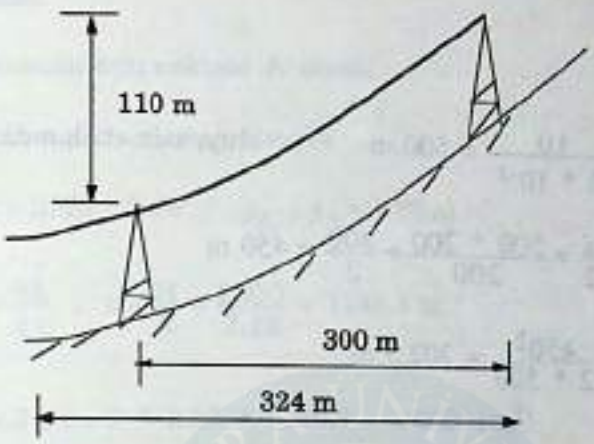
Çözüm:

$$c = \frac{H}{g} = \frac{1500}{3.16} = 474.68 \text{ m}$$

$$x = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} = \frac{474.68 * 110}{300} + \frac{300}{2} = 324 \text{ m}$$

$x > a$ çıktığından; yatay teğetli nokta direk açıklığı dışındadır. (Şekil 3.3).

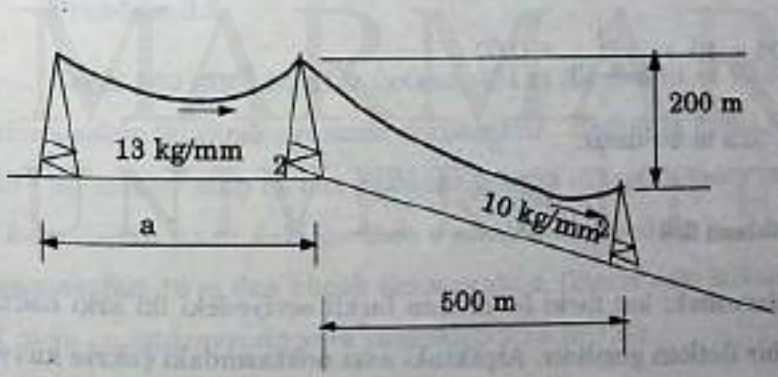
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.3 İletim hattının görüntüsü.

Problem 3.7

Şekil 3.4 deki enerji sisteminde, ortadaki direğe gelecek çekme gerilmelerinin birbirine eşit olması istenmektedir. Bu koşulun sağlanması için, a menzili hangi değerde seçilmelidir?Toplam özgül ağırlık $20 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 dir.



Şekil 3.4 Enerji iletim sistemi.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$$c = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{10}{20 * 10^{-3}} = 500 \text{ m}$$ olup, asimetrik menzil için

$$x = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} = \frac{500 * 200}{200} + \frac{500}{2} = 450 \text{ m}$$

$$y = \frac{x^2}{2c} = \frac{450^2}{2 * 500} = 202.5 \text{ m}$$

$$\sigma_{askı} = \sigma + \gamma y = 10 + 20 * 10^{-3} * 202.5 = 14.05 \text{ kg/mm}^2$$

Simetrik menzil için ise

$$\sigma_{askı} = 13 + \gamma \cdot \frac{(x')^2}{2c'}$$

$$x' = \frac{a}{2} \; ; \; c' = \frac{13}{20 * 10^{-3}} = 650 \text{ m}$$

$$\frac{(x')^2}{2c} = f = \frac{a^2}{8c'}$$ olduğundan

$$14.05 = 13 + \frac{a^2}{8 * 13} * 0.02$$

a ≡ 522 m bulunur.

Problem 3.8

Aralarındaki kot farkı 50 m olan farklı seviyedeki iki askı noktası arasında bir iletken gerilidir. Alçaktaki askı noktasındaki çekme kuvveti 2520 kg, y.t.n. daki kuvvet ise 2500 kg dır. İletkenin toplam ağırlığı 2.18 kg/m dir. Menzili hesap ediniz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Söz konusu askı noktası A olsun.

$S_A = H + g * y_A$ bağıntısıyla

$2520 = 2500 + 2.18 * y_A \; ; \; y_A = 8.95$ m

$$y_A = \frac{x_A^2}{2c} \; ; \; c = \frac{H}{g} = \frac{2500}{2.18} = 1146.8 \text{ m}$$

$$x_A^2 = 2 y c = 2 * 8.95 * 1146.8 = 20528 \, (m^2)$$

$x_A = 153.27$ m

B noktası yüksekteki direği temsil edeceğinden

$y_B = y_A + h = 8.95 + 50 = 58.95$ m

$$y_B = \frac{x_B^2}{2c} \; ; \; 58.95 = \frac{x_B^2}{2 * 1146.8} \; ; \; x_B = 367.7 \text{ m}$$

$a = |x_A| + |x_B| = 143.27 + 367.7 \cong 511$ m

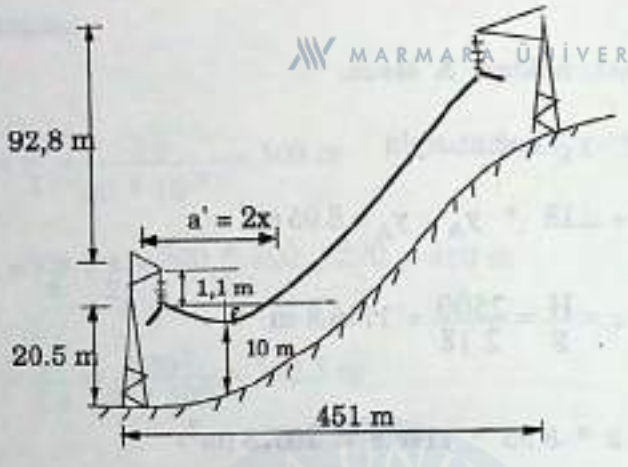
Problem 3.9

Kesiti 150 mm^2 olan bir iletken, 451 m lik menzil ve 92.8 m lik kot farkına sahip iki direk arasında çekilecektir. İletkenin özgül ağırlığı 8.9 * 10^{-3} kg/m.mm^2 olup ek buz yükünün 2 kg/m olduğu bilinmektedir. Buzlu hale ilişkin y.t.n. daki gerilme o şekilde seçilecektir ki, bu noktanın yere mesafesi 10 m den küçük olmayacaktır. (Zincir askı izolatörün boyu 1.1 m ve en alt traversin yere yüksekliği 20,5 m dir.)

Çözüm:

İletim hattı Şekil 3.5 de gösterilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.5 İletim hattının görüntüsü.

Şekilden : $20.5 = 10 + 1{,}1 + f$; $f = 9.4$ m olmalıdır.

$$y = f = \frac{x^2}{2c} \quad (1) \quad \text{ve} \quad x = \frac{ch}{a} - \frac{a}{2} \quad (2)$$

bağıntıları ele alınırsa, (1) den

$$x^2 = 2fc = 18.8\,c \quad (1') \qquad x = \sqrt{18.8\,c} = 4.33\sqrt{c}$$

Bu değer (2) de kullanılırsa

$$\frac{451}{c * 92.8} - \frac{451}{2} = 4.33\sqrt{c}$$

Düzenlenirse

$$c^2 + 2647\,c + 121 * 10^4 = 0$$

bulunur. Buradan uygun c değeri 587.4 (m) bulunur.

$$c = \frac{\sigma}{\gamma_t} \; ; \quad \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = 8.9 * 10^{-3} + \frac{2}{150} = 22.2 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\sigma = 587.4 * 22.2 * 10^{-3} = 13.04 \text{ kg/mm}^2$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 3.10

Menzilin 400 m, kot farkının 30 m olduğu bilinen bir iletim hattı için şu bilgiler verilmektedir: Buzsuz hal için: $3{,}45 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ve 6.9 kg/mm^2. Buzlu hal için: $8 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ve 10 kg/mm^2. İletkenin yatay teğetli noktası, buzlu halde kaç [m] ötelenir?

Çözüm:

Buzsuz halde

$$c = \frac{\sigma}{\gamma_i} = \frac{6{,}9}{3{,}45 * 10^{-3}} = 2000 \text{ m}$$

$$x = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} = \frac{200 * 30}{400} + \frac{400}{2} = 350 \text{ m}$$

Buzlu halde

$$c' = \frac{\sigma'}{\gamma_t} = \frac{10}{8 * 10^{-3}} = 1250 \text{ m}$$

$$x' = \frac{1250 * 30}{400} + \frac{400}{2} = 293.75 \text{ m}$$

$\Delta x = 350 - 293.75 = 56.25$ m ötelenir.

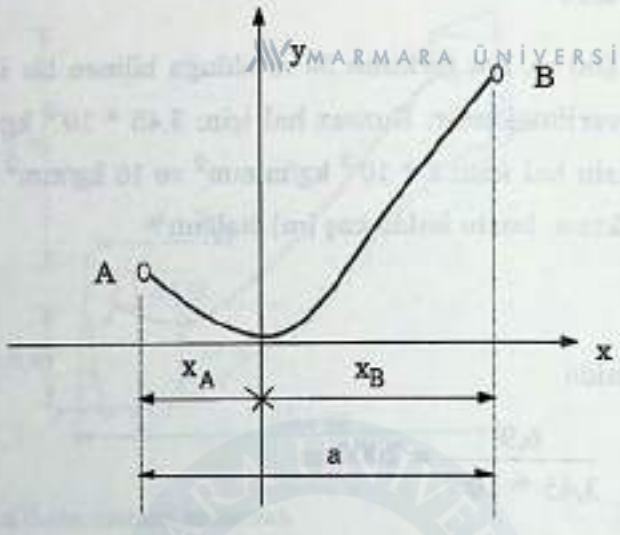
Problem 3.11

Bir iletim hattında "Aşağı Ağırlık Menzili/Menzil" oranının 0.8 olduğu bilinmektedir. "Yukarı Ağırlık Menzili/Menzil" oranını bulunuz.

Çözüm:

Şekil 3.6 da x_A yukarı ağırlık menzilini, x_B ise aşağı ağırlık menzilini tanımlamaktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.6 Ağırlık menzillerinin gösterilişi.

$\frac{x_B}{a} = 0.8$ oranı verildiğine göre, $x_B = 0{,}8\ a$ olur.

Ayrıca

$$|x_A| + x_B = a$$

eşitliği yazılacağından

$$|x_A| = a - 0.8\ a = 0.2\ a$$

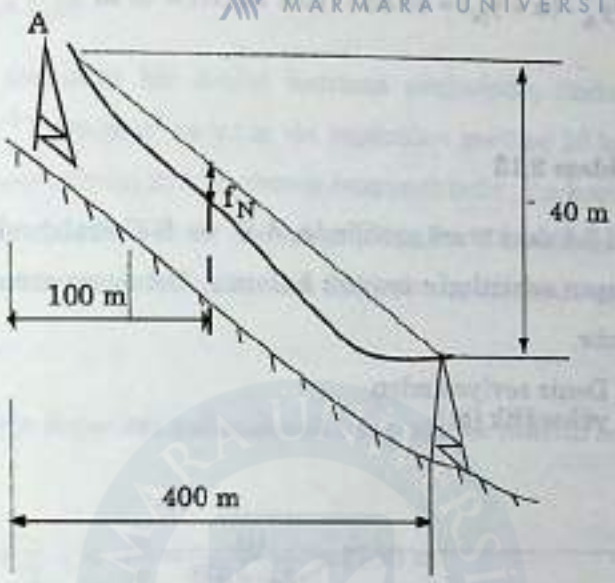
$$\frac{|x_A|}{a} = \frac{0.2\ a}{a} = 0.2$$

bulunur.

Problem 3.12

Şekil 3.7 deki asimetrik menzilde, f_N ile gösterilen mesafeyi hesaplayınız Sehim parametresi 1500 m dir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.7 Enerji iletim hattının görüntüsü.

Çözüm:

İletkeni x - y eksen takımına yerleştirelim. Böylece N noktasının koordinatları (x_N, y_N) bulunabilir. A askı noktası için

$$x_A = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} = \frac{1500 * 40}{400} + \frac{400}{2} = 350 \text{ m}$$

$$y_A = \frac{x_A^2}{2c} = \frac{350^2}{2 * 1500} = 40.83 \text{ m}$$

$$x_N = 350 - 100 = 250 \text{ m}$$

$$y_N = \frac{x_N^2}{2c} = \frac{250^2}{2 * 1500} = 20.83 \text{ m}$$

Benzer üçgen özelliğinden

$$\frac{h}{a} = \frac{\alpha}{100} \; ; \; \frac{40}{400} = \frac{\alpha}{100} \; ; \; \alpha = 10 \text{ m}$$

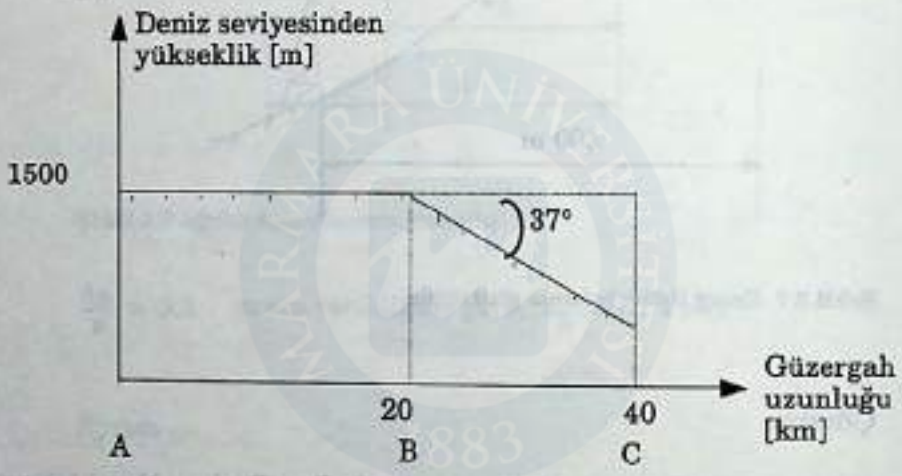
$$f_N = y_A - (\alpha + y_N) = 40.83 - (10 + 20.83) = 10 \text{ m}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 3.13

Şekil 3.8 deki arazi profilinde, A-B ve B-C aralığındaki hat parçalarında oluşan sehimlerin oranını bulunuz. Ortalama menziller ve gerilmeler aynıdır.



Şekil 3.8 İletim hattının bulunduğu arazi profili

Çözüm:

A-B aralığındaki sehim f (simetrik menzil sehimi) B-C aralığındaki sehima f' (asimetrik menzil sehimi) olacaktır.

$$f = \frac{\gamma a^2}{8\sigma} \; ; \; f = \frac{\gamma a^2}{8\sigma \cos\theta} \; ; \; \theta = 37° \; (\cos\theta = 0.8)$$

$$\frac{f}{f'} = 0.8$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 3.15

Eğimli arazideki bir iletim hattının projesinde, iletkenin özgül ağırlığı $8 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ve y.t.n. da öngörülen gerilme 10 kg/mm^2 dir. Aşağı ağırlık menzilinin 280 m olması istenmektedir. Bu koşulu gerçekleyebilmek için pratik olarak ne(ler) yapılabilir. (Direklerin yerleri ve iletken değiştirilememektedir.) Menzil 300 m ve kot farkı 30 m dır.

Çözüm:

Önce proje değerleri kullanılarak aşağı ağırlık menzili kontrol edilecektir.

$$x = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} \; ; \; c = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{10}{8 * 10^{-3}} = 1250 \text{ m}$$

$$x = \frac{1250 * 30}{300} + \frac{300}{2} = 275 \text{ m}$$

Bu mesafenin 280 m olabilmesi için:

1°) Kot farkı değiştirilebilir. Söyle ki,

$$280 = \frac{1250\ h'}{300} + \frac{300}{2} \; ; \; h' = 31.2 \text{ m}$$

Yüksekteki direğe 31.2 - 30 = 1.2 m lik "Ayak ilavesi" yapılabilir.

2°) Gerilme değiştirilebilir. Şöyle ki,

$$280 = \frac{c' * 30}{300} + \frac{300}{2} = \frac{(\sigma' / 8 * 10^{-3}) * 30}{300} + \frac{300}{2}$$

$\sigma' = 10.4$ kg/mm^2

olabilir.

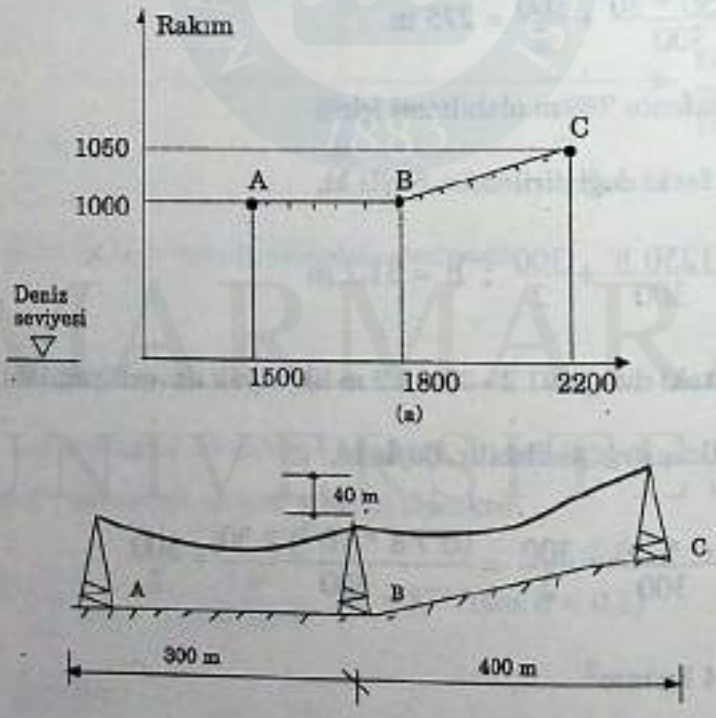
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 3.16

Bir iletim hattının belirli bir etabında direklerin dikilecekleri noktalar, soldan sağa doğru, "A", "B" ve "C" olarak belirlenmiştir. Bu noktaların kağıt düzlemindeki koordinatları (x, y) metre cinsinden şu şekilde verilmektedir: A (1500, 1000), B(1800, 1000) ve C (2200, 1050), Çekilecek iletkenin özgül ağırlığı $3.45 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ve yatay teğetli noktalardaki gerilme değerleri 4.5 kg/mm^2 dir. A-B ve B-C direkleri arasındaki sehimleri bulunuz.

Çözüm:

Arazi profili ve iletim hattının görüntüsü Şekil 3.9 da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 Arazi profili (a) ve iletim hattının görüntüsü (b).

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$f_{A-B} = \frac{\gamma a^2}{8\sigma} = \frac{3.45 * 10^{-3} (300)^2}{8 * 4.5} \cong 8.63 \text{ m}$$

$$f_{B-C} = \frac{\gamma a^2}{8\sigma \cos\theta} \; ; \; \theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{a}\right) = \tan^{-1}\frac{50}{400} = 7.12°$$

$$\cos\theta = 0{,}992$$

$$f_{B-C} = \frac{3{,}45 * 10^{-3} (400)^2}{8 * 4{,}5 * 0{,}992} \cong 15.46 \text{ m}$$

bulunur.

Problem 3.17

Bir vadi yamacına dikilmiş A,B,C gibi üç direğe Temmuz 1993 tarihinde "iletken çekimi" yapılmıştır. (Ortadaki B direği, diğer iki direğe göre daha alçak düzeydedir.) Özgül ağırlığı $3.65 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 olan iletken 5 kg/mm^2 lik bir gerilme ile çekilmiştir. Çekim işlemi sonunda, A - B direkleri arasındaki menzilin 400 m ve aşağı ağırlık menzilinin 337 m; B - C direkleri arasındaki menzilin 450 m ve aşağı ağırlık menzilinin 362 m olduğu anlaşılmıştır.

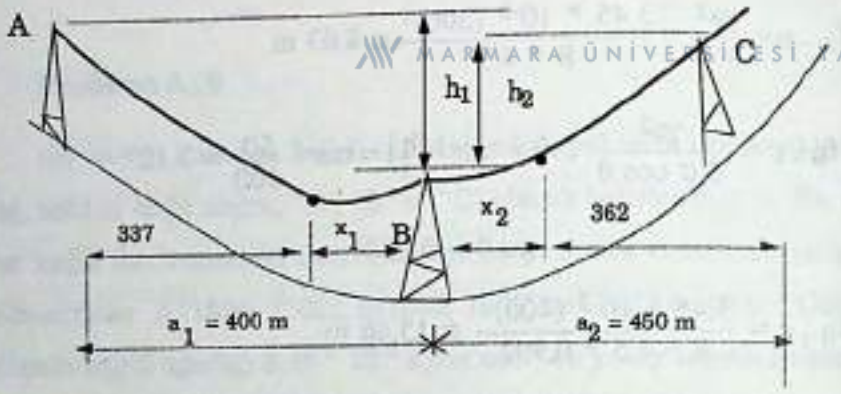
a) "Net Yukarı Kaldırma Menzili"ni hesaplayınız.

b) A ve C direkleri arasındaki kot farkını bulunuz.

Çözüm:

Verilen bilgiler doğrultusunda hattın gösterimi Şekil 3.10 da verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.10 İletim hattının gösterimi.

a) Net Yukarı Kaldırma Menzili $x_1 + x_2$ olup

$x_1 = 450 - 337 = 63$ m (-)

$x_2 = 40 - 362 = 88$ m (-)

$88 + 63 = 151$ m (-)

b) $x = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2}$ ifadesinden, önce h_1 ve h_2 yi bulalım:

$$c = \frac{\sigma}{\gamma_i} = \frac{5}{3.65 * 10^{-3}} \cong 1370 \text{ m}$$

$$337 = \frac{1370 * h_1}{400} + \frac{400}{2} \; ; \; h_1 = 40 \text{ m}$$

$$362 = \frac{1370 * h_2}{450} + \frac{450}{2} \; ; \; h_2 = 45 \text{ m}$$

$$\Delta h = 45 - 40 = 5 \text{ m}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 3.18

500 m lik menzilde gerilmiş 154 kV luk bir iletim hattının kesiti 153 mm^2, çapı 15.7 mm, özgül ağırlığı $3.45 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 dir. Hat III. bölgede çekilmiştir. Buzlu halde, iletkenin yatay teğetli noktasındaki çekme kuvvetinin 1051 kg ve alçaktaki direğe faz iletkeninden dolayı gelen (tek taraflı ağırlığın) 210 kg olduğu bilinmektedir. Kot farkını bulunuz.

Çözüm:

Önce buzlu haldeki özgül ağırlığı bulalım:

$$\gamma_b = \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{0.3\sqrt{15.7}}{143} = 8.31 * 10^{-3} \quad kg/m.mm^2$$

$$\gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = 3{,}45 * 10^{-3} + 8{,}31 * 10^{-3} = 11{,}76 * 10^{-3} \quad kg/m.mm^2$$

$$g_t = \gamma_t + q = 11.76 * 10^{-3} * 143 = 1.682 \text{ kg/m}$$

$$c = \frac{H}{g_t} = \frac{1051}{1{,}682} \cong 625 \text{ m}$$

$$-x = \frac{ch}{a} - \frac{a}{2} \; ; \quad -x = \frac{625 \times h}{500} - \frac{500}{2} \quad (1)$$

Diğer taraftan $G = |x| * g_t = x * 1.682 = 210$

ifadesinden x = 125 m bulunur. (1) de kullanılırsa

$$-125 = \frac{625 \times h}{500} - 250 \; ; \; h = 100 \text{ m}$$

hesaplanır.

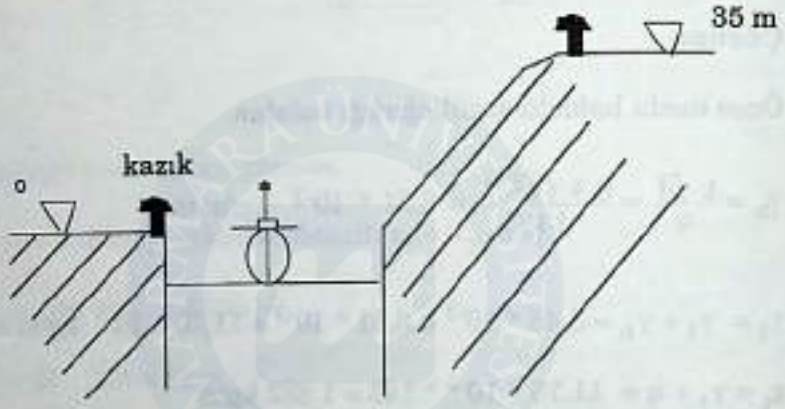
Problem 3.19

Bir akarsu üzerinden iletim hattı geçirilecektir. Akarsuyun genişliği 300 m ve direk boyları 20 m olup direklerin yerleri kazık çakılarak

Şekl 3.11' de işaretlenmiştir. İletkenin ağırlığı 1.62 kg/m ve yatay teğetli noktada öngörülen çekme kuvveti 3000 kg dır. Tam buzlu halde, y.t.n. nın alçaktaki direkten 50 m (yatay) mesafede olması planlanmıştır.

a) Buz yükü miktarını bulunuz.

b) İki kat buzlu yüklü iletken, su yüzeyine kaç [m] yaklaşacaktır? (Çekme kuvveti sabit varsayılmaktadır.)



Şekil 3.11 Akarsu geçiş hattı.

Çözüm:

a) $-x = \frac{ch}{a} - \frac{a}{2}$; $-50 = \frac{c.*35}{300} - \frac{300}{2}$; $c = 857.14$ m

$$c = \frac{H}{g_t} \; ; \; g_t = \frac{H}{c} = \frac{3000}{857.14} = 3.5 \text{ kg/m}$$

$$g_t = g_i + g_b \; ; \; g_b = g_t - g_i = 3.5 - 1.62 = 1.88 \text{ kg/m}$$

b) $g'_t = g_i + 2g_b = 1.62 + 2 * 1.88 = 5.38$ kg/m

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$x' = \frac{c'h}{a} + \frac{a}{2} \; ; \; c' = \frac{H}{g'_t} = \frac{3000}{5.38} = 557.62 \text{ m}$$

$$x' = \frac{557.62 * 35}{300} + \frac{300}{2} = 215 \text{ m}$$

$$y' = \frac{(x')^2}{2\,c'} = \frac{215^2}{2 * 557*62} \cong 41.5 \text{ m}$$

iletken su yüzeyine (20 + 35) - 41.5 = 13.5 m yaklaşacaktır.

Problem 3.20

Özgül ağırlığı $8.9 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 olan bir iletken, I. Bölgede 350 m lik menzil ve 85 m lik kot farkı altında gerilmiştir. Yatay teğetli noktada öngörülen gerilme 16 kg/mm^2 dir. Sehimi;

a) Yaklaşık bağıntı

b) Parabol denklemi

c) Tamamlayıcı menzil

d) Pratik bağıntı

yardımıyla hesaplayınız.

Çözüm:

a) Yaklaşık bağıntı

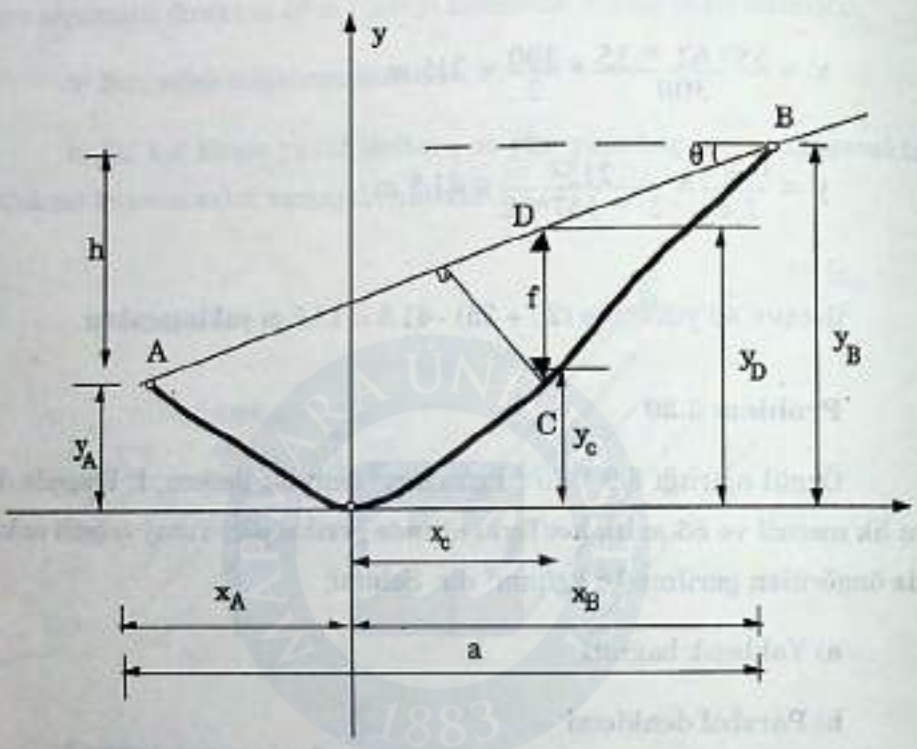
$$f = \frac{\gamma\, a^2}{8\,\sigma \cos\theta} \; ; \; \theta = \tan^{-1}\left(\frac{h}{a}\right) \text{ eğim açısı dyi;}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{85}{350}\right) = 13.65° \; ; \; \cos\theta = 13.65° = 0.972$$

$$f = \frac{8{,}9 * 10^{-3} * 350^2}{8 * 16 * 0.972} = 8.76 \text{ m}$$

b) Parabol denkleminin uygulanmasına ilişkin Şekil 3.12 dikkate alınmıştır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.12 İletken eğrisinin x-y koordinat sistemi üzerine yerleştirilmesi.

Şekilden: $f = y_D - y_C$ dir.

$$y_D = \frac{y_A + y_B}{2} \; ; \; y_A = \frac{x_A^2}{2c} \; ; \; y_B = \frac{x_B^2}{2c}$$

$$x_A = \frac{ch}{a} - \frac{a}{2} \; ; \; x_B = \frac{ch}{a} + \frac{a}{2} \; ; \; c = \frac{\sigma}{\gamma} \; ; \; x_c = x_B - a_2 \; ; \; y_2 = \frac{x_c^2}{2c}$$

bağıntılarının kullanılmasıyla

$$c = \frac{16}{8.9 * 10^{-3}} \cong 1800 \text{ m}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$x_A = \frac{1800 * 85}{350} - \frac{350}{2} = 262 \text{ m}$$

$$y_A = \frac{262^2}{2 * 1800} = 19 \text{ m}$$

$$x_B = \frac{1800 * 85}{350} + \frac{350}{2} = 612 \text{ m}$$

$$x_B = \frac{612^2}{2 * 1800} = 104 \text{ m}$$

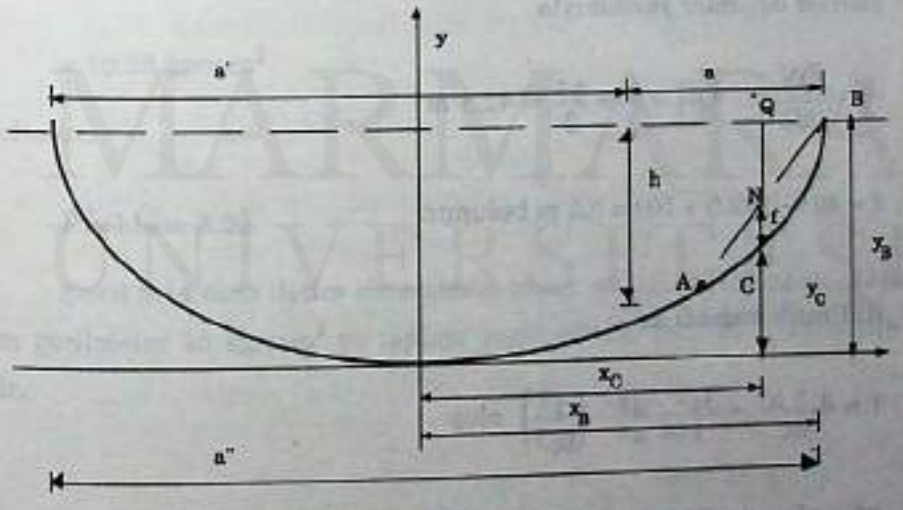
$$y_D = \frac{19 + 104}{2} = 61.5 \text{ m}$$

$$x_c = 612 - \frac{350}{2} = 437 \text{ m}$$

$$y_c = \frac{2 * 1800^2}{350} = 53 \text{ m}$$

$$f = 61.5 - 53 = 8.5 \text{ m}$$

c) Tamamlayıcı menzil, Şekil 3.13 de gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Tamamlayıcı menziiin gösterilişi

Tamamlayıcı menzil (a') = $\frac{2\,ch}{a}$ olup

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$\overline{NC} = f = y_B - (\overline{QN} + y_c)$ olacaktır.

$y_B = \frac{x_B^2}{2c}$; $x_B = \frac{a''}{2}$; $a'' = a + a'$ olduğundan

$a' = \frac{2\,ch}{a} = \frac{2 * 1800 * 85}{350} = 874$ m

$a'' = 350 + 874 = 1224$ m

$x_B = 1224/2 = 612$ m

$y_B = \frac{612^2}{2 * 1800} = 104$ m

$x_c = \frac{a''}{2} - \frac{a}{2} = \frac{1224}{2} - \frac{350}{2} = 437$ m

$y_c = \frac{x_c^2}{2c} = \frac{437^2}{2 * 1800} = 53$ m

Benzer üçgenler yardımıyla

$\frac{h}{a} = \frac{\overline{QN}}{a/2}$; $\overline{QN} = \frac{h}{2} = \frac{85}{2} = 42.5$ m

$f = 401 - (42.5 + 53) = 8.5$ m bulunur.

d) Pratik bağıntı ile

$f = \frac{a * a^*}{8c} + \frac{3a^2 - 2h^2}{144\,a^*}\left(\frac{3^3}{8c^3}\right)$ olup

$a^* = a/\cos\theta = 350 / \cos 13.65° = 360.4$ m hesaplanırsa,

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$f = \frac{350 * 360,4}{8 * 1800} + \frac{3 * 350^2 - 2 * 85^2}{144 * 360,4} \left(\frac{350^2}{8 * 1800^3} \right)$$

$\equiv 8,86$ m

elde edilir.

Problem 3.21

Direk açıklığı 500 m, kot farkı 125 m olan bir enerji sisteminde yatay teğetli noktada öngörülen gerilme 10 kg/mm^2 ve özgül ağırlık 11.76 10^{-3} kg/m.mm^2 şeklindedir. İletim hattı için ortalama gerilmeyi bulunuz.

Çözüm:

Ortalama gerilme (σ)

$$\overline{\sigma} = \sigma + \frac{\gamma^2 * a^2}{16\sigma} + \frac{\sigma h^2}{2a^2} \text{ olup}$$

$$\overline{\sigma} = 10 + \frac{11,76 * 10^{-3} (500)^2}{16 * 10} + \frac{10 * 125^2}{2 * 500^2} \text{ olup}$$

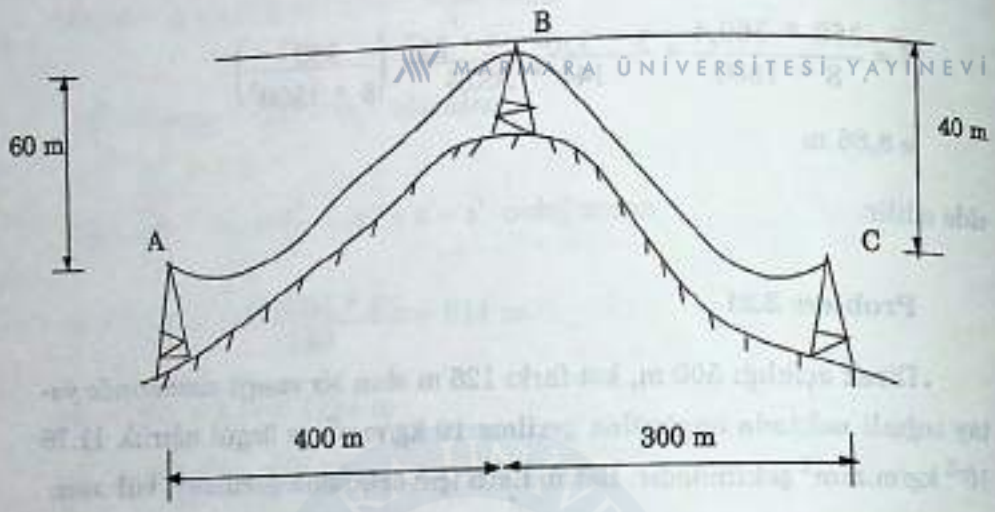
$= 10.53$ kg/mm^2

bulunur.

Problem 3.22

Şekil 3.14 deki iletim sisteminde, yatay teğetli noktalarda öngörülen gerilmeler 10 kg/mm^2 ve toplam özgül ağırlık $10 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 dir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 3.14 İletim sisteminin görüntüsü.

a) Yukarı Ağırlık Menzilini

b) Aşağı Ağırlık Menzilini

c) Ağırlık Menzilini hesaplayınız.

Çözüm:

Sehim parametresi

$$c = \frac{\sigma}{\gamma} = \frac{10}{10 * 10^{-3}} = 1000 \text{ m dir.}$$

a) Yukarı Ağırlık Menzili, tanımı gereği, y.t.n. ile direğe (yakın direğe) olan yatay mesafedir.

Buna göre, A direği için:

$$a_g = x = \frac{ch}{a} - \frac{a}{2} = \frac{1000 * 60}{400} - \frac{400}{2} = -50 \text{ m}$$

B direği için de;

$$a_g = x = \frac{1000 * 40}{300} - \frac{300}{2} = -16.67 \text{ m}$$

bulunur.

b) Aşağı Ağırlık Menzili, tanım gereği, y.t.n. ile direğe (uzak direğe) olan yatay mesafedir.

Buna göre A direği için:

$$a_g = x = \frac{1000 * 60}{400} - \frac{400}{2} = -350 \text{ m}$$

B direği için de;

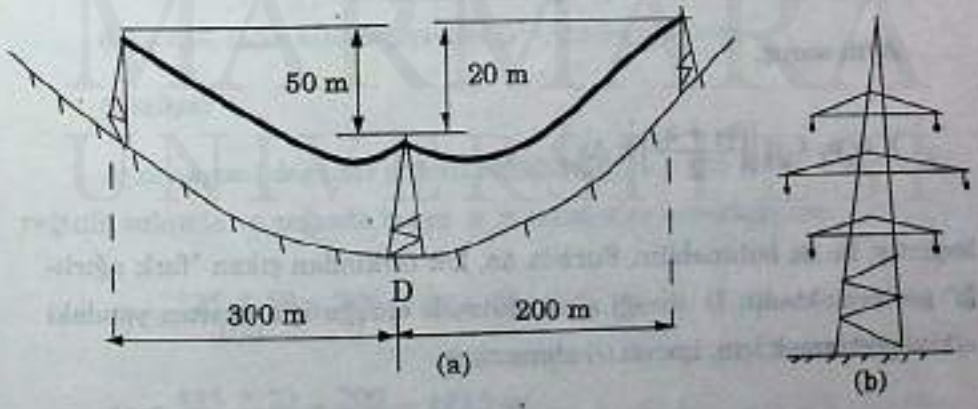
$$a_g = x = \frac{1000 * 40}{300} - \frac{300}{2} = -283.33 \text{ m}$$

dir.

c) Ağırlık Menzili, tanımı gereği, direğin her iki tarafındaki y.t.n. lar arası mesafedir. Buna göre, B direği için söz konusu olacaktır. B direğine ilişkin Ağırlık Menzili $a_g = 350 + 283.33 = 633.33$ m olacaktır.

Problem 3.23

Şekil 3.15'de verilen sistemde, D direğine komşu direklerdeki iletkenlerden dolayı gelecek toplam ağırlık nedir? Bileşke ağırlık 2.35 kg/m ve y.t.n. larda öngörülen çekme kuvvetleri 1962 kg dır.



Şekil 3.15 İletim hattının görüntüsü (a) ve direğin modeli (b).

Çözüm:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$c = \frac{H}{g_t} = \frac{1962}{2.35} \cong 835 \text{ m}$$

D direğinin solunda ve sağında, y.t.n. lar arasındaki x mesafeleri

Soldaki hat parçası için:

$$x_1 = \frac{835 * 50}{300} - \frac{300}{2} = -10.83 \text{ m}$$

Sağdaki hat parçası için:

$$x_2 = \frac{835 * 20}{200} - \frac{200}{2} = -16.5 \text{ m}$$

Söz konusu düşey kuvvet (V)

$$V = n_i (|x_1| + |x_2|) g_t$$

$$= 6 (10.83 + 16.5)\ 2.35$$

$$\cong 386 \text{ kg}$$

bulunur. Burada $x \cong \ell$ yaklaşıklığı kullanılmıştır.

Aynı sonuç,

$$V = n_j \times g_t \left[\left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \pm \Delta a \right]$$

bağıntısı ile de bulunabilir. Burada Δa, kot farkından çıkan "fark ağırlığı" göstermektedir. D direği alçak düzeyde olduğu için azaltıcı yöndeki etkiyi göstermek için, işareti (-) alınacaktır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

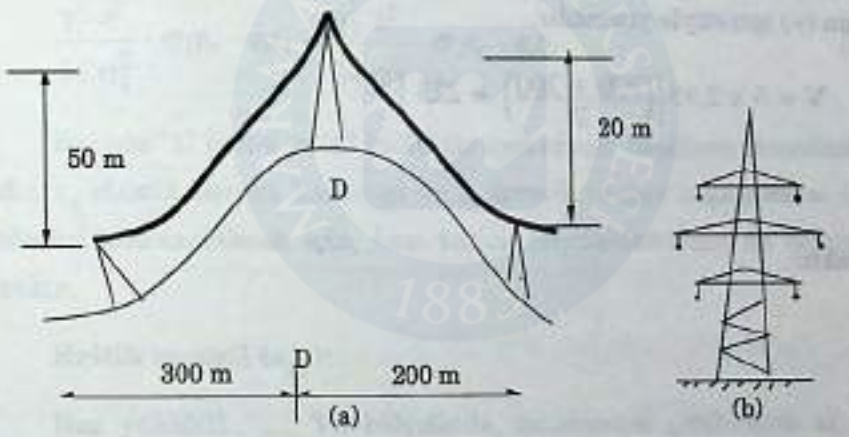
$$\Delta a = c\left(\frac{h_1}{a_1} + \frac{h_2}{a_2}\right) = 835\left(\frac{50}{300} + \frac{20}{200}\right) \cong 223 \text{ m}$$

$$V = 6 * 835\left[\left(\frac{300 + 200}{2}\right) - 223\right] = 382 \text{ kg}$$

bulunur.

Problem 3.24

Şekil 3.16'de verilen sistemde, D direğine gelecek toplam düşey kuvveti bulunuz. Diğer sayısal bilgiler problem 3.23 deki ile aynıdır.



Şekil 3.16 İletim hattının görüntüsü (a) ve direğin modeli (b).

Çözüm:

Aynı sayısal değerler geçerli olduğundan, c = 835 m dir. Önce D direğinin solunda ve sağında kalan x mesafelerini hesaplayalım:

$$x_1 = \frac{835 * 50}{300} + \frac{300}{2} = 289.17 \text{ m}$$

$$x_2 = \frac{835 * 20}{300} + \frac{200}{2} = 183.5 \text{ m}$$

V kuvveti de

$$V = 6 \times (289.17 + 183.5) * 2.35 = 6664 \text{ kg}$$

ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Aynı sonuç

$$V = n_i\, g_t \left[\left(\frac{a_1 + a_2}{2} \right) \pm \Delta a \right]$$

ifadesiyle de bulunabilir. Δa, aynı sayısal değerler için gene 223 m dir.

D direği yüksek düzeyde olduğu için, düşey kuvvetin artması Δa'nın (+) işaretiyle yansıtılır.

$$V = 6 \times 2{,}35 \left[\left(\frac{300 + 200}{2} \right) + 223 \right]$$

$$= 6664 \text{ kg}$$

olacaktır.

4.0. DEĞİŞEN ORTAM KOŞULLARININ MEKANİK HESAPLAR ÜZERİNE ETKİLERİ

4.1. Giriş

Yıl boyunca pek çok değişik ortam sıcaklığının ve ek yükün etkisi altında kalan enerji iletim hava hatları, her ortam koşulu için değişik bir gerilme (σ) ve sehim (f) değerine sahip olurlar. İletim hatlarının çekildiği bölgenin sınır sıcaklık dereceleri (t_{min}, t_{max}) dikkate alınarak ayrıntılı bir hesaplamanın yapılması gerekir. Bunun için "Değişik Haller Denklem" kullanılır:

$$\frac{\gamma_1^2 a^2}{24 \sigma_1^2} - \sigma_1 \varepsilon_e - \varepsilon_t t_1 = \frac{\gamma_2^2 a^2}{24 \sigma_2^2} - \sigma_2 \varepsilon_e - \varepsilon_t t_2 \qquad (4.1)$$

Burada "1" indisi ve "2" indisi iki ayrı ortam koşulunu simgelemektedir. ε_e elastik uzama katsayısı ve ε_t termik uzama katsayısıdır. (4.1) ifadesini kullanabilmek için, bazı tanım büyüklüklerinin de bilinmesi gerekir.

Kritik menzil (a_{kr}):

Buz yüklü(II., ..., V.) bölgelerde, maksimum gerilmenin ek buz yüklü halde mi, yoksa en düşük (minimum) ortam sıcaklığında mı oluşacağını önceden belirlemeyi hedefleyen "kritik menzil"

$$a_{kr} = 2 \sigma_{max} \sqrt{\frac{6\varepsilon_t (- 5 - t_{min})}{(\gamma_i + \gamma_b)^2 - \gamma_i^2}} \quad [m] \qquad (4.2)$$

ifadesiyle hesaplanır. Daha sonra aşağıdaki irdeleme yapılır:

$a_{kr} > a$ ise $\Rightarrow$ iletkendeki maksimum gerilme minimum ortam sıcaklığında oluşacaktır.

$a_{kr} < a$ ise $\Rightarrow$ iletkendeki maksimum gerilme - 5°C de buz yüklü halde oluşacaktır.

Rüzgar yüklü (I.) bölgede ise

$$a_{kr} = 2\,\sigma_{max}\sqrt{\frac{6\varepsilon_t\,(5 - t_{min})}{g_f^2}} \quad [m] \qquad (4.3)$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

şeklinde hesaplanır. Burada:

$a_{kr} > a$ ise ⇒ iletkendeki maksimum gerilme minimum ortam sıcaklığında (- 10 °C de) oluşacaktır.

$a_{kr} < a$ ise ⇒ iletkendeki maksimum gerilme +5°C de rüzgar yüklü halde oluşacaktır.

Tablo 4.1

Türkiye için minimum ortam sıcaklıkları

Bölge	I	II	III	IV	V
t_{min} [°C]	-10	-15	-25	-30	-30

Kritik Sıcaklık Derecesi (t_{kr}):

Buz yüklü bölgelerde, maksimum sehimin ek buz yüklü halde mi, yoksa en yüksek (maksimum) ortam sıcaklığında mı oluşacağını önceden belirlemeyi hedefleyen "kritik sıcaklık derecesi"

$$t_{kr} = \frac{\sigma_{max} * \varepsilon_e}{\varepsilon_t} * \frac{\gamma_b}{\gamma_i + \gamma_b} - 5 \quad [°C] \qquad (4.4)$$

ifadesiyle hesaplanır. Daha sonra aşağıdaki irdeleme yapılır:

$t_{kr} > t_{max}$ ise ⇒ iletkenin maksimum sehimi maksimum ortam sıcaklığında oluşacaktır.

$t_{kr} < t_{max}$ ise ⇒ iletkenin maksimum sehimi - 5°C de buz yüklü halde oluşacaktır.

Rüzgar yüklü (I.) bölgede ise

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$t_{kr} = \frac{\sigma_{max} * \varepsilon_e}{\varepsilon_t} \left[\frac{\sqrt{g_i^2 + g_r^2} - g_i}{\sqrt{g_i + g_r^2}} \right] + 5 \quad [°C] \qquad (4.5)$$

şeklinde hesaplanır. Burada:

$t_{kr} > t_{max}$ ise ⇒ iletkenin maksimum sehimi maksimum ortam sıcaklığında (50 °C de) oluşacaktır.

$t_{kr} < t_{max}$ ise ⇒ iletkenin maksimum sehimi + 5°C de rüzgar yüklü halde oluşacaktır.

Tablo 4.2

Türkiye için maksimum ortam sıcaklıkları

Bölge	I	II	III	IV	V
t_{max} [°C]	50	45	40	40	40

(4.1) ifadesinde verilen denklemde, hesaplanması gereken büyüklük çoğu kez gerilmedir. Böylece σ'ya bağlı üçüncü dereceden (nonlineer) bir denklemin çözümü gerekli olur. Bu çözüm; grafik yöntem, mümerik analiz teknikleri veya deneme-yanılma yoluyla gerçekleştirilebilir.

Gerek faz iletkenleri gerekse toprak teli için, t_{min}.....t_{max} aralığında her 5°C de gerilme ve sehimlerin hesaplanması tamamlandığında, izin verilen sınır değerlerin, aşılıp aşılmadığı ortaya çıkar.

Diğer taraftan, ek yük etkisi olmadığı halde yalnızca sıcaklık farkından dolayı iletken boyundaki değişim ($\Delta\ell$)

$$\Delta\ell = \varepsilon_e (\sigma_2 - \sigma_1) \ell_1 + \varepsilon_t (t_2 - t_1) \ell_1 \qquad (4.6)$$

eşitliğiyle hesaplanır.

Problem 4.1

Kesiti 174.3 mm^2, çapı 17,3 mm, özgül ağırlığı $3.52 * 10^{-3}$ kg/ $m.mm^2$ olan bir çelik-alüminyum iletken II. bölgede gerilmiştir. Yatay menzil 210 m dir. – 5°C buz yüklü halde, yatay teğetli noktada öngörülen sehim 4.53 m dir. İletkenin iki kat buz yüküne maruz kalması halinde, sehimini bulunuz. Elastik uzama katsayısı 1/7500 mm^2/kg ve ısıl uzama katsayısı $1,95 \times 10^{-6}$ 1/°C alınacaktır.

Çözüm:

Buz yüklü hali "1" indisi ile ve iki kat buz yüklü hali "2" indisi ile gösterelim. Buna göre;

$$\gamma_b = \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{0.2\sqrt{17.3}}{174.3} = 5.11 * 10^{-3} \quad kg/m.mm^2$$

$$\gamma_1 = \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = 3.52 * 10^{-3} + 5.11 * 10^{-3} = 8.63 * 10^{-3} \quad kg/m.mm^2$$

$$f_1 = \frac{\gamma_1 a^2}{8\sigma_1} \Rightarrow 4.53 = \frac{8.63 * 10^{-3} (210)^2}{8 * \sigma_1}; \sigma_1 = 10.5 \quad kg/mm^2$$

$$\gamma_2 = \gamma_t' = \gamma_i + 2\gamma_b = 3.52 * 10^{-3} + 2 (5.11 * 10^{-3}) = 13.7 * 10^{-3} \quad kg/m.mm^2$$

Sıcaklık, her iki durum için de aynıdır ($t_1 = t_2 = -5°C$). Değişik Haller Denkleminde yalnızca özgül ağırlıklar değişecektir.

$$\frac{a^2 \gamma_1^2}{24 \sigma_1^2} - \sigma_1 \varepsilon_e - \varepsilon_t t_1 = \frac{a^2 \gamma_2^2}{24 \sigma_2^2} - \sigma_2 \varepsilon_e - \varepsilon_e t_2$$

$$\frac{(210)^2 (8.63 * 10^{-3})^2}{24 (10.5)^2} - \frac{10.5}{7500} = \frac{(210)^2 (13.7 * 10^{-3})^2}{24 \sigma_2^2} - \frac{\sigma_2}{7500}$$

$$1241 * 10^{-6} - 1400 * 10^{-6} = \frac{344880 * 10^{-6}}{\sigma_2^2} - 133.3 * 10^{-5} \sigma_2$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$1241 - 1400 = \frac{344880}{\sigma_2^2} - 133.3\,\tau_2$$

$$-158.7 = \frac{344880}{\sigma_2^2} - 133.3\,\tau_2$$

Eşitliğin her iki yanı σ^2_2 ile çarpılırsa

$$-158.7\,\sigma^2_2\ i = 344880 - 133.3\,\sigma^3_2$$

$$133.3\,\sigma^3_2 - 158.7\,\sigma^2_2 = 344880$$

Eşitliğin her iki yanı σ^3_2 'ün katsayısı 133.3'e bölünürse

$$\sigma^3_2\ i - 1.19\,\sigma^3_2\ i = 2587$$

elde edilir. 3. dereceden non-lineer cebirsel denklemin kökü 14.13 olarak belirlenir.

$$\sigma_2 = \sigma_{-5°(2BY)} = 14.13\ kg/mm^3$$

$$f_2 = \frac{\gamma_2\,a^2}{8\,\sigma_2} = \frac{13.7 * 10^{-3}\,(210)^2}{8 * 14.13} = 5.34\ m$$

bulunur. Ek yükün iki kat olması, sehimi artırıcı (= 80 cm) rol oynamaktadır.

Problem 4.2

154 kV luk bir iletim hattında, III. Bölgede 300 m lik simetrik menzilde HAWK iletkeni (iletken çapı: 21,77 mm, birim ağırlık: 0,973 kg/m, kesit: 280,84 mm^2, elastik uzama katsayısı 1/7000 mm^2/kg). iletkenin –5°C sıcaklıkta buzsuz haldeki gerilmesi 4,3 kg/mm^2 dir. Yapılan kontrolden $a_{kr} < a$ koşulunun gerçekleştiği gözlenmiştir. Buz yüklü halde iletkenin gerilmesini bulunuz.

Çözüm:

"1" indisi ile –5°C buzsuz hali, "2" indisi ile Buz yüklü hali göstere-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

lim:

$$\gamma_1 = \gamma_i = \frac{g_i}{q} = \frac{0.973}{280.84} = 3.46 * 10^{-3} \quad kg/m.mm^2$$

$\sigma_1 = \sigma_{-5°} = 4.3$ kg/mm^2 ($a_{kr} < a$ olduğu için maksimum gerilme –5°C buz yüklü halde oluşacaktır).

$$\gamma_2 = \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = \frac{g_i + k\sqrt{d}}{q} = \frac{0.973 + 0.3\sqrt{21.77}}{280.84}$$

$$= 3.45 * 10^{-3} \quad kg/m.mm^2$$

$\sigma_2 = ?$; $t_2 = -5°C$ (Buzun oluşum sıcaklığı)

Bilinen ve bulunan değerleri DHD'nde yerlerine koyalım:

$$\frac{(3.46 * 10^{-3})^2 (300)^2}{24 (4.3)^2} - \frac{4.3}{7000} - \varepsilon_t (-5) = \frac{(8.45 * 10^{-3})^2 (3007^2}{24 \sigma_2^2}$$

$$- \frac{\sigma_2}{7000} - \varepsilon_1 (-5)$$

Ara işlemler sonucu

$$\sigma_2^3 + 12.68 \quad \sigma_2^2 = 1872$$

elde edilir. Bu denklemin çözümünden

$\sigma_2 = \sigma_{-5°C(BY)} = 9.24$ kg/mm^2

bulunur.

Problem 4.3

154 kV luk bir iletim hattı için şu bilgiler bilinmektedir:

Tam buzlu haldeki gerilme: 11 kg/mm^2, menzil: 350 m (simetrik),

tam buzlu haldeki sehim: 9.44 m, buzsuz iletkenin özgül ağırlığı: 3.46 * 10^{-3} kg/m.mm^2, elastik uzama katsayısı: 1/7800 mm^2/kg, ısıl uzama katsayısı: 19 * 10^{-6} 1/°C.

Bu hat için, 15°C sıcaklıktaki gerilmenin 7.3 kg/mm^2 değerinden küçük olması koşulu bulunmaktadır.

Yukarıdaki bilgiler doğrultusunda, bu koşulun sağlanıp sağlanmadığını kontrol ediniz.

Çözüm:

"1" indisli buzlu hali, "2" indisi + 15°C sıcaklık halini göstersin.

$$f_1 = \frac{\gamma_1 a^2}{8 \sigma_1} \; ; \quad \gamma_1 = \gamma_i + \gamma_b = \frac{f_1 \, 8 \, \sigma_1}{a^2}$$

$$\gamma_1 = \frac{9.44 * 8 * 11}{350^2} = 6{,}78 \times 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$\sigma_1 = 11$ kg/mm^2 (verilmiş) ; $t_1 = -5$°C (buzun oluşum sıcaklığı)

$\gamma_2 = \gamma_i = 3{,}46 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 ; $t_2 = 15$°C ; $\sigma_2 = ?$

Bilinenleri ve bulunanları DHD'nde yerlerine yazalım:

$$\frac{(6{,}78 * 10^{-3})^2 \, (350)^2}{24 * 11^2} - \frac{11}{7800} - 19 * 10^{-6} \, (-5) =$$

$$\frac{(3{,}46 * 10^{-3})^2 \, (350)^2}{24 * \sigma_2^2} - \frac{\sigma_2}{7800} - 19 * 10^{-6} \, (15)$$

Ara işlemler yapılıp düzenlenirse $\sigma_2^3 + 7.1 \, \sigma_2^2 = 477$ bulunur. Bu denklemin çözümünden $\sigma_2 = 6.03$ kg/mm^2 olarak hesaplanır. Bu değer, istenilen koşula uygundur.

Problem 4.4

Çapı 15.7 mm, kesiti 143 mm^2, özgül ağırlığı $3.45 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 olan bir çelik-alüminyum iletken, IV. Bölgede 400 m lik bir direk açıklığında gerilidir. Buzlu halde, yatay teğetli noktada öngörülen gerilme 14 kg/mm^2 dir. İletkenin kopma gerilmesi 20 kg/mm^2 olduğuna göre, bu iletkenin kopmadan kaldırabileceği ek buz yükü kaç kg/m dir? Elastik uzama katsayısı 1/7500 mm^2/kg ve ısıl uzama katsayısı $1.95 * 10^{-5}$ 1/°C dir.

Çözüm:

Tam buzlu hali "1" indisi ile, aşırı buzlu hali "2" indisi ile gösterelim:

$$\gamma_b = \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{0.5\sqrt{15.7}}{143} = 13.85 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\gamma_1 = \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = 3.45 * 10^{-3} + 13.85 * 10^{-3} = 17.3 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$t_1 = -5°C$ (buzun oluşum sıcaklığı) ; $\sigma_2 = 14$ kg/mm^2

$\sigma_2 = \sigma_{kop} = 20$ kg/mm^2 ; $t_2 = -5°C$; $\gamma_1 = ?$

Bu değerleri DHD'nde yerlerine yazalım:

$$\frac{(17.3 * 10^{-3})^2 (400)^2}{24 * (14)^2} - \frac{14}{7500} - 1.95 * 10^{-5} (-5) =$$

$$\frac{\gamma_2^2 (400)^2}{24 (20)^2} - \frac{20}{7500} - 1.95 * 10^{-5} (-5)$$

Buradan ara işlemler yapılarak, sonuçta

$\gamma_2 = 25.66 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 bulunur.

$\gamma_{b(ek)} = \gamma_2 - \gamma_1 = 25.66 * 10^{-3} - 17.3 * 10^{-3} = 8.36 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2

$g_{b(ek)} = \gamma_{b(ek)}\ q = 8.36 * 10^{-3} * 143 = 1.2$ kg/m

hesaplanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 4,5

Isıl uzama katsayısı $1.95 * 10^{-5}$ 1/°C, elastik uzama katsayısı $1.33 * 10^{-4}$ mm^2/kg olan malzemeden yapılmış bir iletken, + 20°C sıcaklıkta 8 kg/mm^2 değerinde gerilmeyle çekilecektir. Çekme işlemi -10°C de yapılmış olsaydı, iletken boyunun önceki değerinde sabit kalabilmesi için gerilme hangi değerde seçilmelidir?

Çözüm:

İletken boyunun ortam sıcaklığı ile değişimi

$$\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1 = \ell_1 (t_2 - t_1) \varepsilon_t + \ell_1 (\sigma_2 - \sigma_1) \varepsilon_e$$

ifadesinde, $\Delta \ell = O$ yapılarak

$$O = \ell_1 (- 10 - 20) 1.95 * 10^{-5} + (\sigma_2 - 8) * 1.33 * 10^{-4} \ell_1$$

$$\sigma_2 = 12.4 \ kg/mm^2$$

yapılmalıdır.

Problem 4.6

154 kV luk bir enerji iletim hattının projesi ile ilgili olarak şu bilgiler verilmiştir:

"Menzil : 350 m (simetrik), kritik menzil: 94 m, Bölge: II (- 15°C; + 45°C), yatay teğetli noktada öngörülen maksimum gerilme: 11 kg/mm^2, iletken çapı: 16,28 mm, iletken kesiti: 156,86 mm^2, iletkenin birim ağırlığı : 0,545 kg/m, malzemenin elastik uzama katsayısı: $19,2 * 10^{-6}$ 1/°C, kritik sıcaklık derecesi : 38°C"

Buzun oluşum sıcaklığında, nem eksikliği nedeniyle iletken üzerinde buz toplanamamaktadır. Bu hal için, askı noktalarındaki çekme kuvvetlerini hesaplayınız.

Çözüm:

$a_{kr} < a$ (94 m < 350 m) olduğu için, maksimum gerilme -5°C de buz yüklü halde oluşur.

Buz yüklü hal "1" indisi ile, buzsuz hal ise "2" indisi ile gösterilsin.

$$\sigma_1 = \sigma_{max} = 11 \text{ kg/mm}^2$$

$$g_1 = g_t = g_i + g_b = g_i + k\sqrt{d}$$

$$= 0.545 + 0.2\sqrt{16.28} = 1.352 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_1 = \frac{g_1}{q} = \frac{1.352}{156.86} = 8.62 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$t_1 = t_b = -5°C$$

$$g_2 = g_i = 0.545 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_2 = \frac{g_2}{q} = \frac{0.545}{156.86} = 3.47 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\sigma_2 = \sigma_{-5°(buzsuz)} = ?$$

DHD' nde yerlerine yazılacak olursa,

$$\frac{(8.62 * 10^{-3})^2 (350)^2}{24 (11)^2} - \frac{11}{8000} - 19.2 * 10^{-6} (-5) =$$

$$\frac{(3.47 * 10^{-3})^2 (350)^2}{24 \sigma_2^2} - \frac{\sigma_2}{8000} - 19.2 * 10^{-6} (-5)$$

Ara işlemler sonucu $\sigma_2^3 + 14.07 \sigma_2^2 = 492$ bulunur.

Bu denklemin çözümünden $\sigma_2 = 5.1 \text{ kg/mm}^2$ hesaplanır.

Simetrik menzillerde, askı noktalarındaki zorlanmalar birbirine eşittir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\sigma_{askı} = \sigma + \gamma_i f$$

$$f = \frac{\gamma_i a^2}{8 \sigma_2} = \frac{(3.47 * 10^{-3} (350)^2}{8 * 5.1} = 10.42 \text{ m}$$

$$\sigma_{askı} = 5.1 + 3.47 * 10^{-3} (10.42) = 5.136 \text{ kg/mm}^2$$

Çekme zorlanması (S)

$$S = \sigma_{askı} * q = 5.136 * 156.86 \cong 806 \text{ kg}$$

hesaplanır.

Problem 4.7

Bir iletim hattında, toprak teli için aşağıdaki bilgiler verilmiştir: "Menzil = 350 m (simetrik), kritik menzil = 120 m, Bölge: II (-15°C; + 45°C) yatay teğetli noktada öngörülen maksimum gerilme= 34 kg/mm^2, telin çapı 11.0 mm, telin kesiti= 72.88 mm^2, telin birim ağırlığı= 0.580 kg/m, malzemenin elastik uzama katsayısı= 1/20000 mm^2/kg, malzemenin ısıl uzama katsayısı = 11.5 * 10^{-6} 1/°C, kritik sıcaklık derecesi = 74°C"

a) Yıl boyunca, toprak telinin sehiminin alacağı maksimum değer nedir?

b) Toprak telinin tespit edildiği nokta ile üst travers arası 1 m, zincir-askı izolatörün uzunluğu 1.25 m ve faz iletkeninin sehimi (a-daki ortam koşulunda) 12 m olduğuna göre, toprak teli ile en üstteki faz iletkeni arasındaki mesafeyi bulunuz.

Çözüm:

a) $a_{kr} < a$ (120 m < 350 m) olduğu için, maksimum gerilme -5°C de buz yüklü halde oluşacaktır.

Diğer tarftan; $t_{kr} > t_{max}$ (74°C > 45°C) olduğu için, maksimum sehim -5°C de buz yüklü halde oluşacaktır.

O halde, buzlu sehim, maksimum sehim olacaktır.

$$f_{-5°(BY)} = f_{max} \frac{\gamma_t a^2}{8 \sigma_{-5°(BY)}}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

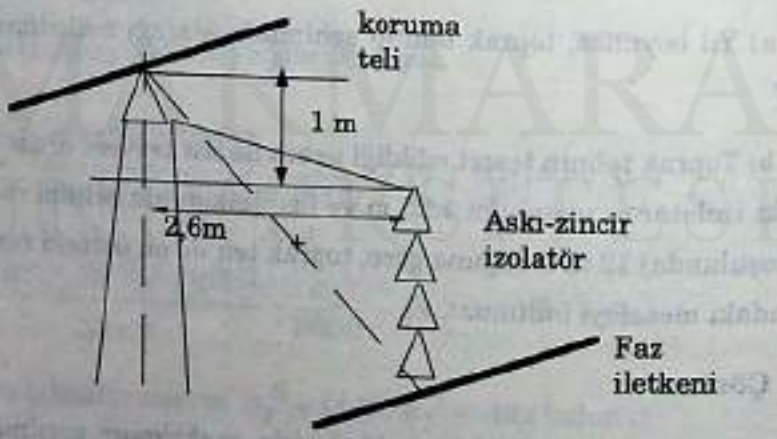
$$g_t = g_i + g_b = g_i + k\sqrt{d} = 0.58 + 0.2\sqrt{11} = 1.243 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_t = \frac{g_t}{q} = \frac{1.243}{72.88} = 17 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$f_{max} = \frac{17 * 10^{-3} (350)^2}{8 * 34} = 7.68 \text{ m}$$

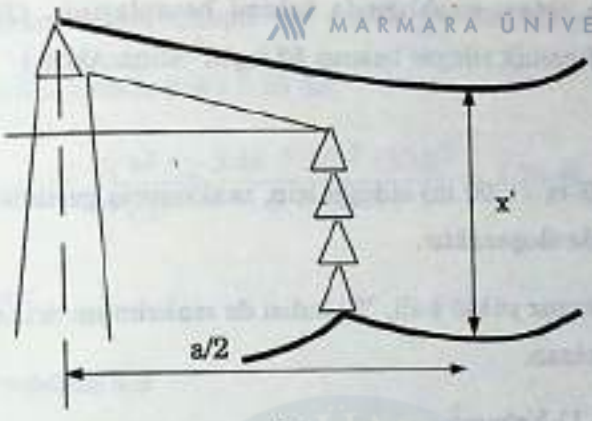
b) "Toprak teli ile faz iletkeni arasındaki mesafe, aşağıdaki iki çözümle de bulunabilir:

Şekil 4.1 (a) da, koruma telinin direk tepesine tutturulduğu nokta ile faz iletkeninin izolatör klempine bağlandığı nokta arasındaki mesafe (x); Şekil 4.1 (b) de ise, koruma telinin yatay teğetli noktası ile faz iletkeninin yatay teğetli noktası arasındaki mesafe (x') gösterilmiştir.



(a)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



(b)

Şekil 4.1 İletim hattı, koruma teli ve kafes direğin gösterilişi

Şekil 4.1 (a) dan;

$$x = \sqrt{(2.25)^2 + (52.6)^2} \cong 3.5 \text{ m}$$

Şekil 4.1 (b) den;

$$x' = (1.25 + 12) - (7.68 - 1) \cong 7.1 \text{ m}$$

bulunur.

Problem 4.8

154 kV luk bir enerji iletim hattının projesinde aşağıdaki bilgiler verilmiştir:

"Menzil: 300 m (simetrik), kritik menzil: 225 m, Bölge: I (–10°C; + 50°C), yatay teğetli noktada öngörülen maksimum gerilme: 11 kg/mm^2, iletkenin çapı: 21.77 mm, iletken kesiti: 280.84 mm^2, iletkenin birim ağırlığı: 0.973 kg/m, malzemenin elastik uzama katsayısı: 1/7800 mm^2/kg, malzemenin ısıl uzama katsayısı: 19.2 * 10^{-6} 1/°C, kritik sıcaklık derecesi: 31°C"

Maksimum ortam sıcaklığında sehimi hesaplayınız. (Pürüzlülük katsayısı 1.0 ve dinamik rüzgar basıncı 53 kg/m^2 alınacaktır.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$a_{kr} < a$ (225 m < 300 m) olduğu için, maksimum gerilme + 5°C de rüzgar yüklü halde oluşacaktır.

"1" indisi rüzgar yüklü hali, "2" indisi de maksimum ortam sıcaklık halini gösteriyor olsun.

$$\sigma_1 = \sigma_{max} = 11 \text{ kg/mm}^2$$

$$g_r = c\,Q\,d\,10^{-3} = 1.0\;53\;21.77\;10^{-3} = 1.154 \text{ kg/m}$$

$$g_1 = g_{eş} = \sqrt{g_i^2 + g_r^2} = \sqrt{(0.973)^2 + (1.154)^2} = 1.509 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_1 = \frac{g_1}{q} = \frac{1.509}{280.84} = 5.37 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$t_1 = t_r = +5°C$$

$$\tau_2 = \tau_{+50°} = ?$$

$$g_2 = g_i = 0.973 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_2 = \frac{g_2}{q} = \frac{0.973}{280,.84} = 3.46 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$t_2 = t_{max} = 50°C$$

Bulunan ve bilinen değerleri DHD'nde yerlerine yazalım:

$$\frac{(5.37 * 10^{-3})^2\,(300)^2}{24\,(11)^2} - \frac{11}{7800} - 19.2 * 10^{-6}\,(+5) =$$

$$\frac{(5.37 * 10^{-3})^2\,(300)^2}{24\,\sigma_2^2} - \frac{\sigma_2}{7800} - 19.2 * 10^{-6}\,(+50)$$

Düzenlenirse, sonuçta $\sigma_2^3 + 2.72\,\gamma_2^2 = 351$ bulunur.

Bu denklemin kökü 6.25 dir.

$$f_{+50^\circ} = \frac{\gamma_1 a^2}{8\,\sigma_{+50^\circ}} = \frac{3.46 * 10^{-3}\,(300)^2}{8 * (6.25)} = 6.23 \text{ m}$$

hesaplanır.

Problem 4.9

380 kV luk bir iletim hattı, III. Bölgede 400 m lik simetrik menzilde kullanılacaktır. İletken çapı 30.42 mm, iletken kesiti 546.2 mm^2, elastik uzama katsayısı 1/680 mm^2/kg ve ısıl uzama katsayısı $19.5 * 10^{-6}$ 1/°C dir. Montaj tablosu aşağıda verilmiştir. İletkenin buz yüklü haldeki sehimini bulunuz.

t [°C]	σ [kg/mm^2]	f [m]
- ----	-------	------
- 25	5.68	11.83
+ 15	5.00	13.46
+ 40	4.67	14.41
-----	------	------

Çözüm:

Montaj tablosu, ek yüksüz haldeki sehimleri ve gerilmeleri gösterir. Tabloda verilen değerlerden herhangi birisini (örneğin – 25°C; 5.68 kg/mm^2; 11.83 m) seçerek, iletkenin özgül ağırlığı bulunabilir:

$$f_{-25^\circ} = \frac{\gamma_i a^2}{8 \sigma_{-25^\circ}} ; \quad \gamma_i = \frac{f_{-25^\circ} * 8 \times \sigma_{-25^\circ}}{a^2}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$= \frac{5.68 * 8 * 11,83}{(400)^2} = 3.36 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

Buz yükü – 5°C de oluşur.

$$\gamma_t = \gamma_i + \gamma_b ; \quad \gamma_b = \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{0,3\sqrt{30.42}}{546.2} = 3.03 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\gamma_t = 3.36 * 10^{-3} + 3.03 * 10^{-3} = 6.39 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

"1" indisi –25°C yi, "2" indisi buz yüklü hali gösteriyor olsun: DDH'nde yerlerine konularak

$$\frac{(3.36 * 10^{-3})^2 (400)^2}{24 (5.68)^2} - \frac{5.68}{6800} - 19.5 * 10^{-6} (-25) =$$

$$= \frac{(6.39 * 10^{-3})^2 (400)^2}{24 \sigma_2^2} - \frac{\sigma_2}{6800} - 19.5 * 10^{-6} (-5)$$

Ara işlemler sonucu, $\sigma_2 = 9.15 \text{ kg/mm}^2$ bulunur.

$$f_{-5^\circ BY} = \frac{\gamma_i a^2}{8 \sigma_{-5^\circ BY}} ; \quad \frac{6.39 * 10^{-3} (400)^2}{8 * 9.15} \cong 14 \text{ m}$$

olarak hesap edilir.

Problem 4.10

Simetrik bir direk açıklığı için aşağıdaki bilgiler verilmektedir: Menzil: 400 m, iletkenin birim ağırlığı = 1 kg/m, buz yükünün birim ağırlığı: 1 kg/m, iletkenin kesiti : 200 mm^2, elastik uzama katsayısı: 1/5000 mm^2/kg, ısıl uzama katsayısı: $2 * 10^{-5}$ 1/°C, buz yüklü haldeki gerilme: 10 kg/mm^2.

Bu iletim sisteminde iletken iki kat buz yükü ile yüklendiğinde oluşacak gerilmenin kopma gerilmesinin % 70'ini aşmaması istenmektedir. Bu durumda, kopma gerilmesi en az kaç [kg/mm^2] olan iletken seçilmelidir?

Çözüm:

"1" indisi buz yüklü hali, "2" indisi iki kat buzlu hali gösteriyor olsun.

$$g_1 = g_t = g_i + g_b = 1 + 1 = 2 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_t = \frac{g_1}{q} = \frac{2}{200} = 10 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\sigma_{-5°BY} = \sigma_1 = 10 \text{ kg/mm}^2 \; ; \; t_1 = t_b = -5°C$$

$$g_2 = g'_t = g_i + 2g_b = 1 + 2 * 1 = 3 \text{ kg/m}$$

$$\gamma'_t = \frac{g_t}{q} = \frac{3}{200} = 15 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\sigma_2 = \sigma_{-5°(BY)} = ? \; ; \; t_2 = t_b = -5°C$$

DHD'nde yerlerine yazılır, düzenlenirse $\sigma_2^3 + 23.5\,\sigma_2^2 = 7500$ elde edilir. Bu denklemin kökü 14.1 dir. O halde kopma gerilmesi

$$\sigma_{kop} \geq \frac{\sigma_2}{0.70} = \frac{14.1}{0.70} = 20.1 \text{ kg/mm}^2$$

olan iletken kullanılmalıdır.

Problem 4.11

Isıl uzama katsayısı $1.95 * 10^{-5}$ 1/°C, elastik uzama katsayısı $1.33 * 10^{-4}$ mm^2/kg olan bir malzemeden yapılmış bir iletkenin boyu + 15°C sıcaklıkla gerili değilken boyu (makara üzerinde sarılıyken) 406 m'dir.

İletken + 25 °C sıcaklıkta menzil boyunca gerildiğinde, boyu 406,51 m olarak belirlenmiştir. İletkendeki gerilmeyi bulunuz.

Çözüm:

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 = \ell_1 (t_2 - t_1)\,\varepsilon_t + \ell_1 (\sigma_2 - \sigma_1)\,\varepsilon_e$$

σ_1 = 15°C sıcaklıkta, iletken gerili olmadığı için $\sigma_1 = 0$ olacaktır. İki durum arasındaki boy farkı

$$\Delta\ell = \ell_2 - \ell_1 = 406.51 - 406 = 0.51 \text{ m olup}$$

$$0.51 = 406\,(25 - 15)\,1.95 * 10^{-5} + 406\,(\sigma_2 - 0)\,1.33 * 10^{-4}$$

$$\sigma_2 = 8 \text{ kg/mm}^2$$

bulunur.

Problem 4.12

Bir değişik haller denklemi, ara işlemler sonucu

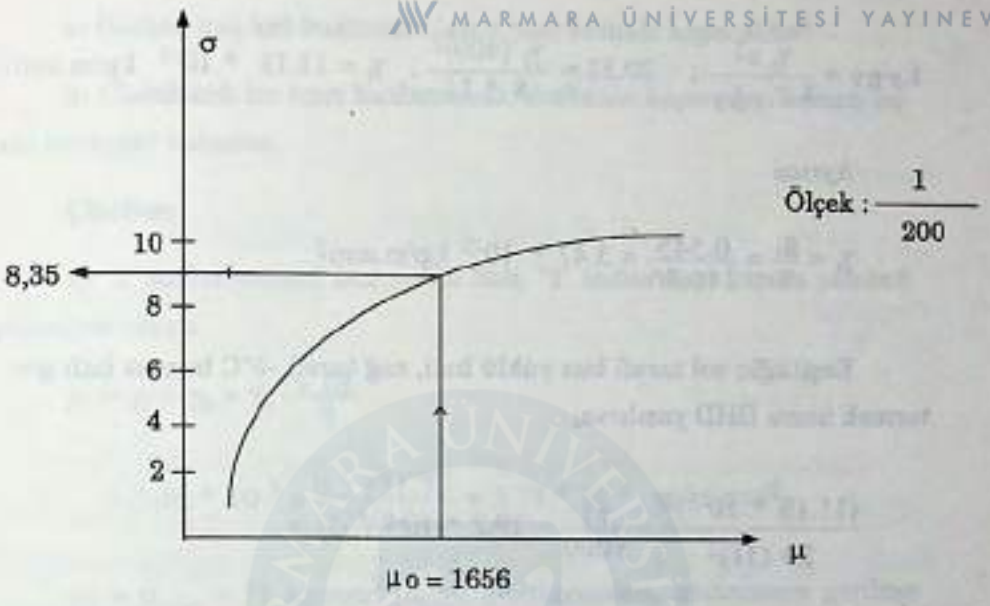
$$\sigma^2 = (\sigma = +15.4) = \mu$$

şeklinde tanımlarsak, $\sigma \rightarrow 2, 4, 6, 8, 10$ değerlerini vererek μ değerlerini bulalım. (Çelik-alüminyum iletkenlerde gerilme 8, ..., 11 kg/mm^2 arasında olduğundan, σ " 10'a kadar değer vermek çoğu kez yeterli olur.)

σ	2	4	6	8	10
μ	69.6	310.4	770.4	1497.6	2540

Bu tablo yardımıyla çizilen $\tau = f(\mu)$ eğrisi Şekil 4.2 de verilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 4.2 $\tau = f(\mu)$ değişimi.

Eğri yardımıyla $\sigma = 8.35$ kg/mm^2 bulunur.

Problem 4.13

Kesiti 156.86 mm^2 ve birim ağırlığı 0.545 kg/m olan bir iletken, 400 m lik simetrik menzilde, III. Bölgede (-25°C; 40°C) gerilecektir. Malzemenin ısıl uzama katsayısı 19.2 * 10^{-6} 1/°C ve elastik uzama katsayısı 1/6800 mm^2/kg dır. Hatta ilişkin diğer bilgiler ise şöyledir:

Kritik sıcaklık derecesi: 44.4 °C; Kritik Menzil: 99 m; y.t.n. da öngörülen maksimum gerilme: 11.0 kg/mm^2; y.t.n. da öngörülen maksimum sehim: 20.32 m. "Kamçılanma mesafesi"ni hesaplayınız.

Çözüm:

$t_{kr} = 44.4$ °C > $t_{max} = 40$°C olduğu için, maksimum sehim -5°C de buz yüklü halde oluşacaktır.

$a_{kr} = 99$ m < a = 400 m olduğu için, maksimum gerilme - 5°C buz yüklü halde oluşacaktır. O halde, verilenler yardımıyla

$$f_{-5°BY} = \frac{\gamma_t a^2}{8 \sigma_{-5°BY}}; \quad 20.32 = \frac{\gamma_t (400)^2}{8 * 11}; \quad \gamma_t = 11.18 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

Ayrıca

$$\gamma_t = \frac{g_i}{q} = \frac{0.545}{146.86} = 3.47 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

Eeşitliğin sol tarafı buz yüklü hali, sağ tarafı -5°C buzsuz hali göstermek üzere DHD yazılırsa,

$$\frac{(11.18 * 10^{-3})^2}{24 (11)^2} - \frac{11}{8000} - 19.2 * 10^{-6} (-5) =$$

$$\frac{(3.47 \times 10^{-3})^2 (400)^2}{24 \sigma_2^2} - \frac{\sigma}{8000} - 19.2 * 10^{-6} (-5)$$

Düzenlenirse $\sigma_2^3 + 44.1 \sigma^2 = 642$ bulunur. Denklemin çözümü 3.67 dir. O halde

$$f_{-5°} = \frac{\gamma_i a^2}{8 \sigma_{-5}} = \frac{3.47 * 10^{-3} (400)^2}{8 * 3.67} = 18.91 \text{ m}$$

Kamçılanma mesafesi = $2 [f_{-5°BY} - f_{-5°}] = 2 [20.32 - 18.91] = 2.82$ m bulunur.

Problem 4.14

Aşağıdaki proje değerleri, II. Bölgede çekilecek 154 kV luk bir iletim hattına aittir:

İletken 477 MCM, çapı 21.77 mm, özgül ağırlığı $3.46 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2, kesiti 280.84 mm^2, öngörülen maksimum gerilme 11 kg/mm^2, elastik uzama katsayısı 1/7800 mm^2/kg, kopma gerilmesi 33 kg/mm^2, menzil 350 m (simetrik), kritik menzil 128 m.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

a) İletken kaç kat buzlanma (aşırı buz) halinde kopacaktır?

b) Olabilecek bu aşırı buzlanmada, iletkenin kopmadan hemen önceki sehimini bulunuz.

Çözüm:

a) "1" indisi normal buz yüklü hali, "2" indisi aşırı kopma yükünü gösteriyor olsun.

$$\gamma_1 = \gamma_i + \gamma_b = \gamma_i + \frac{k\sqrt{d}}{q}$$

$$= 3.46 * 10^{-3} + \frac{0.2\sqrt{21.77}}{280.84} = 5.78 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$\sigma_1 = \sigma_{max} = 11$ kg/mm^2 ($a_{kr} < a$ olduğundan, maksimum gerilme buz yüklü halde oluşur.)

$t_1 = -5°C$ (buzun oluşum sıcaklığı)

$\gamma_2 = \gamma_i + \gamma_b^*$

γ_b^* : Kopmaya yol açacak buz yükü

$\sigma_2 = \sigma_{kop} = 33$ kg/mm^2

$t_2 = t_1$ (ortam sıcaklık derecesinin değişmediği varsayılmıştır.)

Bu değerleri DHD'nde yazalım:

$$\frac{(6.78 * 10^{-3})^2 \ (350)^{-3}}{24 \ (11)^2} - \frac{11}{7800} - \varepsilon_t (-5) = \frac{\gamma_2^2 \ (350)^2}{24 \ (33)^2} - \frac{33}{7800} - \varepsilon_t (-5)$$

Bu denklemin ara işlemler sonucu çözümünden $\gamma_2 = 31.87 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 bulunur.

$\gamma_b^* = \gamma_2 - \gamma_i = 31.87 * 10^{-3} - 3.46 * 10^{-3} = 28.41 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 bulunur. Aşırı buzlanma ise

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\frac{28.41 * 10^{-3}}{3.32 * 10^{-3}} = 8.55 \text{ kat}$$

hesaplanır.

b) $f^* = \frac{\gamma_2^* a^2}{8 \sigma_{kop}} = \frac{31.87 \times 10^{-3} (350)^2}{8 * 33} = 14.78$ m

olacaktır.

Problem 4.15

Isıl uzama katsayısı $1.65 * 10^{-5}$ 1/°C, elastik uzama katsayısı $1.15 * 10^{-4}$ mm^2/kg olan malzemeden yapılmış bir iletken iki askı noktası arasında, + 15°C sıcaklıkta 8 kg/mm^2 lik bir gerilme ile gerilidir. Sıcaklık derecesi azaldığında ve iletkendeki gerilme 10 kg/mm^2 olduğunda, iletken boyunun değişmediği gözlenmektedir. Bu koşulu sağlayan sıcaklık derecesi nedir?

Çözüm:

$\Delta \ell = \ell_2 - \ell_1 = \ell_1 (t_2 - t_1) \varepsilon_t + \ell_1 (\sigma_2 - \sigma_1) \varepsilon_e$

$\Delta \ell = 0$ koşulu olduğundan,

$0 = \ell_1 (t_2 - 15) 1.65 * 10^{-5} + \ell_1 (10 - 8) * 1.15 * 10^{-4}$

Buradan: $t_2 \cong 1$°C bulunur.

Problem 4.16

$\varepsilon_t = 2 * 10^{-5}$ 1/°C ve $\varepsilon_e = 1/5000$ mm^2/kg olan bir iletkenin 20°C oda sıcaklığında yapılan deneyinden; 300 m lik iletkenin 6 kg/mm^2 lik gerilme ile çekildiği bilinmektedir. Bu iletkenin 30°C lik sıcaklıkta çekilirken boyunun 300.1 m olması için, gerilmesi hangi değerde olmalıdır?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$\Delta\ell = 300.1 - 300 = 0.1$ m olduğundan

$$\Delta\ell = 0{,}1 = \ell_1 (\sigma_2 - \sigma_1)\,\varepsilon_e + \ell_1 (t_2 - t_1)\,\varepsilon_t$$

$$= 300\,(\sigma_2 - 6)\frac{1}{5000} + 300\,(30 - 20)\,2 * 10^{-5}$$

$$\sigma_2 \equiv 6{,}67 \text{ kg/mm}^2$$

bulunur.

Problem 4.17

Bir iletim hattı için aşağıdaki bilgiler verilmiştir: a = 400 m (simetrik), g_i = 1,0 kg/m, d = 25 mm, ε_e = 1/5000 mm^2/kg, $\varepsilon_t = 2 * 10^{-5}$ 1°C, q = 200 mm^2, Bölge: II.

İletken tam buzlu yüklü iken, y.t.n. daki gerilme 10 kg/mm^2 dir. Bu anda dış buz kılıfındaki yumuşak kar tabakasının aniden dökülmesi halinde, sehim tam buzlu haldeki değerine göre kaç [m] değişecektir? (Dökülen buz tabakası, tam buz yükünün yaklaşık yarısına eşittir.)

Çözüm:

"1" indisi tam buzlu hali, "2" indisi yarı buzlu hali gösteriyor olsun.

$$\gamma_1 = \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = \frac{g_i}{q} + \frac{k\sqrt{d}}{q} = \frac{1}{200} + \frac{0.2\sqrt{25}}{200} = 10 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\gamma_2 = \gamma_t' = \gamma_i + 0.5\gamma_b = \frac{1}{200} + 0{,}5\left(\frac{0.2\sqrt{25}}{200}\right) = 7.5 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$\sigma_1 = 10$ kg/mm^2; $t_1 = t_2 = -5$°C; $\sigma_2 = ?$

DHD'nde yerlerine yazılır ve düzenlenirse

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\frac{(10 * 10^{-3})^2(400)^2}{24\ (10)^2} - \frac{10}{5000} - 2 * 10^{-5}\ (-5) =$$

$$\frac{(7,.5 * 10^{-3})^2\ (400)^2}{24\ \sigma^2} - \frac{\sigma_2}{5000} - 2 * 10^{-5}\ (-5)$$

$\sigma_2^3 + 23.35\ \sigma_2^2 = 1875$ elde edilir. Bu denklemin kökü $\sigma_2 = 7.75$ dir. O halde

$$f_1 = \frac{\gamma_1\ a^2}{8\ \sigma_1} = \frac{10 * 10^{-3}\ (400)^2}{8 * 10} = 20\ m$$

$$f_2 = \frac{\gamma_2\ a^2}{8\ \sigma_2} = \frac{7.5 * 10^{-3}\ (400)^2}{8 * 7.75} = 19.35\ m$$

$\Delta f = |f_2 - f_1| = 0,65\ m$

bulunur.

Problem 4.18

Çapı 21.77 mm, kesiti 280.84 mm^2, birim ağırlığı 0.973 kg/m olan bir St - Al iletken için öngörülen maksimum gerilme 11 kg/mm^2 dir. İletken malzemesinin elastik uzama katsayısı 1/7800 mm^2/kg ve ısıl uzama katsayısı 19.2 10^{-6} 1/°C dir. Bu iletken 400 m lik menzilde;

a) I. Bölgede (- 10°C; 50°C)

b) II. Bölgede (- 15 °C ; 45 °C)

çekilecek olsa, maksimum gerilme değerleri hangi ortam koşullarında oluşur?

Çözüm:

Maksimum gerilmenin hangi koşullarda oluşacağının kontrolu,

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

"Kritik Menzil (a_{kr})" hesabı ile gerçekleştirilir.

a) I. Bölge için

$$a_{kr} = 2\, H_{max} \sqrt{\frac{6\, \varepsilon_t\, (t_r - t_{min}}{g_r^2}}$$

$$H_{max} = \sigma_{max} \cdot q = 11 * 280.84 = 3089 \text{ kg}$$

$$g_r = c * Q * d * 10^{-3} = 1 * 53 * 21.77 * 10^{-3} = 1.143 \text{ kg/m}$$

$$a_{kr} = 2 * 3089 \sqrt{\frac{6 * 19.2 * 10^{-6} [5 - (-10)]}{(1.143)^2}} = 225 \text{ m}$$

$a_{kr} < a$ (225 m < 400 m) olduğu için, maksimum gerilme + 5°C de Rüzgar Yüklü halde oluşur.

b) II. Bölgede

$$a_{kr} = 2\, H_{max} \sqrt{\frac{6\, \varepsilon_t\, (t_b - t_{min})}{g_t^2 - g_i^2}}$$

$$g_t = g_i + g_b = 0.978 + 0.2\sqrt{21.77} = 1.906 \text{ kg/m}$$

$$a_{kr} = 2 * 3089 \frac{\sqrt{6 * 19.2 * 10^{-6} [-5 - (-15)]}}{(1.906)^2 - (0.973)^2}$$

$a_{kr} < a$ (127 m < 400) olduğu için, maksimum gerilme -5°C de buz yüklü halde oluşur.

Problem 4.19

Problem 4.18'deki veriler geçerli olmak üzere, bu iletken;

a) I. Bölgede

b) II. Bölgede

Çekilecek olsa, maksimum sehim hangi ortam koşullarında oluşur?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

a) I. bölge için

$$t_{kr} = \frac{\sigma_{max}\,\varepsilon_e}{\varepsilon_t} \cdot \frac{\gamma_{eş} - \gamma_i}{\gamma_{eş}} + 5$$

$$= \frac{11}{7800 * 19.2 * 10^{-6}} \frac{\sqrt{(3.46 * 10^{-3})^2 + (4.07 * 10^{-3})^2} - (3.46 * 10^{-3}}{\sqrt{(3.46 * 10^{-3})^2 + (4.07 * 10^{-3})^2}} + 5$$

$= 30.8$ °C

$t_{kr} < t_{max}$ (30.8 °C < 50 °C olduğu için, maksimum sehim, maksimum ortam sıcaklığında (50 °C de) oluşur.

b) II. Bölge için

$$t_{kr} = \frac{\sigma_{max}\,\varepsilon_e}{\varepsilon_t} \cdot \frac{\gamma_b}{\gamma_i + \gamma_b} - 5$$

$$= \frac{11}{7800 * 19.2 * 10^{-6}} \frac{3.32 * 10^{-3}}{(3.46 + 3.32) * 10^{-3}} - 5$$

$\equiv 31$ °C

$t_{kr} < t_{max}$ (31 °C < 45 °C) olduğu için, maksimum sehim, maksimum ortam sıcaklığında (45°C de) oluşacaktır.

Problem 4.20

Kesiti 546,2 mm^2, özgül ağırlığı 3.36 * 10.3 kg/m.mm^2, çapı 30.42 mm olan 380 kV luk 400 m lik simetrik menzilde çekilmiştir. III. Bölgede, buzlu halde iken, y.t.n. da öngörülen çekme kuvveti 5000 kg dır. Bu değer, buzsuz halde hangi ortam sıcaklık derecesinde oluşabilir? Bu olasılık var mıdır? (Malzemenin elastik uzama katsayısı 1/6800 mm^2/kg ve ısıl uzama katsayısı 19.5 x 10^{-6} 1/°C dir.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

"1" indisi buzlu hali, "2" indisi aranan ortam sıcaklık derecesinin oluştuğu ortamı göstersin.

$$\gamma_1 = \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b = 3.36 * 10^{-3} + \frac{0.3\sqrt{30.42}}{546.2} = 6.39 * 10^{-3} \text{ kg/m.mm}^2$$

$$\sigma_1 = \sigma_{.\,5^{\circ}BY} = \frac{H._{\,5^{\circ}\,BY}}{q} = \frac{5000}{546.2} = 9.15 \text{ kg/mm}^2$$

$t_1 = t_b = -5°C$

$\gamma_2 = \gamma_i = 3.36 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2

$\sigma_2 = \sigma_i$ (koşul) ; $t_2 = ?$

Bu değerleri DHD' nde yerlerine yazalım:

$$\frac{(6.39 * 10^{-3})^2 (400)^2}{24 (9.15)^2} - \frac{9.15}{6800} - 19.5 * 10^{-6} (-5) =$$

$$\frac{(3.36 * 10^{-3})^2 (400)^2}{24 (9.15)^2} - \frac{9.15}{6800} - 19.5 * 10^{-6} (t_2)$$

Buradan t_2 çözülürse, $t_2 \cong 125$ °C bulunur. III. bölgenin minimum ortam sıcaklığı - 25°C olduğu dikkate alınırsa, böyle bir olasılık yoktur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

II. KISIM

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MEB I. II

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

SEMBOL LİSTESİ

B : Hattın süseptansı [S]

C : Hattın (kaçak) kapasitesi [μF]

H : Generatörün atalet sabiti

I : Faz akımı [A]

ℓ : Hat uzunluğu [km]

M : Hat maliyeti [TL]

m : Kilometrik maliyet [TL/km]

P : Aktif güç [MW]

Q : Reaktif güç [MVAr]

R : Hattın omik direnci [ohm]

r' : Hattın birim uzunluğunun omik direnci [ohm/km]

S : Görünen güç [MVA]

U : Fazarası gerilim [kV]

V : Faz gerilimi [kV/faz]

X : Endüktif reaktans [ohm]

x_d : Generatörün senkron reaktansı

x_d' : Generatörün geçici reaktansı

x_d'' : Generatörün alt-geçici reaktansı

Y : Hattın admitansı [S]

y' : Hattın birim uzunluğunun admitansı [S/km]

Z : Empedans [ohm]

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

δ : Rotor (yük) açısı [°]

η : Verim [%]

ρ : Toprağın özgül direnci [ohm.m]

ω : Açısal frekans [rad/s]

İndisler:

B : Baz büyüklük

h : Hat

k : Kısa devre

T : Transformatör

y : Yük

1 : Doğru bileşen

2 : Ters bileşen

0 : Sıfır bileşen

Özel Simgeler:

$(\underset{\sim}{.})$ Kompleks büyüklük

$(\bar{.})$ Per-unit büyüklük

$(.)^*$ Kompleks eşlenik

// Paralel bağlantı

[.] Matris gösterimi

Kısaltmalar:

emk: elektromotor kuvvet

p.u. per-unit

SGŞ : Sonsuz güçlü şebeke

ABCD : 4.Uçlu sabitleri

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

5.0 İŞLETME İLE İLGİLİ GENEL HESAPLAR

5.1. Giriş

Bu bölümde enerji iletim hatlarının işletmesine yönelik sehim verme, damper yeri, spacer yeri, toprak özgül direnci ve maliyet konularıyla ilgili problemlere yer verilmiştir. Gerekli ön açıklamalar problem içinde özetlenmiştir.

5.2. Çözümlü Problemler

Problem 5.1

400 m lik direk açıklığı ve 25 m lik kot farkına sahip iki direk arasında sehim verme işlemi gerçekleştirilecektir. Projede DRAKE iletkeni için öngörülen sehim 16.2 m dir. Traversin yere yüksekliği 32 m olup, takeometre yüksekteki direkte yerden 22 m yüksekliğe yerleştirilecektir.

Takeometre için bakış açısını bulunuz.

Çözüm:

Yüksekteki direkte, yerden hx [m] kadar yüksekliğe yerleştirilmiş olan takeometreden istenilen sehimi verdirmek için gerekli bakış açısı (ϕ)

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{h + 4f - 4\sqrt{(h_T - h_x)\,f}}{a}\right)$$

ifadesiyle bulunur. Bu durumda

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{25 + 4 * 16.2 - 4\sqrt{(32 - 22) * 16.2}}{400}\right)$$

$$= 5.5°$$

olarak hesaplanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 5.2

Problem 5.1 deki veriler geçerli olmak koşuluyla, yerden sehim verdirilecektir. Takeometre alçaktaki direğin tabanına yerleştirilmiş olup, boyu 1.2 m dir. Zincir izolatör boyu 1.6 m dir. Takeometrenin ayarlanacak bakış açısını hesaplayınız.

Çözüm:

Söz konusu yaklaşım, daha kolay ve pratik olup bakış açısı

$$\phi' = \tan^{-1}\left[\frac{h_T - (l_{iz} + l_{tak}) - t \pm h}{a}\right]$$

şeklindedir. Burada

$$t = (2\sqrt{f} - \sqrt{h_T - (l_{iz} + l_{tak})})^2$$

olarak tanımlanmıştır. O halde

$$t = (2\sqrt{16.2} - \sqrt{32 - 1.6 + 1.2})^2$$

$$= 7.02 \text{ m}$$

$$\phi' = \tan^{-1}\left[\frac{32 - (1.6 + 1.2) - 7.02 + 25}{400}\right]$$

$$= 6.7°$$

bulunur. Bir sonraki askı noktasının daha yüksekte olmasından dolayı, h (+) işaretli alınmıştır.

Problem 5.3

Problem 5.1 ve 5.2 de bulunan bakış açılarını, simetrik menzil hali için ayrı ayrı bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Simetrik menzilde kot farkı (h) olmayacağından, ifadelerde h = O konularak

$\phi' = 3.2°$ ve

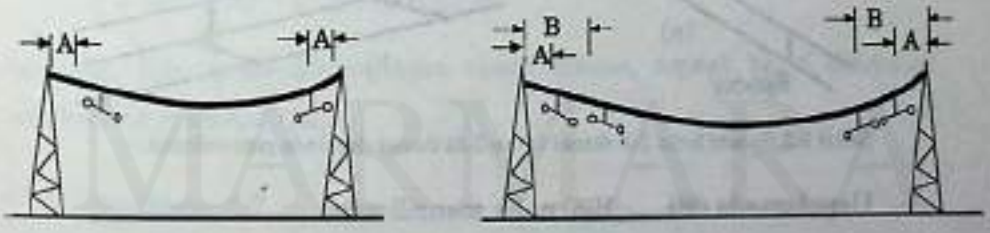
değerleri bulunur.

Problem 5.4

HAWK iletkeninin kullanıldığı bir güzergahta 350 m ve 600 m lik menziller için, damper yerlerini hesaplayınız.

Çözüm:

İletim hatlarında titreşimleri azaltmak üzere kullanılan (stockbridge) damperlerin sayısı, menzile bağlıdır. Örneğin (200 .... 500) m lik menzillerde iki damper, (500 .... 1500)m lik menzillerde ise dört damper kullanılır (Şekil 5.1)



Şekil 5.1 Menzil değerine göre damper sayıları ve damper yerleri.

A ve B aralıkları

$$A = 1.3\, d \sqrt{\frac{H}{g_i}}\ [mm] \quad ; \quad B = 2.2\, d \sqrt{\frac{H}{g_i}}\ [mm] \quad ;$$

bağıntılarıyla hesaplanır d iletken çapını [mm], g_i iletken ağırlığını [kg/m] ve H yıl boyunca ortalama sıcaklıkta çekme kuvvetini [kg] göstermek-

tedir. Böylece HAWK iletkeni için: H = 1700 kg, d = 21.77 mm ve g_i = 0.973 kg/m değerleri yerlerine konursa, 350 m ve 600 m lik menzillerde

A = 1183 mm ve B = 2002 mm

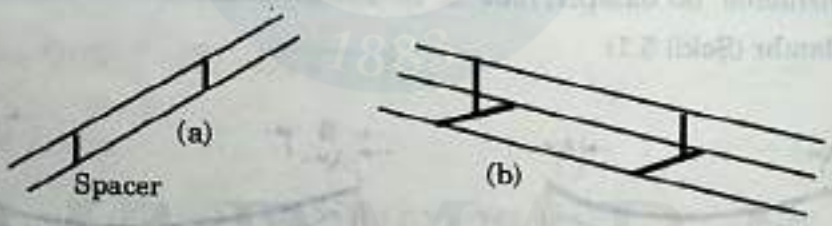
olarak hesaplanır.

Problem 5.5

Bir güzergahta kullanılan 190 m ve 240 m lik menziller için Spacer yerlerini belirleyiniz.

Çözüm:

Enerji iletim hava hatlarında demet iletken kullanılması halinde "spacer (ara tutucu)" elemanları kullanılır. Bunlar menzil boyunca demet aralarına yerleştirilir; böylece salınımların azalması hedeflenir (Şekil 5.2).



Şekil 5.2 Spacer'lerin 2-li demet (a) ve 3-lü demet üzerinde gösterilmesi.

Uygulamada (90..... 195) m lik menzillerde;

$a = \ell_1 + \ell_2 + \ell_1$ şeklinde tanımlanmak üzere, iki adet spacer kullanılır. Spacer'ler askı noktalarından itibaren ℓ_1 mesafede yerleştirilir. Bu menzil aralığında $\ell_1 / a \cong 0.28$ alındığından, 190 m lik menzilde, ka noktalarından 53'er m uzaklıklara yerleştirileceklerdir.

Diğer taraftan (196.... 265) m lik menzillerde; $a = \ell_1 + \ell_2 + \ell_3 + \ell_1$ şeklinde tanımlanmak üzere üç adet spacer kullanılır. Spacer'ler referans alınan bir askı noktasından itibaren ℓ_1., $(\ell_1 + \ell_2)$. ve $(\ell_1 + \ell_2 + \ell_3)$. mesafelerde yerleştirilir. Bu menzil aralığında $(\ell_1/a \cong 0.2$ $\ell_2/a \cong 0.29$ ve $\ell_3/a \cong 0.32$ alındığından, 240 m lik menzilde, referans alınan askı noktasından itibaren 48. m, 70 m ve 77 m noktalarına yerleştirileceklerdir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 5.6

Bir kafes direğin bulunduğu zeminin özgül toprak direnci hesap edilecektir. Bu amaçla 10 ar metre ara ile aynı doğrultuda toprağa çakılan kazıklara ölçü aletine bağlanmış ve direnç değeri Ağustos ayında 7.32 ohm iken Ocak ayında 2.23 ohm olarak okunmuştur. Toprağın özgül direncini hesaplayınız.

Çözüm:

Toprağın özgül direnci

$$\rho = 2\pi R_t d_x \ [\text{ohm.m}]$$

ile hesaplanır. burada R_t [ohm] ve $d_x = 10$ m alınacaktır.

Ağustos ayı için:

$$\rho = 2\pi * 7.32 * 10 \cong 460 \text{ ohm. m}$$

Ocak ayı için:

$$\rho' = 2\pi * 2.23 * 10 \cong 140 \text{ ohm. m}$$

bulunur. Kış aylarında toprağın nemli olması, toprak özgül direncini azaltıcı rol oynamaktadır.

Problem 5.7

400 m lik bir iletim hattının bir askı noktasından itibaren 100 m lik bölümünde buz yükü oluşmuştur; kalan bölümü buzsuz (çıplak) haldedir. Buzlu kısma karşılık düşen (toplam) özgül ağırlık $10 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2, çıplak iletkenin özgül ağırlığı ise $3 * 10^{-3}$ kg/m.mm^2 dir. Yatay teğetli noktanın yerdeğiştirmesini hesaplayınız.

Çözüm:

2. Bölümde belirtildiği gibi,- buz yükünün menzil boyunca düzgün olarak yayıldığı kabul edilmektedir. Ancak, örneğin güneş ışınlarının ile-

tim hattına - orman, dağ yamaçı vb. engel nedeniyle üniform olarak düşmemesi durumunda bu tür kısmi buz yükü oluşur. Bunun sonucu y.t.n. $a/2$ noktasının dışına kayar. iletkenin yere olan mesafesinin yeniden kontrol edilmesi önemli olabilir.(*)

$$\tau_0 = \frac{\sqrt{\gamma_i \gamma_t} - \gamma_i}{\gamma_t - \gamma_i} \quad ; \quad \gamma_t = \gamma_i + \gamma_b$$

$$\tau = \frac{\text{Buzun oluştuğu açıklık [m]}}{\text{Menzil [m]}}$$

olmak üzere;

$\tau > \tau_0$ ise y.t.n. buzlu kısım üzerindedir.

$\tau < \tau_0$ ise y.t.n. buzsuz kısım üzerindedir.

Yatay teğetli noktanın yer değiştirmesi ise

$$\Delta x = \frac{a}{2} - x \ [m]$$

şeklindedir. Burada:

$$x = \frac{a}{2}\left[\frac{\gamma_t - \gamma_i}{\gamma_t}\tau(2 - \tau) + \frac{\gamma_i}{\gamma_t}\right] \quad [m]$$

dir.

Sayısal değerler yardımıyla

$$t_0 = \frac{\sqrt{(3 * 10^{-3})(10 * 10^{-3})} - 3 * 10^{-3}}{(10 - 3)\,10^{-3}} = 0.354$$

$$t = \frac{100}{400} = 0.25$$

$\tau < \tau_0$ $(0.25 < 0.354)$ olduğundan, y.t.n. buzsuz kısım üzerindedir.

(*) Konunun teorik incelemesi için bkz:
Ö.V. Aygen, "Enerji İletim Hatlarında Kısmi Buz Yükünün Sehim Eğrisi Üzerindeki Etkisi", İTÜ Dergisi, cilt 37, s. 80-86, 1979.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$x = \frac{400}{2}\left[\frac{(10 - 3) * 10^{-3}}{10 * 10^{-3}}(0.25)(2 - 0.25) + \frac{3 * 10^{-3}}{10 * 10^{-3}}\right]$$

$$= 121.25 \text{ m}$$

$$\Delta x = \frac{400}{2} - 121.25 = 78.75 \text{ m}$$

y.t.n. ilk konumuna (a/2 noktasındaki yerine) göre 78.75 m ötelenmiş olacaktır.

Problem 5.8

Yurtdışından alınan çelik özlü HAWK iletkenin TS 490'a uygunluğu test edilecektir; bu amaçla iletkenden 1.6 m uzunluğunda bir numune alınmıştır. Test aşamaları ve bulguları topluca verilecektir.

Çözüm:

Alınan numunede 7 adet çelik tel, 26 adet alüminyum tel bulunmaktadır. Tel çapları; çelik için 2.67 mm ve alüminyum için de 3.44 mm dir.

1- Gözle muayene:

İletkenin yüzeylerinde çapak, kir ve yabancı madde görülmemiştir. Alüminyum ve çelik teller (damarlar) düzgün şekilde üst üste sarılmış ve iki tabaka oluşturulmuştur.

2. Boyut muayenesi:

Tel çapları dijital mikrometre ile ölçülmüş olup bulunan değreler, TS 490'daki toleranslar içindedir.

3. Adım oranı deneyi:

Numune olarak alınan (örgülü) iletken elle düzeltildikten sonra adım oranını belirlemek için, numunenin üzerine bir kağıt ve onun üzerine de karbon kağıdı konularak kalemin tersi ile sürtülerek tellerin izi

alınmıştır. tabakadaki tel adeti (16 adet) kadar iz sayılarak işaretlenmiş ve aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır:

L_1 = 238 mm (ölçüm değeri)

d_t = 22 mm (ölçüm değeri)

adım oranı = L_1/d_t = 238/22 = 10.82

TS 490'a göre minimum 10, maksimum 13 olduğuna göre bu değer uygundur.

4. Kopma gerilmesini ve kopma uzamasını belirleme deneyi:

Numune 50 cm uzunluğunda kesilmiş ve deney cihazının çeneleri arasında kalan bölümü 30 cm uzunluğunda olacak şekilde tutturulmuştur. Yavaş yavaş gerilme yükü uygulanmıştır. (Çenelerin birbirinden ayrılış hızı dakikada 80 mm olacak şekilde ayarlanmıştır.) Kopma gerçekleştiğinde kopma yükü ve kopma uzaması aşağıdaki değerlerde bulunmuştur:

Alüminyum tellerde kopma yükü: 183.4 N/mm^2 (TS 490'a göre minimum 170 N/mm^2 dir.) Galvanizli çelik tellerde kopma yükü 1712.6 N/mm^2 (TS 490'a göre minimum 1410 N/mm^2 dir.)

5. Özdirenci belirleme deneyi:

Numuneden çözülerek çıkarılan alüminyum tel, alkolle iyice temizlendikten sonra Thomson köprüsü ile direnç ölçülmüştür. numunenin uzunluğu L = 91 cm ve ölçülen direnç 3000 mikroohm dur. Ölçüm işlemi 25 °C de gerçekleştirildiği için, sonuçların 20°C ye indirgenmesi gerekmiştir.

$R = R_{20} [1 + \alpha (T - 20)]$; $\alpha = 0.00403$

$3000 = R_{20} [1 + 0.00403 (25 - 20)]$

R_{20} = 2940.7 mikroohm

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\rho_{20} = \frac{R_{20} * q}{L} \quad ; \quad q = 3.42\ mm^2 \text{ (ölçüm değeri)}$$

$$= \frac{2940.7 * 10^{-6}\ (3.47)}{91 * 10^{-2}} = 112.45 * 10^{-4}\ \text{ohm.mm}^2/\text{m}$$

Özdirençin maksimum değeri, TS490'a göre, 0.028264 ohm.mm^2/m olduğundan bulunan sonuç uygundur.

6. Sarma deneyi:

Alüminyum tellerde:

Numuneden kesilen yeteri kadar uzunluktaki deney parçası, çapı çapına eşit olan bir tel üzerine sıkı olarak ve sekiz sarımlı bir helis meydana getirecek şekilde sarılmıştır. Daha sonra helisin altı sarımı çözülüp tekrar aynı yönde bir kez daha altı sarım sarılmıştır. Deney sonunda elle ve gözle yapılan muayenede tellerde herhangi bir kırılmanın olmadığı, yüzeylerde çatlama ve pullaşma olmadığı görülmüştür.

Çelik tellerde:

Yeteri uzunlukta deney parçası,, kendi çapının iki katına eşit çapta ve silindir biçiminde bir mandrel üzerine dakikada 15 deviri geçmeyen bir hızla 10 sarımlı sıkı bir helis şeklinde sarılmıştır. Çinko kaplanmış çelikli telin yeterince esnek olduğu ve çinko kaplamada esneme yüzünden herhangi bir çatlama ve kırılmanın olmadığı görülmüştür.

7. Çinko kaplamanın yapışanlık deneyi:

TS 490 madde 2.3.6. ya uygun olarak deney yapılmış olup, deney sonunda çinko kaplamanın çıplak parmakla sürtüldüğünde dökülecek kadar çatlamamış olduğu görülmüştür.

8. Çinko kaplamanın ağırlığını belirleme deneyi:

Deney, TS 490 ve madde 2.3.7 de anlatıldığı gibi yapılmış olup, or-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

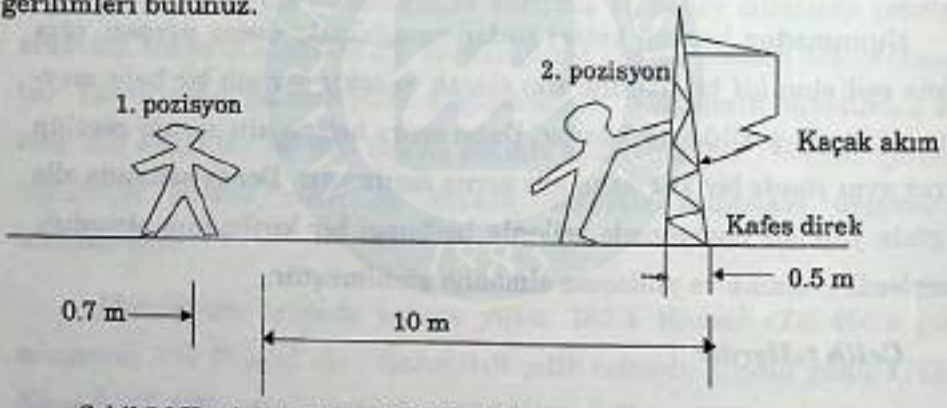
talama kaplama ağırlığı 343.26 gr/m^2 olarak belirlenmiştir. (TS 490'a göre minimum değer 260 gr/m^2 dir.)

Problem 5.9

Bir kafes direğin potansiyel dağılımının matematiksel ifadesi $10\ e^{-0.1\ell}$ [kV] olarak bilinmektedir. ℓ, direkten itibaren (m) olarak uzaklığı göstermektedir.

a) Topraklama gerilimini bulunuz.

b) Şekildeki canlının birinci ve ikinci pozisyonda maruz kalacağı gerilimleri bulunuz.



Şekil 5.3 Kaçak akım içeren bir kafes direk.

Çözüm:

a) Topraklama gerilimi, tanımı gereği

$$10\ e^{-0.1\ell}\Big|_{\ell=0} = U_{tk} = 10 \quad kV$$

b) Birinci pozisyonda "adım gerilimi (U_a)" oluşur:

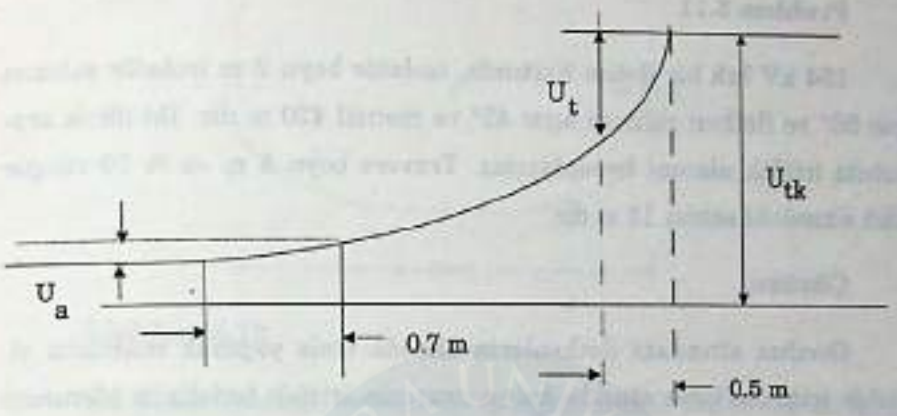
$$U_a = 10\ e^{-0.1(o)} - 10\ e^{-0.1(10.7)} = 0.248 \quad kV$$

İkinci pozisyonda ise "temas gerilimi (U_t)" oluşur:

$$U_t = 10\ e^{-0.1(o)} - 10\ e^{-0.1(0.5)} = 0.488\ kV$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Problem 5.10

Bir kafes direkte, faz-toprak arızasından dolayı dikmelerden toprağa geçen akımın 0.1 kA olduğu bilinmektedir.

a) Direğin temelinden 10 m uzaklıktaki bir K noktasında akım yoğunluğunu bulunuz.

b) Toprak özgül direncini, sırasıyla, 100 - 1000 - 10000 ohm.m olarak K noktasındaki elektrik alan şiddetini hesaplayınız.

Çözüm:

a) $$J = \frac{I_t}{2\pi x^2}$$

$$= \frac{100}{2p\,(10)^2} = 0.16 \ A/m^2$$

b) $$E = \rho J = \rho \frac{I_t}{2\pi x^2}$$

ρ = 100 ohm.m için E = 16 V/m

ρ = 1000 ohm.m için E = 160 V/m

ρ = 10000 ohm.m için E = 1600 V/m

hesaplanır.

Problem 5.11

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

154 kV luk bir iletim hattında, izolatör boyu 2 m izolatör salınım açısı 50° ve iletken salınım açısı 42° ve menzil 420 m dir. İki direk arasındaki irtifak alanını hesaplayınız. Travers boyu 8 m ve % 70 rüzgar yükü altındaki sehim 13 m dir.

Çözüm:

Gerilim altındaki iletkenlerin altında tesis yapmak mümkün olmadığı için, hatların altında kalan arazinin irtifak bedelinin ödenmesi gerekir.

İrtifak alanı (S) = $2S_1 + S_2$ olup burada:

$$S_1 = \frac{K + 2\,(l_{ir} + em)}{8} \cdot a \quad [m^2]$$

$$K = 2\,(\ell_{iz} \sin \alpha_{iz} + f \sin \alpha_i + em + \ell_{tr}) \quad [m]$$

$$S_2 = \frac{K * a}{2} \quad [m^2]$$

şeklindedir. ℓ_{iz} izolatör boyu, ℓ_{tr} travers boyu, α_{iz} %70 rüzgar yükü altında salınım açısı, α_i iletken salınım açısı, em emniyet açıklığını göstermektedir. 154 kV için em = 5 m alınabilir.

Verilen sayısal değerler yardımıyla,

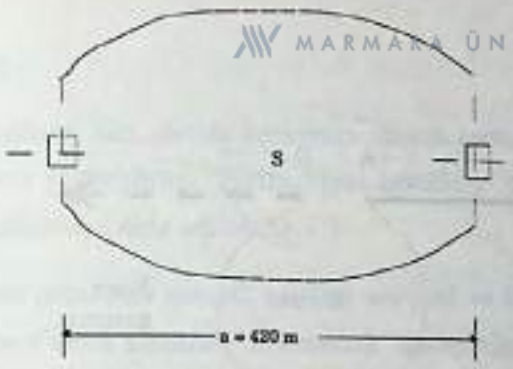
$$K = 2\,(2 \sin 50° + 13 \sin 42° + 5 + 8) = 46.46 \text{ m}$$

$$S_1 = \frac{46.46 + 2\,(8 + 5)}{8}\,(420) = 3804 \text{ m}^2$$

$$S_2 = \frac{46.46\,(420)}{2} = 9757 \text{ m}^2$$

$$S = 2\,(3804) + 9757 = 17365 \text{ m}^2$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Problem 5.12

Bir iletim hattında ortalama (eşdeğer) menzil 332 m dir. İletkenin fiyatı 17 milyon TL/km ve direklerin her birisinin fiyatı 29 milyon TL dir. izolatör, kazı, montaj vb. maliyetleri direk fiyatı içinde gözetilmiştir.

a) Hava hattının 1 km sinin maliyetini bulunuz.

b) Hattın 106. km sine gelindiğinde, bir körfezin geçilmesi gerekmektedir (Şekil 5.4). 500 m genişliğindeki A ve B noktalarından geçiş için, aşağıdaki üç seçenek üzerinde durulmaktadır:

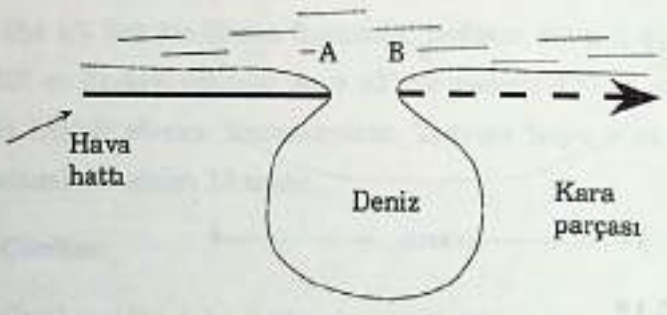
1. seçenek: Hava hattının körfez çevresinden geçirilmesi (körfez çevresi 3.3 km dir.)

2. seçenek: Atlama hattı (atlama direklerinin her birinin fiyatı 100 milyon TL dir.)

3. seçenek: Sualtı kablosu (kablonun fiyatı 250 milyon TL/km dir; suyun derinliğine bağlı olarak A ve B noktaları arasında 900 m lik kablo kullanılacaktır.)

Hattın A ve B noktaları arasından geçirilmesinde, en ekonomik seçenek hangisidir?

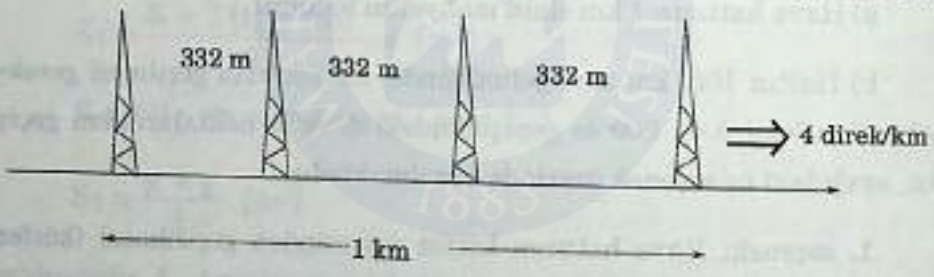
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 5.4 İlgili sistemin kuşbakışı görüntüsü.

Çözüm:

a) Hattın kilometrik maliyeti = 4 * 29 + 17 * 1 = 133 milyon TL/km



b)

1. seçenekte: Toplam 3300/332 + 1 = 11 direk bulunacaktır.

Geçiş maliyeti = 11 * 29 + 17 * 3.3 = 375 milyon TL

2. seçenekte: Geçiş maliyeti = 2 * 100 + 17 * 0.5 = 208.5 milyon TL.

3. seçenekte: Geçiş maliyeti = 0.9 * 250 = 225 milyon TL.

En ekonomik seçenek "2. seçenek" tir.

Problem 5.13

Türkiye'deki mevcut enerji iletim gerilim gerilimleri (154 kV ve 380 kV) esas alınarak, sabit ve değişken maliyetlerini ifade ediniz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Sabit maliyet için, iletim hatlarına ilişkin temel elemanların maliyetleri dikkate alınmalıdır. "Birim Fiyat Listeleri" yardımıyla elemanların birim maliyetleri elde edilebilir. (*)

Belirli bir ortalama menzil, gerilim seviyesi ve iletken tipi için "Birim Fiyat Listesi"nden alınacak "kilometrik" maliyetler şu şekildedir:

Askı takımı (izolatör + hırdavat) maliyeti, $m_{tk,a}$ [TL]

Gergi takımı (izolatör + hırdavat) maliyeti, $m_{tk,g}$ [TL]

İletken maliyeti, m_i [TL]

Koruma telinin maliyeti, m_{kt} [TL]

Demir (imalat + montaj) maliyeti, m_{fe} [TL]

İletken ve toprak telinin çekimi maliyeti, $m_{çk}$ [TL]

Proje, istimlak, zarar ziyan maliyeti, m_{pr} [TL]

Dikkate alınacak iletim kümeleri ise şunlardır:

154 kV tek devre 3-lü demet (3 x 477 MCM)

154 kV çift devre 3-lü demet (2 x 3 x 477 MCM)

380 kV tek devre 2-li demet (2 x 954 MCM)

380 kV tek devre 3-lü demet (3 x 954 MCM)

(*) Birim fiyatların yıllar bazında sürekli değişmeler göstermesi nedeniyle, burada sayısal değerler verilmemiş, bunun yerine genel matematiksel formülasyonun verilmesi yoluna gidilmiştir.

Birim fiyat listelerindeki demir ağırlıkları (direk boyutları), I. ve II. Bölgelere göre verilmiştir. Bu ağırlıklar; III. Bölgede % 10 daha fazla, IV. Bölgede % 30 daha fazla ve V. Bölgede de % 60 daha fazla alınacaktır.

Diğer taraftan, ortalama olarak her on taşıyıcı direkte bir durdurucu direk kullanılacağı kabul edilebilir. Birim Fiyat Listesi'nde genellikle taşıyıcı direk için demir ağırlığı verilmektedir; durdurucu direk için bu değer yaklaşık % 10 kadar daha fazla alınabilir.

Bu bilgilerin ışığında, belirli gerilim, buz bölgesi, devre sayısı ve demet sayısına sahip iletim hattının ℓ [km] uzunluğuna ilişkin sabit maliyeti

$$M_s = n_t * m_{tk,a} + n_g * m_{tk,g} + \ell\,(m_i + m_{kt}) + m_{Fe}\,(n_t + 1.1\,\eta_d) + \ell\,(m_{çk} + m_{pr})$$

şeklinde ifade edilebilir. n_t, hat boyunca kullanılacak taşıyıcı direklerin sayısını ve n_d de durdurucu direklerin sayısını göstermektedir.

İletim hattının değişken maliyeti, büyük ölçüde hat kayıplarına karşılık düşen maliyettir. ℓ [km] uzunluğundaki iletim hattı için

$$M_d = \ell\ (3r'\,I^2 * 10^{-3})\,K \sum_{j=1}^{8760} T_j$$

olarak genelleştirilebilir. $3r'\,I2 * 10^{-3}$ km boy için hat kayıplarını, Tj işletme süresini (8760 saatin toplamı olarak), K ise enerjinin birim fiyatı [TL/kWh], faiz, amortismanı içeren bir sabiti göstermektedir.

Problem 5.14

200 km lik çift devre enerji iletim hattını besleyen transformatör, 154/380 kV - 200 MVA etiket değerlerine sahiptir. Söz konusu transformatörün gürültü seviyesini hesaplayınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Çevre etkinliği açısından ele alınacak gerilim seviyesi (G.S.)

$$G.S. = 10 \log S + K \quad [dB]$$

şeklindedir. S transformatörün anma gücünü [kVA] ve K soğutma tipi ve üst gerilim seviyesine bağlı olarak alınabilecek "sabit"i göstermektedir.

Örneğin zorlanmış (cebri) soğutması ve 380 kV luk üst gerilim seviyesi olan bu transformatör için ilgili Tablodan K = 30 alınabilir ve

$$G.S. = 10 \log (200 * 10^3) + 30$$

$$= 83 \text{ dB}$$

elde olunur.

İletim hattının % 20 aşırı aşırı yüklenmesi halinde ise, bu değer

$$G.S.' = 10 \log (240 * 10^3) + 30$$

$$\equiv 84 \text{ dB}$$

olacaktır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

6.0 SÜREKLİ İŞLETME ANALİZİ

6.1. Giriş

Enerji sistemlerinin sürekli işletme analizi jω - düzleminde, bir başka deyişle fazör yaklaşımı kullanılarak gerçekleştirilir.. Analizlerde faz arası gerilimler ve üç fazın toplam gücü verilir. Başlangıçta verilen gerilimler referans alındığından, fazı 0° kabul edilir.

Hatların omik direnç, endüktans ve kapasite şeklinde üç temel parametresi vardır. Kompleks düzlemde yapılacak analizlerde endüktans yerine endüktif reaktans ve kapasite yerine de kapasitif reaktans tanımları kullanılır. Omik direnç ve endüktif reaktans, doğal olarak, seri bağlamda toprağa olan kaçak kapasite (veya düğüm analizinde kolaylık sağlayan şönt admitans gösterimi) paralel bağlamda modellenir.

Enerji iletim hatları kısa, orta ve uzun iletim hattı olarak üç grupta incelenebilir. Kısa iletim hatlarında kaçak kapasite ihmal edilirken, orta uzunluktaki hatlarda kaçak kapasitenin belli noktalarda toplanmış olduğu kabulü geçerlidir (T ve π modelleri). Uzun iletim hatlarında ise, hatların düzgün dağılmış kapasiteye sahip olduğu göz önünde bulundurulur. İlk iki tipte Kirchhoff'un akımlar ve gerilimler yasaları kullanılarak analiz yapılabilirken, son tipte hiperbolik fonksiyonların kullanılması gerekir.

Enerji iletim hatlarının sürekli işletilmesinde; senkron generatörlerin senkron reaktansı, transformatörlerin kaçaklar reaktansı, iletim hatlarının empedansı ve admitansı, sonsuz güçlü şebekenin reaktansı göz önüne alınır. (Sonsuz güçlü şebeke; çok sayıda generatörün bağlı bulunduğu, gerilim ve frekansın daima sabit tutulduğu bir bara şeklinde sembolize edilebilir.)

Sürekli işletmede karşılaşılan işletme büyüklükleri şu şekilde özetlenebilir:

Sürekli işletmede karşılaşılan işletme büyüklükleri şu şekilde özetlenebilir:

- Bara gerilimleri
- Hat akımları
- Hat kayıpları
- İletilebilecek güç
- Kompanzasyon gücü

Problemlerin çözümünde ise aşağıdaki varsayımlar geçerlidir:

- Verilmeyen değerler ihmal edilecektir.
- Sistem lineerdir (magnetik çekirdek içeren sistem elemanlarındaki doyma ihmal edilmiştir.)
- Gerek gerilimler gerekse akımlar dengeli (simetrik) karakterdedir; yükler endüktif özelliklidir.
- Gerek gerilimler gerekse akımlar tamamen sinüsoidaldir (harmonik etkileri bulunmamaktadır.)

Son olarak bir iletim hattı için verilecek DATA şu şekilde listelenebilir:

Hat uzunluğu l [km]

Hattın birim epdansı $\underline{z}' = r' + jx'$ [ohm/km]

Hattın birim admitansı $y' = jb'$ [S/km]

Hattın işletme gerilimi U [kV]

Hattan çekilen görünür güç $\underline{S} = P + jQ$ [MVA]

Bu değerler yardımıyla hattın empedansı ve admitansı

$$\underline{Z} = \underline{z}' * l \quad [\text{ohm}] \tag{6.1}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\underline{Y} = jb' * l \quad [S] \tag{6.2}$$

hattın "tek-hat eşdeğer devresi" kullanılacağı için faz gerilimi

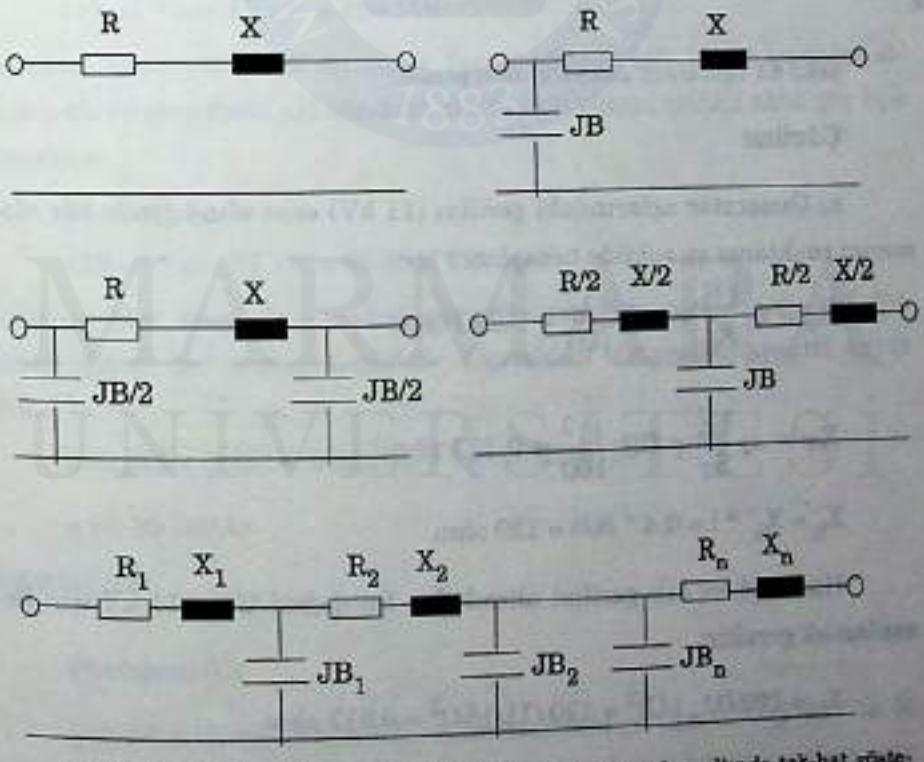
$$\underline{V} = \underline{U} / \sqrt{3} \quad [kV/faz] \tag{6.3}$$

hesaplandıktan sonra, hat akımı

$$\underline{I}^* = \frac{S}{\sqrt{3}\,\underline{U}} = \frac{S}{3\,\underline{V}} \quad : \tag{6.4}$$

bulunur ve analize geçilir.

Karmaşık topolojiye sahip enerji sistemleri çok sayıda transformatör içerdiği için, akım dağılımı yerine güç dağılımının (güç akışı) yapılması yoluna gidilir. Geleneksel akım ve gerilim denklemlerin yazılmasının yanısıra, iki-kapılı (4-uçlu) sabitlerinden de (ABCD) yararlanılabilir.



Şekil G 6.1 İletim hatlarının çeşitli modelleme varsayımları altında tek-hat gösterimleri.

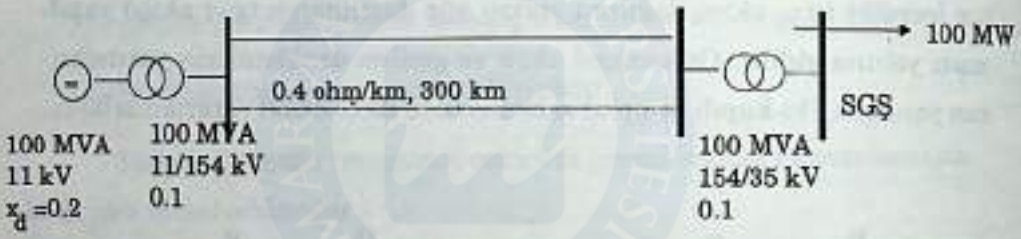
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.1

Şekil 6.1 deki enerji sisteminde generatör, transformatör ve hatların karakteristik değerleri verilmiştir. Hat sonu gerilimi anma değerinde sabit tutulmaktadır.

a) Generatör uçlarındaki gerilim kaç kV dur?

b) Generatör uçlarındaki aktif ve reaktif güçleri bulunuz?



Şekil 6.1 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

a) Generatör uçlarındaki gerilim (11 kV) esas alındığında her elemanın reaktansı şu şekilde hesaplanır

$$X_d = x_d \frac{U_n^2}{S_G} = 0.2 \frac{11^2}{100} = 0.242 \text{ ohm}$$

$$X_T = u_k \frac{U_n^2}{S_T} = 0.1 \frac{11^2}{100} = 0.121 \text{ ohm}$$

$$X_h = X_h' * l = 0.4 * 300 = 120 \text{ ohm}$$

Hat, 154 kv luk gerilim altındadır. Bu değeri Un = 11 kV için hesaplamak gerekir:

$$X_h = 120 (U_n / U)^2 = 120 (11/154)^2 = 0.612 \text{ ohm}$$

Artık generatör uçlarındaki gerilim bulunabilir:

$$\underline{E} = J (X_d + X_T + X_h / 2 + X_T) \underline{I} + \underline{V}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\underline{I} = \frac{\underline{S}}{\sqrt{3}\,\underline{U}} = \frac{100\angle 0^\circ * 10^3}{\sqrt{3}\,11\angle 0^\circ} = 5248.8 \text{ A}$$

$$\underline{E} = J\,(0.242 + 0.121 + 0.612/2 + 0.121)\,5248.8 + 1100/\sqrt{3}$$

$$= 6351 + J\,4146.5 = 7584.8\angle 33.14^\circ \text{ V/faz}$$

Fazarası değer ise

$$\sqrt{3} * 13137 = 13137 \text{ V}$$

olacaktır.

b) Generatör uçlarındaki güç

$$\sqrt{3} * 13137\angle 33.14^\circ * 5248.8 * 10^{-6} = 119.43\angle 33.14^\circ \text{ MVA}$$

olacaktır. Buradan aktif güç,

$$119.43 * \cos 33.14^\circ = 100 \text{ MW}$$

bulunur. Sistemde omik dirençler ihmal edildiği için aktif kayıplar olmayacak ve generatör uçlarındaki aktif güçle yükün çektiği aktif güç eşit olacaktır.

Reaktif güç ise

$$119.43 * \sin 33.14^\circ = 65.29 \text{MVAr}$$

bulunur. Hat sonundan reaktif güç çekilmediğine göre, bu reaktif güç kayıp olarak harcanmış demektir. Gerçekten sistemdeki reaktif kayıp güç

$$3\,(0.242 + 0.121 + 0.612/2 + 0.121)\,(5248.8)^2 * 10^{-6}$$

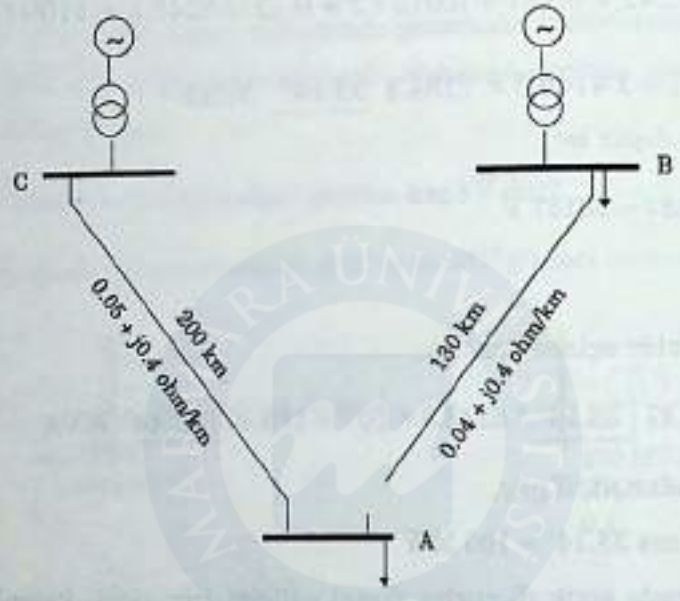
$$= 65.29 \text{ MVAr}$$

değerindedir.

Problem 6.2

Şekil 6.2 enerji sisteminde, A barasındaki gerilim $154\angle 0^\circ$ kV ve B barasının gerilimi $165\angle 10^\circ$ kV dur. AC hattından A barasına giren güç $120 + J30$ MVA olarak ölçülmektedir.

a) A barasındaki yükün aktif ve reaktif güçlerini bulunuz.
b) B ve C baralarının çıkışındaki aktif ve reaktif güçleri bulunuz.
c) C barasının gerilimini (genlik ve faz olarak) belirleyiniz.



Şekil 6.2. İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

a) A barasındana çekilen güç, B ve C baralarından çekilen güçlerin toplamıdır. (Bu güçlerin kompleks düzlemde toplanması gerekecektir.)

A ve B bara gerilimleri bilindiğine göre, AB hattına ilişkin gerilim düşümü (ΔV)

$$\Delta \underline{V} = \underline{V}_B - \underline{V}_A = \frac{1}{\sqrt{3}}\left(\underline{U}_B - \underline{U}_A\right)$$

$$= \frac{1}{\sqrt{3}}\left(164\,\angle 10° - 154\,\angle 0°\right) = 17\,\angle 75.2°\ \text{kV/faz}$$

B barasından A barasına akan akım ise, şönt elemanlar ihmal edildiği için

$$\underline{I}_B = \frac{\Delta \underline{V}}{\underline{Z}_{AB}}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}'_{AB} * \ell_{AB} = (0.04 + J\,0.4)\,130 = 5.2 + J52 \text{ ohm}$$

$$= 52.26 \angle 84.29° \text{ ohm}$$

$$\underline{I}_B = \frac{17 \angle 75.2° * 10^3}{52.26 \angle 84.29°} = 325.3 \angle -9.09° \text{ A}$$

olup bu akıma karşılık düşen A barasındaki kompleks güç

$$\sqrt{3}\,\underline{U}_A\,\underline{I}^*_B = \sqrt{3}\,154 \angle 0° * 325.3 \angle 9.09° * 10^{-3}$$

$$= 86.77 \angle 9.09° \text{ MVA}$$

$$= 85.68 + J\,13.71 \text{ MVA}$$

bulunduğuna göre, C barasından gelen güç 120 + J30 MVA olduğundan, A barasındaki yükün çekeceği güç

$$\underline{S}_A = (120 + J30) + (85.68 + J13.71)$$

$$= 205.68 + J43.71 = 210.27 \angle 12° \text{ MVA}$$

olarak hesap edilir.

b) B barası çıkışındaki güç

$$\underline{S}_B = \sqrt{3}\,\underline{U}_B\underline{I}^*_B = \sqrt{3}\,164 \angle 10° * 325.3 \angle 9.09° * 10^{-3}$$

$$= 92.4 \angle 19.09° \text{ MVA}$$

$$= 87.32 + J\,30.22 \text{ MVA}$$

veya, "kayıp" ların hesabı yardımıyla,

$$3 * \underline{Z}_{AB} * \underline{I}^2_B = 3\,(5.2 + J52)\,(325.3)^2 * 10^{-6}$$

$$= 1.65 + J16.51 \text{ MVA}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

kompleks kayıp güç hesaplanarak

$$\underline{S}_B = (85.68 + J13.71) + (1.65 + J16.51)$$

$$= 87.33 + J30.22 \quad \text{MVA}$$

yaklaşık aynı sonuca ulaşılır.

C barası çıkışındaki güce gelince, benzer şekilde, bu baradan A barasına verilen güçle kayıp gücün toplamından oluşacaktır. AC hattının gücü $120 + J30 \text{ MVA} = \sqrt{3}\, \underline{U}_A \underline{I}^*_C$

$$\underline{I}_C = \frac{10^3}{\sqrt{3}\ 154} (123.69 \ \underline{|14.03°})^* = 463.73 \ \underline{|-14.03°} \text{ A}$$

olup AC hattında oluşacak kompleks kayıp güç

$$3 * \underline{Z}_{AC} * \underline{I}_C^2$$

olacaktır.

$$\underline{Z}_{AC} = \underline{Z}'_{AC} * l_{AC} = (0.05 + j0.4)\ 200 = 10 + j80 \text{ ohm}$$

$$= 80.62 \underline{|82.87°} \text{ ohm}$$

$$3\,(10 + j80)\,(463.73)^2 * 10^{-6} = 6.45 + j51.61 \text{ MVA}$$

kayıp gücünün 120 + j30 MVA değerine eklenmesiyle, C barasının gücü

$$\underline{S}_C = (6.45 + j51.61) + (120 + j30)$$

$$= 126.45 + j81.61 \text{ MVA}$$

bulunur.

c) C barasının gerilimi

$$\underline{V}_C = \underline{Z}_{AC}\, \underline{I}_C + \underline{V}_C$$

$$= 80.62 \underline{|82.87°}\ 463.73\ \underline{-14.03°} * 10^{-3} + 154 / \sqrt{3} \underline{|0°}$$

$$= 102.4 + j34.86 \text{ kV/faz}$$

$$= 108.17 \underline{|18.8°} \text{ kV/faz}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

veya fazarası değer olarak

$$\underline{U}_C = \sqrt{3}\ \underline{V}_C = \sqrt{3} * 108.17 \angle 18.8^\circ = 187.35 \angle 18.8^\circ \text{ kV}$$

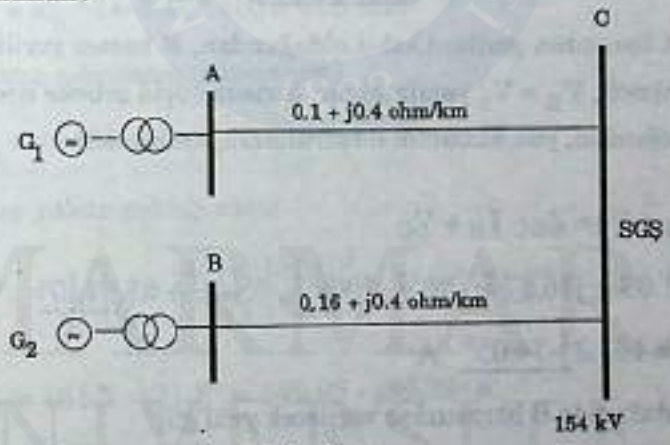
elde edilir.

Problem 6.3

Şekil 6.3 deki enerji sisteminde, G_1 ve G_2 generatörleri sonsuz güçlü bir C barasını beslemektedir. Hatların uzunlukları 250 km dir. C barasına birinci hattan 50 + j20 MVA, ikinci hattan ise 150 + j80 MVA değerinde güçler iletilmektedir.

a) A ve B baraları arasındaki gerilim kaç [kV] dur?

b) A barasının gerilimi ve gücü sabit kalmak koşuluyla, V_{AB} geriliminin sıfır olabilmesi için, B barasından verilmesi gereken kompleks güç ne olmalıdır?



Şekil 6.3 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

a) $\underline{Z}_{AC} = (0.1 + j0.4)\ 250 = 25 + j100$ ohm

$\underline{Z}_{BC} = (0.16 + j0.4)\ 250 = 40 + j100$ ohm

$\underline{I} = \dfrac{\underline{S}}{\sqrt{3}\ \underline{U}_C}$ bağıntısı yardımıyla, $\underline{U}_C = 154 \angle 0^\circ$ kV alınarak A ve

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

B baralarından verilen akımlar

$$\underline{I}_A = 201.89 \angle -21.8° \text{ A ve } \underline{I}_B = 637.35 \angle -28° \text{ A}$$

olarak hesaplanır. Bu durumda gerilim denklemleri

$$\underline{V}_A = \underline{Z}_{AC}\,\underline{I}_A + \underline{V}_C$$

$$\underline{V}_B = \underline{Z}_{BC}\,\underline{I}_B + \underline{V}_C \quad ; \quad \underline{V}_C = 154/\sqrt{3} \text{ kV/faz}$$

göz önüne alınırsa, A ve B baralarının gerilimleri

$$\underline{V}_A = 101.09 + j16.87 \text{ kV/faz} \; ; \quad \underline{V}_B = 141.39 + j44.24 \text{ kV/faz}$$

şeklinde elde edilir. Aradaki fark gerilim ise

$$\underline{V}_B - \underline{V}_A = 40.3 + j27.37 = 48.72 \angle 34.19° \text{ kV}$$

bulunur.

b) A barasının gerilimi sabit olduğundan, B barası gerilimi bu değere getirilmeli, $V'_B = V_A$ yapılmalıdır. Sonsuz güçlü şebeke nedeniyle Vc sabit olacağından, yük akımının düşürülmesi gerekecektir.

$$\underline{V}'_B \overset{\Delta}{=} \underline{V}_A = \underline{Z}_{BC}\,\underline{I}'_B + \underline{V}_C$$

$$101.09 + j16.87 = (40 + j100)\,\underline{I}'_B * 10^{-3} + 88.91 \angle 0°$$

$$\underline{I}'_B = 193.2 \angle -14.05° \text{ A}$$

Bu durumda B barasından verilecek yeni güç

$$\underline{S}'_B = \sqrt{3}\,\underline{U}'_B\,\underline{I}'^{*}_B = \sqrt{3}\,(101.09 + j16.87)\,193.2 \angle 14.05° * 10^{-3}$$

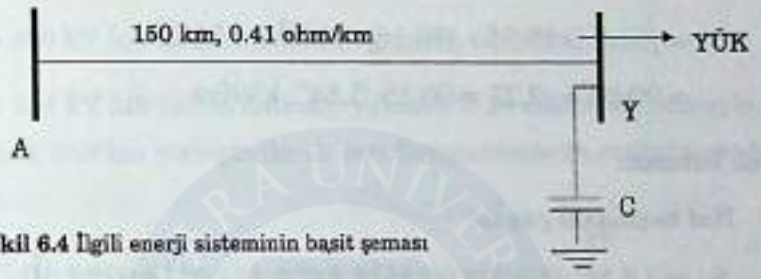
$$= 34.29 \angle 23.52° = 31.44 + j13.68 \text{ MVA}$$

olmalıdır. BC hattının kilometrik empedansı daha büyük olduğu için, AC ve BC hatlarındaki gerilim düşümlerinin eşdeğer olabilmesi, B barasının A barasına göre daha küçük bir güç verecek olmasına bağlıdır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.4

Şekil 6.4 deki enerji sisteminde, hat sonundan 154 kV gerilim altında 40 + j16 MVA çekilmektedir. Hattın sonunda toplandığı kabul edilen hat kapasitesi yaklaşık 1.5 μF/faz olduğuna göre, hat başındaki akımı ve gücü bulunuz.



Şekil 6.4 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

Hattın reaktansı

$$X_h = x'_h * l = 0.41 * 150 = 61.5 \text{ ohm}$$

hattın admitansı (süseptansı)

$$B_h = 2\pi fC = 2\pi\, 50\, (1.5 * 10^{-6}) = 4.7 * 10^{-4} \text{ S}$$

olup yükün çektiği akım

$$\underline{I}^*_y = \frac{\underline{S}}{\sqrt{3}\,\underline{U}_y} = \frac{(40 + j16)\,10^3}{\sqrt{3}\,154} = 161.5 \angle 21.8°$$

$$\underline{I}_y = 161.5 \angle -21.8° = 149.95 - j59.98 \text{ A}$$

Hat sonunda toplandığı kabul edilen kaçak kapasiteden geçecek akım

$$\underline{I}_C = jB_h \underline{V} = j4.7 * 10^{-4} (154/\sqrt{3}) * 10^3 = j41.79 \text{ A}$$

ve hat üzerinden geçecek olan akım da

$$\underline{I} = (149.95 - J59.95) + j41.79$$

$$= 149.95 - j18.16 = 151.05 \angle -6.92° \text{ A}$$

bulunur. Hat sonunda toplandığı kabul edilen kapasite, şönt kompanzasyon gibi davranmış ve böylece hat akımının reaktif kısmı (dolayısıyla genliği) azalma göstermiştir.

Hat başındaki gerilim

$$\underline{V}_A = j X_h \underline{I} + \underline{V}_y$$

$$= j61.5\ (149.95 - j18.16) * 10^{-3} + 154/\sqrt{3}$$

$$= 90.08 + j9.22 = 90.55\ \angle 5.84^\circ \text{ kV/faz}$$

olarak bulunur.

Hat başındaki güç ise

$$\underline{S}_A = 3 * \underline{V}_A \underline{I}^* = 3 * 90.55 \angle 5.84^\circ * 151.05 \angle 6.92^\circ * 10^{-3}$$

$$= 41.03\ \angle 12.76^\circ \text{ MVA}$$

$$= 40.02 + j9.06 \text{ MVA}$$

elde edilir.

Hat üzerinde omik bileşen direnç olmadığı için, aktif kayıp güç de oluşmayacaktır. 0.02 MW (ondalık) yuvarlatma hatalarından kaynaklanmaktadır. Hattın reaktansında oluşan reaktif kayıp güç

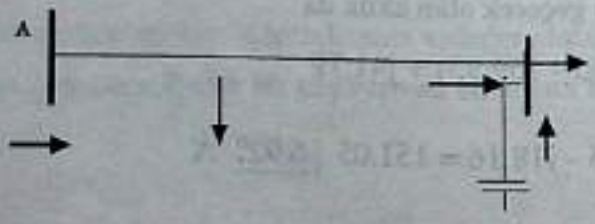
$$3 * 61.5\ (151.05)^2 * 10^{-6} = 4.21 \text{ MVA r}$$

ve hat sonundaki kapasiteye karşılık düşen reaktif güç ise

$$\underline{S}_C = \sqrt{3}\ \underline{U}_y \underline{I}^*_C = -j\sqrt{3}\ U_y I_c$$

$$= -j\sqrt{3} * 154 * 41.79 * 10^{-3} = -j11.14 \text{ MVAr}$$

olmaktadır. Hat başından verilen 9.06 MVAr reaktif gücün 4.21 MVAr lık bölümü kayıp olarak harcanmakta; kalan 4.85 MVAr ile kapasitenin reaktif gücü 11.14 MVAr toplanıp 15.99 ≡ 16 MVAr yüke verilmektedir.



MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.5

Şekil 6.5 deki enerji sisteminde, B barasına sonsuz güçlü şebeke bağlı olup 154 kV luk bu baradan 0.8 güç katsayısı altında 400 MVA çekilmektedir. Transformatörlerin anma değerleri: 154/380 kV, 400 MVA 0.12 dir. Hatlar 280 km uzunluğunda ve x' = 0.38 ohm/km değerindedir.

a) 380 kV luk iletim hattından geçecek akımı bulunuz.

b) 154 kV luk iletim hattının yükünü % 10 azaltmak amacıyla, 380 kV luk hat üzerine yerleştirilecek seri kompanzatörün reaktansını hesaplayınız.



Şekil 6.5 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

a) U_n = 380 kV alınacak olursa

$$x_T = 0.12 \frac{380^2}{400} = 43.32 \text{ ohm}$$

ve 154 kV luk hattın 380 kV'a indirgenmesiyle

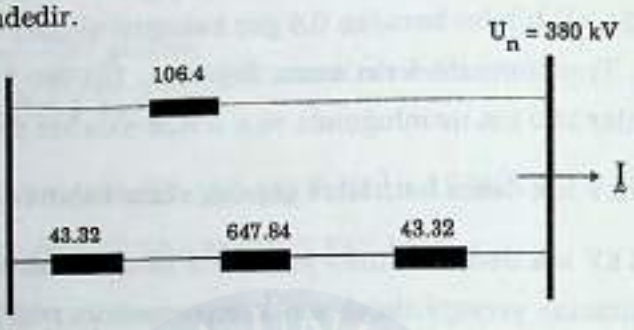
$$X_h = (280 * 0.38)\,(380/154)^2 = 647.84 \text{ ohm}$$

bulunur. B barasından Un gerilimi altında çekilecek akım

$$\underline{I}^* = \frac{\underline{S}}{\sqrt{3}\,\underline{U}} = \frac{400\,\angle 36.87° * 10^3}{\sqrt{3} * 380\,\angle 0°} = 607.75\,\angle 36.87° \text{ A}$$

$$\underline{I} = 607.75\,\angle -36.87° \text{ A}$$

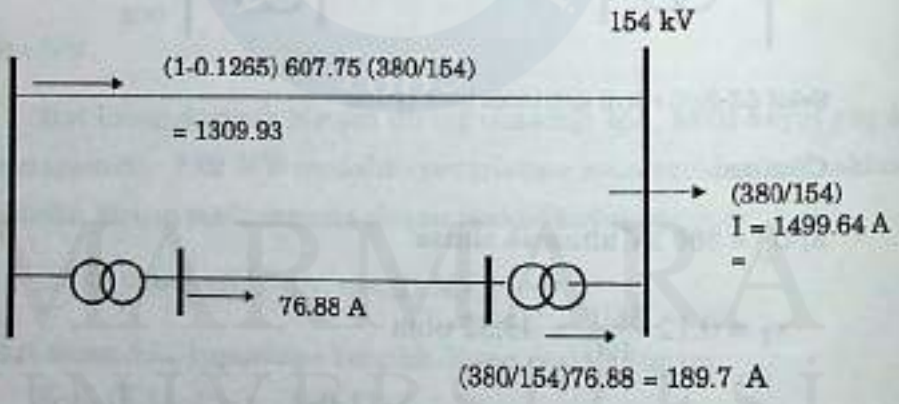
hesaplanacak olursa, bu akım, farklı gerilime sahip iki iletim hattı arasında paylaştırılacaktır. 154 kV luk hattın reaktansı 280 * 0.38 = 106.4 ohm değerindedir.



Transformatörlerin bulunduğu (380 kV luk) hattan geçecek olan akım bileşeni

$$\frac{106.4}{106.4 + 734.48}\,\underline{I} = 0.1265\,\underline{I} = 76.88\,\underline{|-36.87^\circ}\ \text{A}$$

bulunur.



b) Bu durumda, reaktansı 734.48 ohm olan ikinci iletim hattı üzerine yerleştirilecek seri kompanzatör o değerde seçilmelidir ki; birinci hattın yükü ilk değerinin 0.9 katına insin. U_n = 380 kV olması durumunda birinci hattın yükü

$$(1 - 0.1265)\,\underline{I} = 530.87\,\underline{|-36.87^\circ}\ \text{A}$$

değerinde iken, 0.9 katına, 477.78 A'e düşebilmesi için

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$477.78 = \frac{j734.48 - jX_c}{j840.88 - jX_c} 607.75$$

eşitliğinden; X_c = 343.34 ohm elde edilir.

Problem 6.6

Empedansı 0.12 + j0.4 ohm/km olan 200 km lik bir iletim hattının başındaki ve sonundaki gerilimlerin genlikleri 154 kV da sabit tutulurken hattan geçen akım 260 A ölçülüyor.

a) Hattın başındaki ve sonundaki aktif ve reaktif güçleri bulunuz.

b) Hat başındaki reaktif gücün sıfır yapılabilmesi için, hat başına yerleştirilecek şönt kompanzatörün gücü ne olmalı.

Çözüm:

a) Önce hat empedansı

$$\underline{Z} = \underline{Z}' * l = (0.12 + j0.4)\ 200 = 24 + j80 \text{ ohm}$$

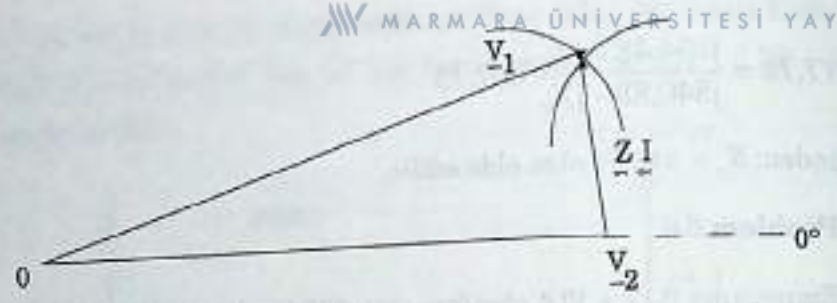
hesaplanır. Aksi belirtilmediğine göre, hat sonu gerilimi faz başlangıcı alınabilir ve admitans ihmal edilebilir. Hatbaşı gerilimi U_1, hat sonu gerilimi ise U_2 olsun. Şönt elemanlar ihmal edildiği için de $\underline{I}_1 = \underline{I}_2 = \underline{I}$ yazılabilir. Genel gerilim denklemi

$$\underline{V}_1 = \underline{Z}\,\underline{I} + \underline{V}_2 \qquad ; \quad V_1 = V_2$$

yazılabilir. Burada hat başı gerilimin faz açısı ve yükün güç faktörü belirli olmadığı için, analitik çözüme gidilemez. Grafik çözüme gidildiğinde $V_1 = V_2 = 154/\sqrt{3} = 88.91$ kV/faz ; 10 kV 1 cm ölçeği ile fazör diyagramı çizilebilir. Diğer taraftan $\underline{Z}\,\underline{I}$ (modül) gerilim düşümü: $\sqrt{24^2 + 80^2}\ (260) * 10^{-3} = 21.72$ kV/faz olacaktır.

O noktasından itibaren O° referansta $\underline{V}_2$ çizilir. $\underline{V}_2$ nin ucundan $\underline{Z}\,\underline{I}$ yayı ile O noktasından $|\underline{V}_1|$ yayının kesişme noktası, $\underline{V}_1$ fazörünü belirleyecektir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



$\underline{Z}\,\underline{I}$ gerilim düşümünün açısı 98°, $\underline{V}_1$ fazörünün açısı 14° ölçülür. Böylece $\underline{Z}\,\underline{I} = 21.72\angle 98°$ olacaktır. $\underline{I}$ akımı ise

$$\underline{I} = \frac{21.72\angle 98° * 10^3}{24 + j80} = 260\angle 24.7° \text{ A}$$

bulunur. Bu akımın "kapasitif" olduğu gözlenmektedir; aksi halde $V_1 = V_2$ eşitliği sağlanamazdı.

Hatbaşından verilecek kompleks güç

$$\underline{S}_1 = \sqrt{3}\,\underline{U}_1\,\underline{I}^* = \sqrt{3}\,154\angle 14° * 260\angle -24.7° * 10^{-3}$$

$$= 69.35\angle -10.7° = 68.14 - j12.88 \text{ MVA}$$

Hat sonundan çekilecek kompleks güç ise

$$\underline{S}_2 = \sqrt{3}\,\underline{U}_2\,\underline{I}^* = \sqrt{3}\,154\angle 0° * 260\angle -24.7° * 10^{-3}$$

$$= 69.35\angle -24.7° = 63.0 - j28.98 \text{ MVA}$$

olarak hesaplanır.

NOT: Yukarıdaki çözümde, hatbaşı geriliminin "faz olarak" ileri olduğu kabulü geçerlidir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Hat üzerindeki aktif kayıplar

$3\ (0.12 * 200)\ (260)^2 * 10^{-6} = 4.86$ MW

ve reaktif kayıplar ise

$3\ (0.4 * 200)\ (260)^2 * 10^{-6} = 16.22$ MVAr

olacaktır.

b) Hat başı gücü 68.14 - j12.88 MVA dır. Reaktif gücün sıfır yapılabilmesi için, şönt bir reaktörün bağlanması gerekir. Reaktörün gücünün 12.88 MVAr (veya 13 MVAr) seçilmesi halinde, hatbaşı gücü

$68.14 - j12.88 + j12.88 = 68.14 + j\ 0$ MVA (MW)

değerini alacaktır.

Ancak bu durumda, yüklenme omik olacağından, $V_1 = V_2$ eşitliği artık gerçeklenemez.

Problem 6.7

300 km uzunluğundaki 380 kV luk bir iletim hattının reaktansı 0.36 ohm/km ve kaçak kapasitesine karşılık düşen güç 0.5 MVAr/km dir. Hat sonundan 380 kV altında 250 + j100 MVA çekilmektedir.

Hattın toplam kaçak kapasitenin hat başında toplandığını kabul ederek, hat başı gerilimini ve hat başındaki aktif-reaktif güçleri bulunuz.

Çözüm:

Hat reaktansı

$X = x' * l = 0.36 * 300 = 108$ ohm

olup hat kapasitesine karşılık düşen güç

$0.5 * 300 = 150$ MVAr

şeklindedir. Bu güç ile hat süseptansı (B) arasında $3BV^2$ ilişkisi vardır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

O halde

$$B = \frac{150}{3 * (380 / \sqrt{3})^2} = 1033 * 10^{-6} \ S$$

olacaktır.

$$\underline{I}^*_y = \frac{\underline{S}}{\sqrt{3}\ \underline{U}} = \frac{(250 + j100)\ 10^3}{\sqrt{3} * 380} = 409.11 \angle 21.8° \ A$$

$$\underline{I}_y = 409.11 \angle -21.8° \ A$$

Hat başı gerilimi

$$j X \underline{I}_y + \underline{V}_y = j108 * 409.11 \angle -21.8° * 10^{-3} + 380 / \sqrt{3}$$

$$= 236.4 + j41.02 = 239.93 \angle 9.84° \ kV/faz$$

elde edilir.

Hattın başında verilen güç

$$3 \underline{V}_1 + \underline{I}^*_y = 3 * 239.93 \angle 9.84° * 409.11 \angle 21.8° * 10^{-3}$$

$$= 294.47 \angle 31.64° = 250.7 + j154.47 \quad MVA$$

değerindedir.

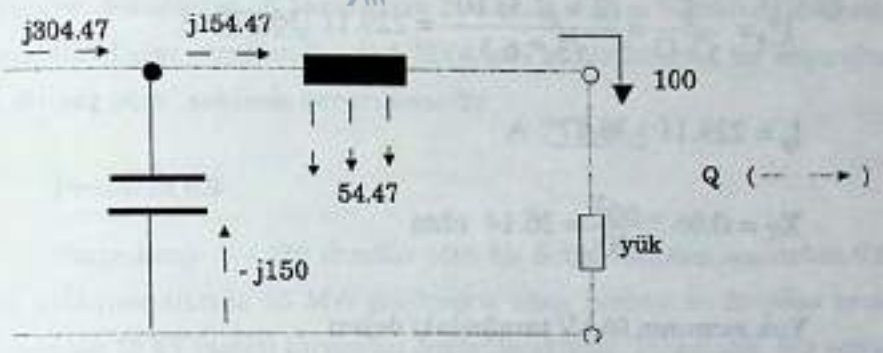
Hat üzerinde omik direnç olmadığı için, aktif güç kayıpları sıfırdır. (0.7 MW lık değer, yuvarlama hatalarından kaynaklanmaktadır.) Reaktif güç kayıpları ise

$$3 * 108 * (409.11)^2 * 10^{-6} = 54.23 \ MVAr$$

bulunur.

Hata kapasitesinden dolayı ortaya çıkan ve hattın başında toplandığı kabul edilen 150 MVAr lık gücün dikkate alınmasıyla, hat kapasitenin sol tarafındaki reaktif gücün 154.47 + 150 = 304.47 MVAr olduğu ortaya çıkmaktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

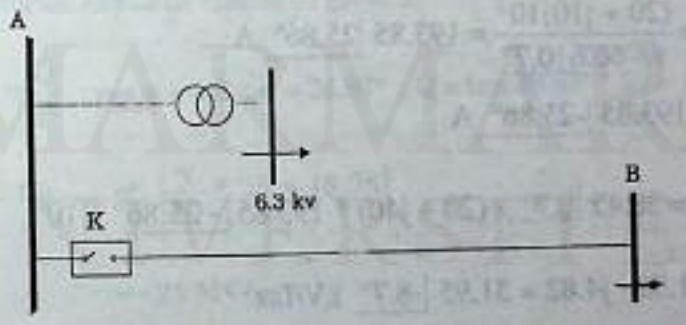


Problem 6.8

Şekil 6.6 daki enerji sisteminde transformatörün anma değerleri: 66/6.3 kV, 10 MVA, 0.06, boşta çalışma akımı % 5 şeklindedir. Bu transformatörün sekonder tarafından 2 + j1.5 MVA çekilmektedir.

a) A barasındaki gerilimi bulunuz.

b) A barasındaki gerilim aynı kalmak koşuluyla, K kesicisi kapatılıp B barasından 20 + j10 MVA çekilmektedir. Hat uzunluğu 100 km ve empedansı 0.2 + j0.4 ohm/km dir. B barasındaki akımın ve gerilimin değerini hesaplayınız.



Şekil 6.6 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

a) A barasındaki gerilim, transformatörün kaçaklar reaktansı üzerindeki gerilim düşümü kadar daha fazla olacaktır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\underline{I}^*_y = \frac{\underline{S}}{\sqrt{3}\,\underline{U}} = \frac{(2 + j1.5)\,10^3}{\sqrt{3} * 6.3} = 229.11 \angle 36.87^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I}_y = 229.11 \angle -36.87^\circ \text{ A}$$

$$X_T = 0.06 * \frac{66^2}{10} = 26.14 \text{ ohm}$$

Yük akımının 66 kV tarafındaki değeri

(6.3/66) 229.11 = 21.87 A olacağından, A barasının gerilimi

$$\underline{V}_A = j26.14 * 21.87 \angle -36.87^\circ * 10^{-3} + 66/\sqrt{3}$$

$$= 38.45 + j0.46 = 38.45 \angle 0.7^\circ \text{ kV/faz}$$

veya fazarası gerilim olarak $\sqrt{3} * 38.45 = 66.6$ kV değeri bulunur.

b) B barasının gerilimi şu şekilde yazılabilir:

$$\underline{V}_B = \underline{V}_A - \underline{Z}_{AB} * \underline{I}$$

$$\underline{Z}_{AB} = \underline{Z}'_{AB} * l = (0.2 + j\,0.4)\,100 = 20 + j40 \text{ ohm}$$

$$\underline{I}^* = \frac{(20 + j10)10^3}{\sqrt{3}\;66.6 \angle 0.7^\circ} = 193.85 \angle 25.86^\circ \text{ A}$$

$$\underline{I} = 193.85 \angle -25.86^\circ \text{ A}$$

$$\underline{V}_B = 38.45 \angle 0.7^\circ - (20 + j40) * 193.85 \angle -25.86^\circ * 10^{-3}$$

$$= 31.58 - j4.82 = 31.95 \angle -8.7^\circ \text{ kV/faz}$$

$$\underline{U}_B = \sqrt{3}\,\underline{V}_B = 55.33 \angle -8.7^\circ \text{ kV}$$

bulunur.

NOT: Burada transformatörün kaçaklar reaktansı 66 kV tarafında dikkate alınmıştır. % 5 değerindeki boşta çalışma akımı, bir admitans (şönt eleman) olarak, gene yüksek gerilim tarafında toplanmış gibi düşü-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

nülebilir. Bu eleman, A barasından çekilecek akımın hesabında dikkate alınabilir. Diğer taraftan 2 + j1.5 MVA gibi küçük bir güç, bir santralın "iç ihtiyaç gücü" şeklinde yorumlanabilir.

Problem 6.9

Empedansı 5 + j20 ohm/faz olan bir iletim hattının sonundan 0.8 güç katsayısı altında 25 MW çekilmekte olup, hatbaşı ve hatsonu gerilimlerinin 33 kV (sabit) tutulması öngörülmektedir. Bu amaçla, hat sonuna yerleştirilmesi gereken şönt kompanzatörün gücü hangi değerde seçilmelidir?

Çözüm:

Hatbaşı ve hatsonu gerilimlerinin eşit olması, hat boyunca oluşacak gerilim düşümünün sıfır yapılması ile mümkündür. Bu amaçla kullanılacak şönt kompanzatörün gücü

$$Q_{komp} = -\left(\frac{R}{X} P + Q\right)$$

bağıntısından hesaplanabilir. Çekilen güç endüktif olduğuna göre, kompanzatörün kapasitif olması (-) gerekir.

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad ; \cos \varphi = 0.8 \; ; \varphi = 36.87° \; ; Q = \tan 36.87° * 25 = 18.75 \text{ MVAr}$$

$$Q_{komp} = -\left(\frac{5}{20} * 25 + 18.75\right)$$

$$= -25 \text{ MVAr}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.10

150 km uzunluğundaki bir iletim hattının empedansı 0.16 + j0.4 ohm/km dir. Hat sonu gerilimi $154\angle 0°$ kV, hat başı gerilimi ise $170\angle 10°$ kV dur.

a) Yükün çektiği gücü bulunuz.

b) Bu iletim hattının yukarıdaki gerilim değerleri altında iletebileceği maksimum güç nedir?

Çözüm:

a) $\underline{Z} = (0.16 + j0.4)150 = 24 + j60 = 64.62\angle 68.2°$ ohm

$\underline{U}_1 = 170\angle 10°$ kV ve $\underline{U}_2 = 154\angle 0°$ kV verildiğine göre

$$\underline{V}_1 = \underline{Z}\underline{I} + \underline{V}_2$$

$$\underline{I} = \frac{\underline{V}_1 - \underline{V}_2}{\underline{Z}} = \frac{170/\sqrt{3}\angle 10° - 154/\sqrt{3}\angle 0°}{64.62\angle 68.2°} * 10^3$$

$$= 289.68\angle -2.7° \text{ A}$$

$$\underline{S}_2 = \sqrt{3}\,\underline{U}_2\,\underline{I}^* = \sqrt{3} * 154\angle 0° * 289.68\angle 2.7° * 10^{-3}$$

$$= 77.26\angle 2.7° = 77.17 + j3.64 \text{ MVA}$$

bulunur.

b) İletilebilecek maksimum güç, yük açısının empedans açısına eşit olması halinde ($\delta = \theta$) gerçekleşir:

$$P_{max} = \frac{U_1 U_2}{Z} - \frac{U_2^2}{Z}\cos\theta$$

$U_1 = 170$ kV, $U_2 = 154$ kV, $Z = 64.62$ ohm, $\theta = 68.2°$ olduğuna göre

$P_{max} \cong 269$ MW bulunur.

(Sistemdeki şönt elemanların ihmal edildiği kabulüyle yukarıdaki ifade geçerlidir.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.11

200 km uzunluğundaki bir iletim hattı sonundan 154 kV altında 80 + j60 MVA güç çekilmektedir. Hattın empedansı 0.15 + j0.4 ohm/km ve admitansı 3×10^{-6} S/km dir. Hattın "π" eşdeğer devresini kullanarak hat başı akımı gerilim, güç ve verim değerlerini bulunuz.

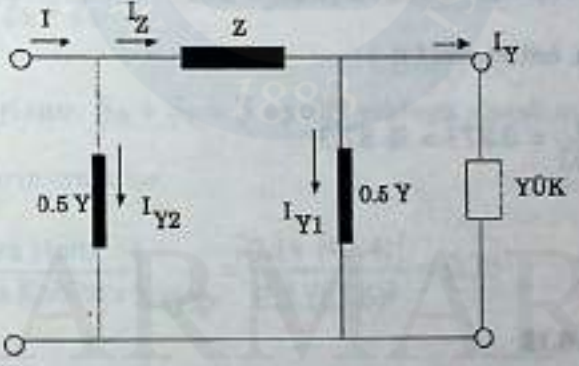
Çözüm:

$$\underline{Z} = (0.15 + j0.4)\,200 = 30 + j80 \text{ ohm}$$

$$\underline{Y} = (jB = j\,(3 * 10^{-6})\,200 = j6 * 10^{-4} \text{ S}$$

$$\underline{I}^*_y = \frac{(80 + j60)10^3}{\sqrt{3} * 154} = 374.9 \angle 36.87° \text{ A}$$

$$\underline{I}_y = 374.9 \angle -36.87° \text{ A}$$



$$\underline{I}_{y1} = j3 * 10^{-4}\,(154/\sqrt{3}) * 10^3 = j26.67 \text{ A}$$

$$\underline{I}_z = \underline{I}_{y1} + \underline{I}_y = 299.92 - j198.27 = 359.53 \angle -33.46° \text{ A}$$

Hat başı gerilimi

$$154/\sqrt{3} + \underline{Z}\,\underline{I}_z * 10^{-3} = 113.77 + j18.05 \text{ kV/faz}$$

$$= 115.2 \angle 9.02° \text{ kV/faz}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\underline{I}_{y2} = j3 * 10^{-4} (115.2 \angle 9.02°) * 10^3 = 34.56 \angle 99.02° \text{ A}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_{y1} + \underline{I}_z = 294.5 - j164.14 = 337.15 \angle -29.13° \text{ A}$$

Hat başı gerilimi (faz arası değer olarak)

$\sqrt{3} * 115.2 \angle 9.02° = 199.53 \angle 9.02°$ kV olduğuna göre, hat başından verilen güç

$$\sqrt{3} * 199.53 \angle 9.02° * 337.15 \angle 29.13° * 10^{-3}$$

$$= 116.51 \angle 38.15° = 91.62 + j71.97 \text{ MVA}$$

olacaktır. Hat üzerinde ortaya çıkan aktif kayıplar

$$3RI^2_z = 3 * 30 (359.53)^2 * 10^{-6}$$

$$= 11.63 \text{ MW}$$

bulunduğundan, hat verimi (η)

$$\eta = \frac{80}{91.62} = 0.873 = \% 87.3$$

olacaktır.

Problem 6.12

154 kV luk bir şebekenin alıcı uçlarından 0.8 güç katsayısı altında 100 MW çekilmektedir. Söz konusu şebeke, paralel olarak, empedansı 0.14 + j0.4 ohm/km olan bir hava hattı ile empedansı 0.3 + j0.1 ohm/km olan bir yeraltı kablosu tarafından beslenmektedir. Toplam iletim uzunluğu 100 km dir. Hava hattı ve yeraltı kablosu üzerinden iletilen güçleri ve kayıpların oranını hesaplayınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$$\cos\varphi = \frac{P}{S} \; ; \; 0.8 = \frac{100}{S} \; ; \; S = 125 \text{ MVA}$$

$$\underline{S} = S(\cos\varphi + j\sin\varphi) = 125\,(0.8 + j0.6) = 100 + j75 \text{ MVA}$$

$$\underline{Z}_h = (0.14 + j0.4)\,100 = 14 + j40 = 42.38\angle 70.71^\circ \text{ ohm}$$

$$\underline{Z}_h = (0.3 + j0.1)\,100 = 30 + j10 = 31.62\angle 18.43^\circ \text{ ohm}$$

Güç, akımla orantılı olduğuna göre, hava hattından iletilen güç

$$\underline{S}_h = \frac{\underline{Z}_k}{\underline{Z}_h + \underline{Z}_k}\,\underline{S} = 47.08 + j5.49 = 47.4\angle 6.65^\circ \text{ MVA}$$

ve yeraltı kablosundan iletilen güç ise

$$\underline{S}_k = \frac{\underline{Z}_h}{\underline{Z}_h + \underline{Z}_k}\,\underline{S} = 32.82 + j54.47 = 63.6\angle 58.93^\circ \text{ MVA}$$

şeklinde hesaplanır. $\underline{S}_h + \underline{S}_k = \underline{S}$ eşitliği yaklaşık olarak sağlanır.

Kayıpların oranı ise

$$\left(\frac{\text{Hava Hattı}}{\text{Yeraltı Kablosu}}\right)_{\text{kayıp}} = \frac{0.14\,(47.4)^2}{0.3\,(63.6)^2} = 0.26$$

olarak hesaplanır.

Problem 6.13

160 km uzunluğundaki 154 kV luk bir iletim hattının reaktansı 0.4 ohm/km dir. Hat sonu gerilimi anma değerinde, hat başı gerilimi 1.15 katında tutuluyor.

a) Bu hattın iletebileceği maksimum güç nedir?

b) Güç açısı 45° yapılırsa bu güç ne oranda değişir?

c) Hattın alıcı uçları yakınında 14 ohm değerinde seri kompanzatör yerleştirilecek olsa, maksimum güç hangi değeri alır?

Çözüm:

a) $X = x' * l = 0.4 * 160 = 64$ ohm

Hat sonu gerilimi $U_2 = 154$ kV

Hat başı gerilimi $U_1 = 1.15 * 154 = 177.1$ kV

İki nokta arasında iletilebilecek güç

$$P = \frac{P_1 U_2}{X} \sin \delta \ ;$$

ifadesinde, $\delta = 90°$ halinde güç maksimum olur.

$$P_{max} = \frac{154 * 177.1}{64} = 426 \text{ MW}$$

b) $\delta = 45°$ olması halinde

$$P' = \frac{154 * 177.1}{64} = \sin 45° = 301 \text{ MW}$$

Güç % 30 azalır.

c) Seri kompanzasyon halinde, hat reaktansı

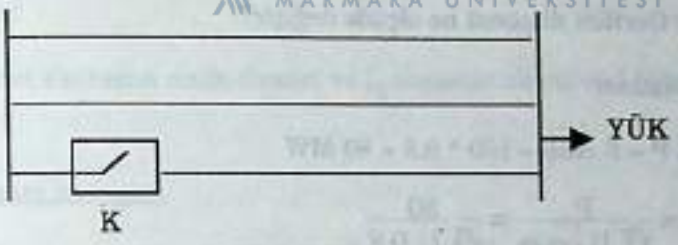
j64 - j14 = j50 ohm olur.

$$P''_{max} = \frac{154 * 177.1}{50} \sin 90° = 545.5 \text{ MW}$$

Problem 6.14

Şekil 6.7 deki sistemde K kesicisi açıkken sistemde oluşan kayıplar 20 MW dır. Hat sonundaki güç, gerilim ve güç katsayısı aynı kalmak koşuluyla, K kesicisi kapandığında kayıplar hangi değeri alır?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 6.7 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

K kesicisi açıkken, her hattan P/2 gücü çekilmektedir. Akım, güçle orantılı olduğundan

$$P_k = RI^2 \Rightarrow P_k = RP^2$$

Hat kayıpları

$$(P/2)^2 + (P/2)^2 = 0.5\ P^2 \qquad (1)$$

olur.

K kesicisi kapalı iken, her hattan P/3 gücü çekilmektedir. Bu durumda hat kayıpları

$$(P/3)^2 + (P/3)^2 + (P/3)^2 = 0.333\ P^2 \qquad (2)$$

olur. (1) ve (2) eşitliklerinden, K kesicisi kapatıldığında kayıplar; 0.333/0.5 = 0.666 katına düşer. Bir başka deyişle kayıplar 20 * 0.666 = 13.33 MW değerini alır.

Problem 6.15

Bir iletim hattının ucundan 100 MVA, cosφ = 0.8 gücü çekilmektedir. Gündüz saatlerinde 50 MVA cosφ = 0.6 olan ikinci bir yükün eklenmesi söz konusudur. Ek yük devreye girdiğinde, hat boyunca

a) Kayıplar ne ölçüde değişir?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

b) Gerilim düşümü ne ölçüde değişir?

Çözüm:

a) $P = S\cos\varphi = 100 * 0.8 = 80$ MW

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}\, U \cos\varphi} = \frac{80}{\sqrt{3}\, U\, 0.8}$$

$$P_k = 3\, R\, I^2 = 3R.\ \frac{6400}{3U^2\, 0.64} \qquad (1)$$

$$S' = 100\ \underline{|36.87^\circ} + 50\ \underline{|53.15^\circ} = 110 + j100 \text{ MVA}$$

$$\varphi' = 42.27^\circ\ ;\ \cos\varphi' = 0.74$$

$$I' = \frac{110}{\sqrt{3}\, U\, 0.74}$$

$$P'_k = 3R\,(I')^2 = 3R\ .\ \frac{12100}{3U^2\, 0.5476} \qquad (2)$$

$P'_k/P_k = 2.2$ değerini alır.

b) $\underline{Z}\,\underline{I} = \underline{Z}\ .\ \frac{80}{\sqrt{3}\, U\, 0.8}\ \underline{|-36.87^\circ}$

$$\underline{Z}\,\underline{I}' = \underline{Z}\ .\ \frac{110}{\sqrt{3}\, U\, 0.74}\ \underline{|-42.27^\circ}$$

$|ZI'| / |ZI| = 1.48$ değerini alır.

Problem 6.16

Bir iletim hattında 2-li, 3-lü ve 4-lü demet iletkenlerin kullanılması söz konusudur. Çekilecek güç, güç katsayısı ve uç gerilimi daima sabit tutulacaktır. Her durum için, hat kayıpları ve gerilim düşümleri hangi değerleri alır?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

R_d demet iletkenin omik direnci ve I_d demetin akımı ve I faz akımı olmak üzere

2-li demet hali için:

$I_d = I/2$; $\quad P_k = 3\,(2Rd)\,(I/2)^2 = 1.5\,Rd\,I^2$

$\Delta V = Z_d\,(I/2)$

3-lü demet hali için:

$I_d = I/3$; $\quad Pk = 3\,(3Rd)\,(I/3)^2 = R_d\,I^2$

$\Delta V = Z_d\,(I/3)$

4-lü demet hali için:

$I_d = I/4$; $\quad Pk = 3\,(4Rd)\,(I/4)^2 = 0.75\,Rd\,I^2$

$\Delta V = Z_d\,(I/4)$

Toplu olarak aşağıda listelenmiştir:

Demet sayısı	P_k	ΔV
2	100	100
3	66	66
4	50	50

Problem 6.17

154 kv luk bir iletim hattının sonundan dengesiz olarak çekilen 96 +j15 MVA lık gücün fazlara dağılımı şu şekildedir: R fazı 28 + j5 MVA, S fazı 36 + j6 MVA ve T fazı 32 + j4 MVA. Hat direnci 12 ohm/faz dır. Faz akımlarını, hat başı aktif gücü ve toplam dalgalanan gücü hesaplayınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Yüklenme dengesiz olduğundan, dengeli işletmede olduğu gibi bir faz üzerinde yapılacak hesaplama yeterli olmaz. Her fazın akımı ayrı ayrı hesap edilmelidir. Hat sonu gerilimi dengeli kabul edilirse

$$V = U / \sqrt{3} = 154/\sqrt{3} = 88.91 \text{ kV/faz}$$

$$\left.\begin{aligned} \underline{V}_R &= 88.91 \angle 0^\circ \\ \underline{V}_S &= 88.91 \angle -120^\circ \\ \underline{V}_T &= 88.91 \angle 120^\circ \end{aligned}\right\} \text{kV / faz}$$

$$\underline{I}_R = (\underline{S}_R/\underline{V}_R)^* \; ; \; \underline{I}_S = (\underline{S}_S/\underline{V}_S)^* \; ; \; \underline{I}_T = (\underline{S}_T/\underline{V}_T)^*$$

bağıntıları yardımıyla

$$\underline{I}_R = 319.87 \angle -10^\circ \text{ A} \; ; \; \underline{I}_S = 410.52 \angle -129.5^\circ \text{ A} \; ;$$

$$\underline{I}_T = 362.72 \angle 112.88^\circ \text{ A} \qquad \text{bulunur.}$$

Bu durumda hat üzerindeki aktif kayıplar:

$$\left.\begin{aligned} &\text{R fazında: } 12\,(319.87)^2 * 10^{-6} = 1.227 \text{ MW} \\ &\text{S fazında: } 12\,(410.52)^2 * 10^{-6} = 2.022 \text{ MW} \\ &\text{T fazında: } 12\,(362.72)^2 * 10^{-6} = 1.578 \text{ MW} \end{aligned}\right\}$$

ve hat başı aktif güçler:

$$\left.\begin{aligned} &\text{R fazında: } 28 + 1.227 = 29.227 \text{ MW} \\ &\text{S fazında: } 36 + 2.022 = 38.022 \text{ MW} \\ &\text{T fazında: } 32 + 1.578 = 33.578 \text{ MW} \end{aligned}\right\}$$

bulunur.

Dalgalanan güç, tanım olarak

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\hat{S} = \underline{V} \underline{I}^*$$

şeklindedir. Her faz için bu ifade yardımıyla

$$\left.\begin{aligned} \hat{S}_R &= \underline{V}_R \underline{I}_R^* = 28440 \angle -10^\circ = 28008 - j4938 \\ \hat{S}_S &= \underline{V}_S \underline{I}_S^* = 36500 \angle -249.5^\circ = -12782 + j34188 \\ \hat{S}_T &= \underline{V}_T \underline{I}_T^* = 32250 \angle 232.88^\circ = -19462 - j25715 \end{aligned}\right\}$$

hesaplanır. Toplam dalgalanan güç ise

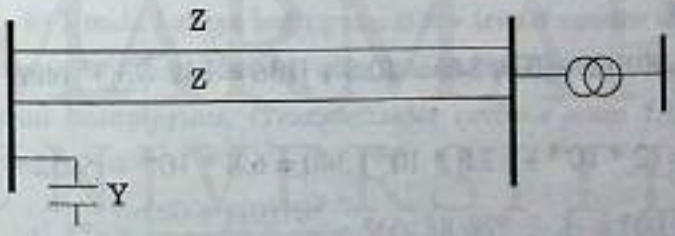
$$\hat{S} = \hat{S}_R + \hat{S}_S + \hat{S}_T = -4236 + j13411$$

olacaktır.

Eğer yüklenme dengeli olsaydı, toplam dalgalanan güç sıfır değerini olacaktı.

Problem 6.18

Şekil 6.8 deki enerji sistemine ilişkin ABCD devre sabitlerini bulunuz.



Şekil 6.8 İlgili enerji sisteminin basit şeması

($\underline{Z} = 80 \angle 75^\circ$ ohm, $\underline{Y} = 3 * 10^{-4} \angle 90^\circ$ S ve

$X_T = j0.2$ ohm dur.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

$\underline{Z}/2 = 40 \angle 75°$ ohm olup kaskat matris çarpımından

$$\begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \underline{Y} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \underline{Z}/2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \underline{Z}_T \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} 1 & 40.2 \angle 75.08° \text{ ohm} \\ 3 * 10^{-4} \angle 90° \text{ S} & 0.9884 \angle 0.18° \end{bmatrix}$$

şeklinde hesaplanır.

Problem 6.19

340 km uzunluğundaki bir iletim hattının sabitleri r' = 0.12 ohm/km, x' = 0.4 ohm/km, g' = $2 * 10^{-8}$ S/km ve b' = $2.8 * 10^{-6}$ S/km dir.

Karakteristik empedansı hesaplayınız.

Çözüm:

$\underline{Z} = R + jX = (0.12 + j0.4)\ 340 = 40.8 + j136 = 142 \angle 73.3°$ ohm

$\underline{Y} = G + jB = (2 * 10^{-8} + j\ 2.8 * 10^{-6})\ 340 = 6.8 * 10^{-6} + j9.52 * 10^{-4}$

$= 9.52 * 10^{-4} \angle 89.6°$ S

hesaplanıp, karakteristik empedans ($\underline{Z}_c$) ifadesinde yerlerine konursa

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\underline{Z}/\underline{Y}} = \sqrt{142 \angle 73.3° / 9.52 * 10^{-4} \angle 89.6°}$$

$$= \sqrt{149160 \angle -16.3°}$$

$$= 386.2 \angle -8.15° \text{ ohm}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.20

Problem 6.19 daki sistemde, 220 kV uç gerilimi altında hattın doğal gücünü hesaplayınız.

Çözüm:

$$P_C = \frac{3V^2}{Z_c}$$

$$V = 220/\sqrt{3} = 127 \text{ kV/faz}$$

$$P_C = \frac{3(127)^2}{386.2} = 125.3 \text{ MW}$$

hesaplanır.

Problem 6.21

1 ve 2 gibi iki bara reaktansı 50 ohm olan bir iletim hattı ile birbirine bağlanmıştır. 2 no.lu baranın gerilimi 66 kV ve çekilen güç 50 + j40 MVA dır.

a) Bu koşulun sağlanması için, 1 no.lu baranın gerilimini hesaplayınız.

b) 1 no.lu baraya bağlı generatör + transformatör bloğunun toplam reaktansı 1.5 ohm olduğuna göre, generatörün sürekli işlemedeki E emk değerini hesaplayınız. (Transformatör çevirme oranı 1/10 olarak bilinmektedir.)

a) $\underline{I}^*_2 = \frac{(50 + j40)10^3}{\sqrt{3}\ 66} = 560 \angle 38.66°$; $\underline{I}_2 = 560 \angle -38.66°$ A

$$\underline{V}_1 = \underline{V}_2 + j X \underline{I}_2 = 59.74 \angle 21.45° \text{ kV/faz}$$

$$U_1 = \sqrt{3} * 59.74 = 103.47 \text{ kV}$$

b) $\underline{E} = J (x_d + x_T) \underline{I}'_1 + \underline{V}'_1$; $I' = 10\, I$; $V'_1 = 0.1\ V_1$

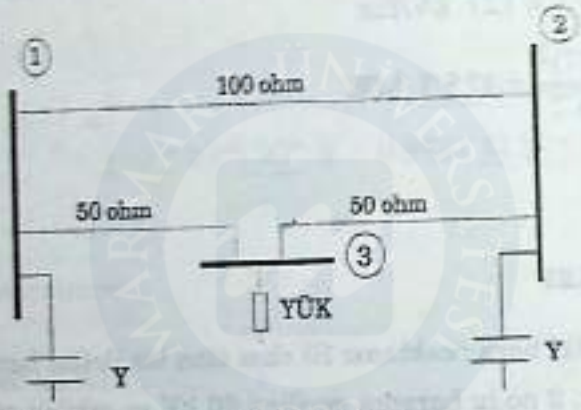
$= j1.5 * 5600\angle -38.66° + 5.974\angle 21.45°$

$= 10.81 + j8.746 = 13.9\angle 38.95°$ kV/faz

bulunur.

Problem 6.22

Şekil 6.9 daki enerji sistemine ilişkin "düğüm admitans matrisi"ni elde ediniz.



Şekil 6.9 İlgili enerji sisteminin basit şeması

(Y = j 3 * 10^{-4} S ve yük: 154 kV, 100 MVA, cosφ = 0.8 şeklinde verilmiştir.)

Çözüm:

Yüke ilişkin empedans şu şekilde bulunabilir:

$$S_y/3 = Z_y I_y^2 \;;\; I_y = \frac{S_y}{3\,V} \;;\; Z_y = (S_y/3)/I_y^2$$

$$I_y = \frac{100 * 10^3}{3\,(154/\sqrt{3})} = 375 \text{ A}$$

$$S_y = S_y(\cos\varphi + j\sin\varphi) = 100\,(0.8 + j0.6) = 80 + j60 = 100\angle 36.87° \text{ MVA}$$

$$Z_y = \frac{33.33\angle 36.87° * 10^6}{(375)^2} = 237\angle 36.87° \text{ ohm}$$

Şimdi de verilen empedans değerleri admitans şekline dönüştürülürse

$X = j\,100$ ohm $\rightarrow$ $1/jX = -j0.01$ S

$X = j\,50$ ohm $\rightarrow$ $1/jX = -j0.02$ S

$$Z_y = 237\angle 36.87^\circ \text{ ohm} \rightarrow 1/Z_y = 0.0042\angle -36.87^\circ \text{ S}$$

elde edilir. Artık üç düğüm için Düğüm Admitans matrisi yazılabilir:

$$[Y] = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -j0.0297 & j0.01 & j0.02 \\ j0.01 & -j0.0297 & j0.02 \\ j0.02 & j0.02 & 0.0033-j0.0425 \end{bmatrix}$$

Problem 6.23

Anma değerleri 400 MVA, 20 kV, X_d = % 100 olan yuvarlak kutuplu bir senkron generatör, 30° lık yük açısı altında bir iletim hattını beslemektedir. Uyarma akımı anma değerinin 1.25 katına ayarlanmıştır. Generatörün iletim hattına vereceği aktif, reaktif ve görünen güçleri hesaplayınız.

Çözüm:

Uyarma akımı anma değerinin 1.25 katına ayar edildiği için, makinanın E elektromotor kuvveti 1.25 * 20 = 25 kV olacaktır.

Senkron reaktans

$$X_d = \%\ 100 * \frac{20^2}{400} = 1 \text{ ohm}$$

bulunduktan sonra, aktif ve reaktif güçler şöyle hesaplanır:

$$P = \frac{E * U}{X_d} \sin\delta = \frac{25 * 20}{1} \sin 30° = 250 \text{ MW}$$

$$Q = \frac{E * U}{X_d} \cos\delta - \frac{U^2}{X_d}$$

$$= \frac{25 * 20}{1} \cos 30° - \frac{20^2}{1} = 33 \text{ MVAr}$$

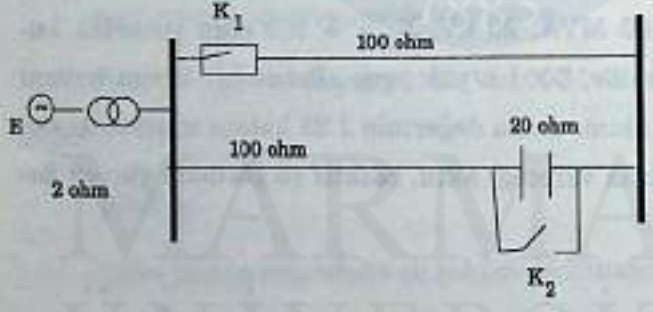
Görünen güç ise

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = 252 \text{ MVA}$$

bulunur.

Problem 6.24

Şekil 6.10 daki enerji sisteminde, kesicilerin konumlarına bağlı olarak iletilen güç değerlerini yük açısına bağlı olarak belirleyiniz. (Geçici olaylar ihmal edilecektir.)



Durum	K_1	K_2
I	0	1
II	1	1
III	1	0
IV	0	0

Şekil 6.10 ilgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

E ve U değerleri sabit tutulduğuna göre, aradaki reaktans X_{12} (geçiş reaktansı) olmak üzere, iletilecek güç değeri

$$P = \frac{E * U}{X_{12}} \sin\delta = \frac{\beta}{X_{12}} \sin\delta$$

olup I. durumda $X_{12} = 2 + 100 = 102$ ohm, II. durumda $X_{12} = 2 + 100 // 100 = 52$ ohm, III. durum da $X_{12} = 2 + 100 // 80 = 44.4$ ohm ve IV. durumda $X_{12} = 2 + 80 = 82$ ohm hesaplanırsa

I. durum için $P = \frac{\beta}{102}$ $\sin\delta = 0.0098\,\beta \sin\delta$

II. durum için $P = \frac{\beta}{52}$ $\sin\delta = 0.0192\,\beta \sin\delta$

III. durum için $P = \frac{\beta}{44.4}$ $\sin\delta = 0.00225\,\beta \sin\delta$

IV. durum için $P = \frac{\beta}{82}$ $\sin\delta = 0.00123\,\beta \sin\delta$

değerleri elde edilir.

Problem 6.25

Hatbaşı gerilimi 145 kV ve hatsonu gerilimi 132 kV olan bir iletim hattının empedansı 25 + j90 ohm/faz olarak bilinmektedir. Hatsonu yüksüz iken, hat sonunda yalnızca senkron bir kompanzatör yer almakta olup, endüvi akımının fazı 90° (geri) dir.

Kompanzatörün akımını hesaplayınız.

Çözüm:

Kompanzatörün akımı $\underline{I}_k = I_k \angle -90°$ şeklinde yazılabilir. Bu durumda genel gerilim denklemi (yüklenme endüktif olduğu için)

$$\underline{V}_1 = \underline{V}_2 + \underline{Z}\underline{I}_k \; ; \quad \underline{V} = U/\sqrt{3}$$

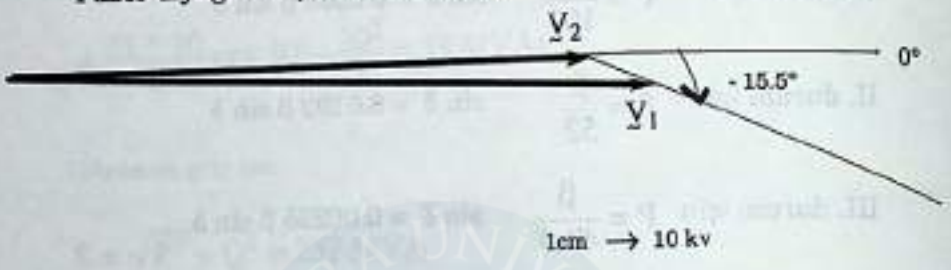
$$\underline{Z} = 25 + j90 = 93.4 \angle 74.47° \text{ ohm}$$

$$\underline{Z}\underline{I}_k = 93.4 I_k \angle -15.53° \text{ (volt)}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$V_1 = 145 / \sqrt{3} = 87.32$ kV/faz ; $\underline{V_2} = 132/\sqrt{3}\,\underline{|0^\circ} = 76.21$ kV/faz

Fazör diyagramı çizilecek olursa,



1cm → 10 kv

Gerilim düşümü = 7.8 kV olarak belirlenir.

$$I_k = \frac{7800}{93.4} = 83.5 \text{ A}$$

Problem 6.26

Bir transformatör eşit gerilimli iki büyük şebeke arasına yerleştirilmiştir. Transformatör 500 MVA gücünde olup reaktansı ise % 15 dir. Transformatörün uç değiştirme miktarı (t : 1)

a) 0.85 : 1

b) 1.1 : 1

olması halinde, reaktif güç değerlerini hesaplayınız.

Çözüm:

Hatbaşı ve hatsonu gerilimleri arasında, t'nin fonksiyonu olarak

$$V_2 = \frac{V_1}{t} - \left(\frac{\frac{RP}{t^2} + \frac{XQ}{t^2}}{V_2} \right)$$

şeklinde ifade edilebilir. $V_1 = V_2$, R = 0 olduğundan

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

a) $1 = \frac{1.0}{0.85} - \left(\frac{\frac{0.15\,\overline{Q}}{0.85^2}}{1.0}\right)$; $\overline{Q} = 0.85$ birim

$Q = 500 * 0.85 = 425$ MVAr

b) $1 = \frac{1.0}{1.1} - \left(\frac{\frac{0.15\,\overline{Q}}{1.1^2}}{1.0}\right)$; $\overline{Q} = -0.733$ birim

$Q = 500\,(-0.733) = -367$ MVAr

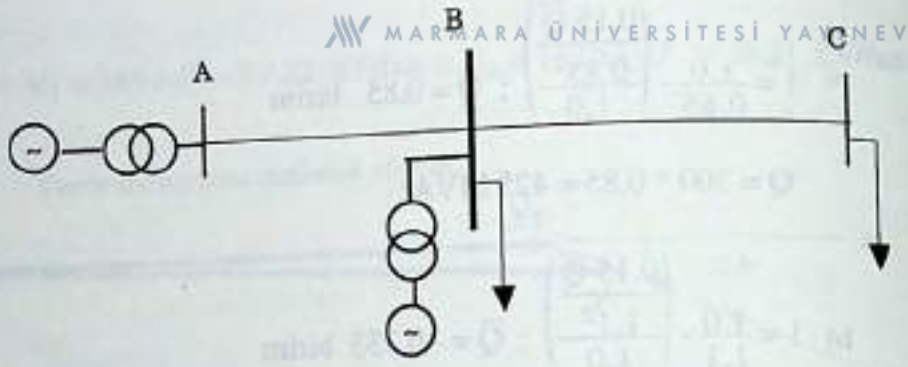
hesaplanır.

NOT: Transformatör reaktansı, transformatörün primer ve sekonder gerilimleri ve gücü cinsinden verildiği için, gerilimler 1.0 birim ve reaktans 0.15 birim olarak yerlerine konulduğunda, reaktif güçler "birim" cinsinden elde edilmiştir. Fiziksel değerler ise, transformatörün anma gücü ile "birim" büyüklüklerin çarpımından hesap edilmiştir. (Daha ayrıntılı bilgi için 7. Bölüme bkz.)

Problem 6.27

Şekil 6.11 deki enerji sisteminde, C barasından 154 kV gerilim altında 150 + j75 MVA değerinde bir güç çekilmektedir. Diğer taraftan B barasının üretim gücü 80 + J20 MVA ve tüketici gücü de 40 + j15 MVA değerindedir. İletim hatlarının empedansları 3 + J30 ohm/faz olduğuna göre; A ve B baralarının gerilimlerini ve A barasının gücünü hesaplayınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 6.11 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

$\underline{S}_c = 150 + j75 = 167.7 \angle 26.56°$ MVA ; $\underline{U}_c = 154 \angle 0°$ kV

$$\underline{I}_c = \left(\frac{\underline{S}_c}{\sqrt{3}\,\underline{U}_c}\right)^* = 628.7 \angle -26.56° \text{ A}$$

$\underline{V}_B = \underline{Z}_h \underline{I}_c + \underline{V}_c$; $\underline{V}_c = 154/\sqrt{3} \angle 0°$ kV/faz

$\underline{Z}_h = 3 + j30 = 30.15 \angle 84.29°$ ohm

değerleri yardımıyla $\underline{V}_B = 100.3 \angle 9.2°$ kV/faz olarak hesaplanır.

B barasına AB iletim hattından gelecek akım ise

$\underline{I}_A = \underline{I}_B + \underline{I}_C - \underline{I}_{g,B}$ olacaktır. $I_{g,B}$ B barasındaki üretim gücüne karşılık düşen akımdır.

$$\underline{I}_{g,B} = \left(\frac{\underline{S}_{g,B}}{\sqrt{3}\,\underline{U}_B}\right)^* = 274 \angle -4.8° \text{ A}$$

$\underline{U}_B = \sqrt{3}\,\underline{V}_B = 173.72 \angle 9.2°$ kV

$\underline{S}_{g,B} = 80 + j20 = 82.46 \angle 14°$ MVA

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

B noktasından çekilen yük akımı

$$\underline{I}_B = \left(\frac{\underline{S}_B}{\sqrt{3}\,\underline{U}_B}\right)^* ; \qquad \underline{S}_B = 40 + j15 = 42.72 \angle 20{,}55^\circ \text{ MVA}$$

$$= 140.48 \angle -11.35^\circ \text{ A}$$

hesaplandığından, A barasına ilişkin akım ve gerilim bulunabilir:

$$\underline{I}_A = \underline{I}_B + \underline{I}_c - \underline{I}_{g,B} = 427.04 - j285.83 = 513.87 \angle -33.8^\circ \text{ A}$$

$$\underline{V}_A = \underline{V}_B + \underline{Z}_h \underline{I}_A$$

$$= 108857 + j27989 = 112398 \angle 14.4^\circ \text{ kV}$$

$$\underline{U}_A = \sqrt{3}\,\underline{V}_A = 194.7 \angle 14.4^\circ \text{ kV}$$

A barasındaki kompleks güç ise

$$\underline{S}_A = \sqrt{3}\,\underline{U}_A \underline{I}_A^* = 173.29 \angle 48.2^\circ \text{ MVA}$$

$$= 115.5 + j129.2 \text{ MVA} .$$

Sistemden çekilen toplam güç

$$\underline{S}_B + \underline{S}_c = 190 + j90 \text{ MVA}$$

ve sistemde üretilen toplam güç

$$\underline{S}_A + \underline{S}_{B,g} = 195.5 + j149.2 \text{ MVA}$$

olduğuna göre, toplam kayıp güç

$$(\underline{S}_A + \underline{S}_{B,g}) - (\underline{S}_B + \underline{S}_c) = 5.5 + j59.2 \text{ MVA}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.28

300 km uzunluğundaki bir iletim hattının empedansı 0.133 + j0.417 ohm/km ve süseptansı $3.33 * 10^{-6}$ S dir. Hat sonundan 220 kV altında 0.8 güç katsayısı ile 50 MW çekilmektedir. Hatbaşı barasına ilişkin gerilim ve akım değerlerini

a) Uzun enerji iletim hattı (hiperpolik fonksiyonlar) eşitliklerini kullanarak,

b) Uzun enerji iletim hattına ilişkin ABCD devre sabitlerinden yararlanarak hesaplayınız.

Çözüm:

$$\underline{Z} = z' * l = 40 + j125 = 131.2 \angle 72.3° \text{ ohm}$$

$$\underline{Y} = jb' * l = 0.001 \angle 90° \text{ S}$$

"1" hatbaşı ve "2" hatsonu indisini göstermek üzere

$$I_2 = \frac{P}{\sqrt{3}\, U_2 \cos\varphi} = \frac{50 * 10^3}{\sqrt{3} * 220 * 0.8} = 164 \text{ A}$$

$$\underline{I_2} = 164 \angle -36.87° \text{ A} \quad ; \quad \underline{V_2} = \underline{U_2}/\sqrt{3} = 127 \angle 0° \text{ kV/faz}$$

a)
$$\left.\begin{aligned} \underline{V_1} &= \cosh \gamma l * \underline{V_2} + \underline{Z_c} * \sinh \gamma l * \underline{I_2} \\ \underline{I_1} &= \frac{1}{\underline{Z_c}} * \sinh \gamma l * \underline{V_2} + * \cosh \gamma l * \underline{I_2} \end{aligned}\right\} \quad (x)$$

şeklinde hiperbolik fonksiyonlar cinsinden, hat başı ve hatsonu büyüklükleri ifade edilebilir. Uzun iletim hatlarında, $\underline{Z}$ ve $\underline{Y}$ hat boyunca dağılmış olacağından, bu eşitlikler yardımıyla duyarlı sonuçlara ulaşılabilir. γ propogasyon sabiti ve l hat uzunluğu olmak üzere

$$\gamma l = \alpha l + j\beta l = \sqrt{\underline{Z}\,\underline{Y}}$$

$$= \sqrt{0.131 \angle 162.3°} = 0.362 \angle 81.15° = 0.055 + j0.3577$$

hesaplanabilir. γ 'nın gerçel kısmı (α) "atenasyon sabiti" ve sanal kısmı (β) "faz sabiti" olarak bilinir.

$$\cosh(\alpha l + j\beta l) = \frac{e^{\alpha l}\angle \beta l + e^{-\alpha l}\angle -\beta l}{2}$$

$\beta l = 0.3577 \text{ rad} \Rightarrow \angle 20.49°$

$e^{0.055}\angle 20.49° = 1.057\angle 20.49° = 0.99 + j0.37$

$e^{-0.055}\angle -20.49° = 0.946\angle -20.49° = 0.886 - j0.331$

$\cosh \gamma l = 0.938 + j0.02 = 0.938\angle 1.2°$

$\sinh(\alpha l + j\beta l) = \frac{e^{\alpha l}\angle \beta l - e^{-\alpha l}\angle -\beta l}{2}$ eşitliğinden

$= 0.052 + j0.35 = 0.354\angle 81.5°$

bulunur. Diğer taraftan karakteristik empedans

$\underline{Z}_c = \sqrt{\underline{Z}/\underline{Y}} = 362.2\angle -8.85°$ ohm

$\underline{Z}_c * \sinh \gamma \ell = 128.2\angle 72.65°$

$\frac{1}{\underline{Z}_c} * \sinh \gamma \ell = 9.77 * 10^{-4}\angle 90.4°$

değerleri (x) eşitliklerinde yerlerine konulursa

$\underline{V}_1 = 137\angle 6°$ kV/faz

$\underline{I}_1 = 129\angle 15°$ A

elde edilir.

b) (x) eşitliklerindeki $\sinh \gamma \ell$ ve $\cosh \gamma \ell$ fonksiyonların seri açılımları sonucu, sistemi karakterize eden ABCD devre sabitleri, yaklaşık olarak

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\left.\begin{aligned} \underline{A} = \underline{D} &\approx 1 + \underline{Z}\underline{Y}/2 \\ \underline{B} &\approx \underline{Z}(1 + \underline{Z}\,\underline{Y}/6) \\ \underline{C} &\approx \underline{Y}(1 + \underline{Z}\,\underline{Y}/6) \end{aligned}\right\} \qquad \text{(xx)}$$

yazılabilir.

$$\left.\begin{aligned} \underline{V}_1 &= \underline{A}\,\underline{V}_2 + \underline{B}\underline{I}_2 \\ \underline{I}_1 &= \underline{C}\,\underline{V}_2 + \underline{D}\underline{I}_2 \end{aligned}\right\} \qquad \text{(xxx)}$$

ABCD sabitlerinin yaklaşık değerleri (xx) yardımıyla hesaplanır ve (xxx) de yerlerine konulursa, - çok küçük değer farkıyla - a - da bulunan değerler elde olunur.

Problem 6.29

400 km lik bir enerji iletim hattı yüksüz (boşta) çalışmaktadır. Hatbaşı gerilimi 380 kV ile hat sabitleri r' = 0.12 ohm/km, x' = 0.4 ohm/km ve b' = $3' * 10^{-6}$ S/km şeklinde verilmektedir.

a) Hatbaşı akımını ve hatsonu gerilimini bulunuz.

b) Boşta çalışmada hat sonu geriliminin 400 kV'u aşmasına izin verilmemektedir. Bu durumda, iletim hattının uzunluğu hangi değerde olmalıydı?

Çözüm:

a) $\underline{Z} = \underline{z}' * l = (0.12 + j0.4)\,400 = 48 + j160 = 167.04 \angle 73.3^\circ$ ohm

$\underline{Y} = jb' * l = j0.0012 = 1.2 * 10^{-3} \angle 90^\circ$ S

Problem 6.28'deki (xx) ve (xxx) eşitlikleri yardımıyla hatbaşı akımı ve hatsonu gerilimi (yaklaşık olarak) hesaplanabilir. Hatsonu yüksüz ol-

ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

duğu için, $\underline{I}_2 = 0$ konularak (xxx) eşitlikleri

$$\underline{V}_1 = \underline{A}\underline{V}_2$$

$$\underline{I}_1 = \underline{C}\underline{V}_2$$

şeklinde yazılabilir.

Diğer taraftan (xx) eşitliklerinden;

$$\underline{A} = 1 + \underline{Z}\underline{Y}/2 = 0.904 + j0.029$$

$$\underline{C} \approx \underline{Y}\,(1 + \underline{Z}\underline{Y}/6) = 1.162 * 10^{-3} \angle 90.6°$$

hesaplanır, yukarıda yerlerine konursa

$$\underline{V}_2 = \underline{V}_1/\underline{A} = 243.4 \angle -1.84° \text{ kV/faz}$$

bulunur. $U_2 = \sqrt{3} * 243.4 = 421.6$ kV bulunur ki, bu değer U_1'den büyüktür. Boşta çalışan uzun enerji iletim hatlarında ortaya çıkan bu olaya "Ferranti Etkisi" adı verilmektedir.

b) Bu kez empedans ve admitans hat uzunluğuna bağlı olarak ifade edilirse

$$\underline{A} = 1 + \frac{1}{2}\,[(jb')\,l * (r' + j\,x')\,l]$$

$$= (1 - 0.6 * 10^{-6}\,l^2) + j0.18 * 10^{-6}\,l^2$$

elde edilir. Diğer taraftan, boşta çalışma için

$$A = \frac{V_1}{V_2} = \frac{380/\sqrt{3}}{400/\sqrt{3}} = 0.95$$

yazılabileceğinden, yukarıda $\underline{A}$'nın sanal kısmının ihmal edilmesiyle

$$A \cong (1 - 0.6 * 10^{-6}\,l^2) = 0.95$$

$$l^2 = \frac{1 - 0.95}{0.6 * 10^{-6}} = 83333\,;\; l = 289 \text{ km}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.30

Parametreleri Problem 6.29'da verilen iletim hattında, hatsonu açık devre iken, hat sonundan ölçülen gerilim 380 kV dur. Uzun enerji iletim hattı eşitliklerini kullanarak

a) Hat sonuna ilişkin gerilimin gelen ve yansıyan dalga bileşenlerinin genliklerini

b) Hat sonundan 200 km uzaktaki noktaya ilişkin N noktasındaki dalga bileşenlerinin genliklerini

c) N noktasındaki bileşke gerilim değerinin genliğini hesaplayınız.

Problem 6.29'dan;

$$\underline{Z}' = r' + jx' = 0.12 + j0.4 = 0.418 \angle 73.3^\circ \text{ ohm/km}$$

$$\underline{y}' = jb' = 3 * 10^{-6} \angle 90^\circ \text{ S/km}$$

$$\underline{\gamma} = \sqrt{\underline{z}' * \underline{y}'} = 1.12 * 10^{-3} \angle 81.65^\circ = a + j\beta$$

$$\alpha = 1.12 * 10^{-3} \cos 81.65^\circ = 0.163 * 10^{-3}$$

$$\beta = 1.12 * 10^{-3} \sin 81.65^\circ = 1.108 * 10^{-3}$$

hesaplanır.

a) Hat sonundan itibaren x (km) mesafedeki gerilim ve akım dalgası, lineer diferansiyel denklemlerin yazılıp çözüme gidilmesiyle

$$\underline{V}_x = \left(\frac{\underline{V}_2 + \underline{Z}_c \underline{I}_2}{2}\right) e^{\gamma x} + \left(\frac{\underline{V}_2 + \underline{Z}_c \underline{I}_2}{2}\right) e^{-\gamma x}$$

$$\underline{I}_x = \left(\frac{\underline{V}_2 / \underline{Z}_c + \underline{I}_2}{2}\right) e^{\gamma x} + \left(\frac{\underline{V}_2 / \underline{Z}_c - \underline{I}_2}{2}\right) e^{-\gamma x}$$

şeklinde yazılabilir. Burada $e^{\gamma x}$ 'li terimler "gelen dalga", $e^{-\gamma x}$ 'l terimler ise "yansıyan dalga" bileşenlerini tanımlar. (NOT: bu ifadelerin üstel yerine sinh ve cosh cinsinden yazılmasıyla, Problem 6.28 deki (x) eşitliği elde olunabilir.) Bu ifadeler yardımıyla iletim hattının herhangi bir nok-

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

tasında, uzaklığın fonksiyonu cinsinden akım veya gerilim tanımlanabilir. Hatsonu gözönüne alındığı için, x = 0 konularak üstel terimler bire eşit hale getirilir. Ayrıca yüksüz çalışma söz konusu olduğundan $I_2 = 0$ dır.

Böylece

Gerilimin "gelen" bileşeni: $\frac{V_2}{2} = \frac{380/\sqrt{3}\,|0°}{2} = 110\,|0°$ kV/faz

Gerilimin "yansıyan" bileşeni: $\frac{V_2}{2} = 110\,|0°$ kV/faz

olacaktır.

b) N noktasında x = 200 km dir. Hatsonu yüksüz olduğu için gene $I_2 = 0$ dır.

$e^{\gamma x} = e^{(\alpha+j\beta)x} = e^{\gamma x}\, e^{j\beta x} = e^{\alpha x}\,|\,\beta x(\text{rad})$; $\quad x = 200$ km

$= 1.033\,|\,12.7°$

$e^{-\gamma x} = e^{-(\alpha+j\beta)x} = e^{-\gamma x}\, e^{-j\beta x} = e^{-\alpha x}\,|\,{}^{-}\beta x(\text{rad})$

$= 0.968\,|\,-12.7°$

Gerilimin "gelen" bileşeni : $\frac{V_2}{2} e^{\gamma x} = 113.63\,|12.7°$ kV/faz

Gerilimin "yansıyan" bileşeni: $\frac{V_2}{2} e^{-\gamma x} = 106.48\,|-12.7°$ kV/faz

bulunur.

c) Gerilimin "gelen" bileşeni V_x^+, "yansıyan" bileşeni V_x^- ile gösterilecek olursa, N noktasındaki bileşke gerilim

$$V_N = V_x^+ + V_x^- = 113.63\,|12.7° + 106.48\,|-12.7°$$

$$= 214.72 + j1.57 = 214.72\,|0.42°\ \text{kV/faz}$$

$U_N = \sqrt{3} * 214.72 = 371.9$ kV

olarak hesaplanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 6.31

350 km lik bir iletim hattının endüktansı 1 mH/km ve kapasitesi 0.01 μF/km dir. İletim hattının dalga empedansını ve buna karşılık düşen gücü bulunuz.

Çözüm:

Dalga empedansı, kayıpsız (omik direnci ihmal edilmiş) bir iletim hattında karakteristik empedansın tanımıyla hesap edilir:

$$Z_s = \sqrt{\frac{jwL}{jwC}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Bu ise, bir omik dirence (yüke) karşılık düşer.

$$Z_s = R_s = \sqrt{\frac{10^{-3}}{0.01 * 10^{-6}}} = 316 \text{ ohm}$$

Buna karşılık düşen güç (SIL = surge impedance loading) U [kV] gerilimi altında

$$P_s = \frac{U^2}{Z_s} = \frac{1}{316} U^2 \quad (MW)$$

değerini alır.

Problem 6.32

Problem 6.31 deki değerleri kullanarak, iletim hattına ilişkin α, β ve γ değerleriyle, dalga boyu (λ) ve dalganın propogasyon hızını (v) hesaplayınız.

Çözüm:

Propogasyon sabiti $\underset{\sim}{\gamma} = \alpha + j\beta$ şeklindedir.

Burada:

$\alpha \approx \frac{r}{2}\left(\frac{C}{L}\right)^{1/2}$; $r \approx 0$ olduğundan α da sıfırdır:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$\beta = \omega\ (LC)^{1/2} = 9.93 * 10^{-4}$ rad/km

$\underline{\gamma} = j9.93 * 10^{-4}$

$\lambda = 2\pi / \beta = 2\pi / 9.93 * 10^{-4} = 6324$ km

$v = f\ .\ \lambda = 50 * 6324 = 316200$ km/s

Problem 6.33

Şekil 6.12 deki enerji sisteminde $V_1 = V_2 = 22$ kV iken, $\underline{S}_1 = 40 + j83.3$ MVA ve $\underline{S}_2 = 20 + j26.7$ MVA güçlerinin çekildiği bilinmektedir. Bara güçlerinin eşit yapılması halinde, yük açısı hangi değeri alır.



Şekil 6.12 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

Baralarda güç eşitliğinin sağlanabilmesi için, 1 no'lu baradan 2 no.lu baraya 10 MW verilmesi gerekir.

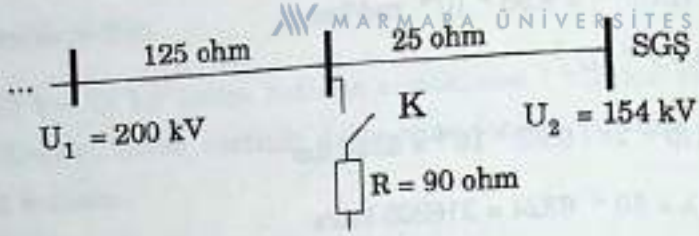
$$P = \frac{U_1 U_2}{x} \sin\delta \quad ; \quad 10 = \frac{22 * 22}{6} \sin\delta \quad ; \quad \sin\delta = 0.124$$

$\delta = 7.12°$ bulunur.

Problem 6.34

Şekil 6.13 deki enerji sisteminde, K anahtarının açık ve kapalı olması hallerinde iletilebilecek maksimum güç değerlerini bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 6.13 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

K anahtarı açık iken;

$X_{12} = 125 + 25 = 150$ ohm

$$P_{max} = \frac{U_1 U_2}{x_{12}} = \frac{200 * 154}{150} = 205 \text{ MW}$$

bulunur. K anahtarı kapalı iken, iletilecek güç

$$P_{12} = \frac{U_1 U_2}{B} \cos(\beta - \delta) - \frac{A U_2^2}{B} = \cos(\beta - \alpha)$$

olup, $\beta = \delta$ olması halinde $P \rightarrow P_{max}$ olur ve

$$P_{max} = \frac{U_1 U_2}{B} - \frac{A U_2^2}{B} = \cos(\beta - \alpha)$$

elde edilir. A ve B dört-uçlu sabitleri olup $\underline{A} = A\angle\alpha$ ve $\underline{B} = B\angle\beta$ şeklinde tanımlanmıştır.

$$\begin{bmatrix} \underline{A} & \underline{B} \\ \underline{C} & \underline{D} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & jx_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1/R & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & jx_2 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Kaskat matrisleri yardımıyla

$$\underline{A} = 1 + jx_1/R$$

$$\underline{B} = jx_1 + jx_2 - x_1x_2/R$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

bulunur ve değerler yerlerine konulursa,

$$\underline{A} = 1 + j125/90 = 1 + j1.388 = 1.711 \angle 54.23°$$

$$\underline{B} = j125 + j25 - 125 * 25/90 = -34.72 + j150$$

$$= 153.96 \angle 103°$$

Bu durumda

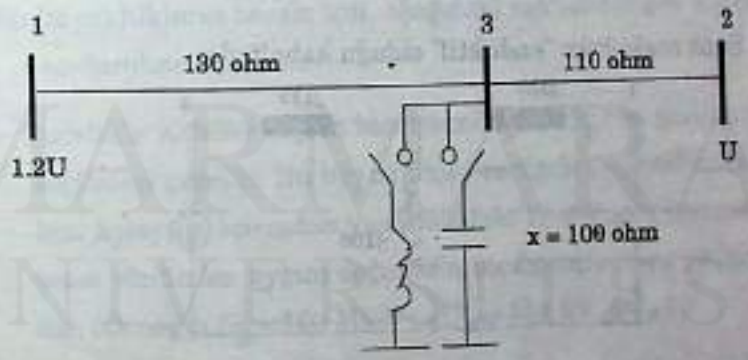
$$P_{max} = \frac{200 * 154}{153.96} - \frac{1.711 * 154^2}{153.96} \cos(103° - 54.23°)$$

$$= 26.3 \text{ MW}$$

Hat üzerine konulan 90 ohm değerindeki omik yük, iletilecek güç miktarını önemli ölçüde azaltmıştır.

Problem 6.35

Şekil 6.14 deki enerji sisteminde, 3 barasındaki şönt reaktör devrede değilken ve devreye alındığında iletilebilecek maksimum güçleri bulunuz.



Şekil 6.14 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

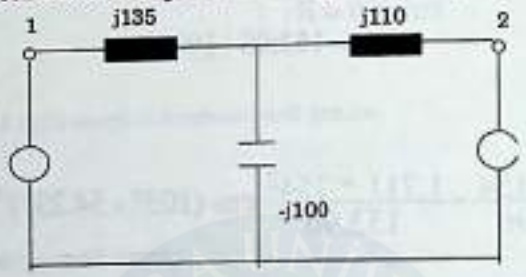
Şönt reaktör devrede değilken;

$X_{12} = 135 + 110 = 245$ ohm

$$P_{max} = \frac{1.2U * U}{245} = 0.0049\ U^2 \ (MW)$$

bulunur.

Şönt reaktörün "kapasitif" olduğu kabulüyle;



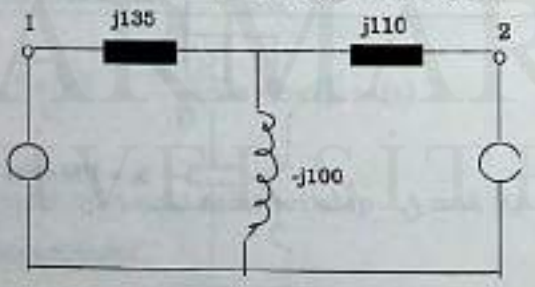
$$X_{12} = j135 + j110 + \frac{j135 * j\,110}{-j100} = j96.5 \ \text{ohm}$$

$$P_{max} = \frac{1.2\,U * U}{96.5} = 0.0124\ U^2 \ \ (MW)$$

hesaplanır. İletilen gücün arttığı gözlenmektedir.

(NOT: Sistemde omik bileşen olmadığı için, Problem 6.34'deki gibi A ve B sabitlerinin hesabı yoluna gidilmemiştir.)

Şönt reaktörün "endüktif" olduğu kabulüyle;



$$X_{12} = j135 + j110 + \frac{j135 * j\,110}{-j100} = j393.5 \ \text{ohm}$$

$$P_{max} = \frac{1.2\,U * U}{393.5} = 0.003\ U^2 \ \ (MW)$$

bulunur.

İletilen gücün azaldığı gözlenmektedir.

7.0 ENERJİ İLETİM SİSTEMLERİNDE PER - UNIT (BİRİM) BÜYÜKLÜKLER

7.1. Giriş

Enerji iletim sistemlerinin elektriksel analizlerinde "per-unit (birim)" büyüklüklerin kullanılması çok elverişli ve yaygındır. Bu büyüklüklerin kullanılmasının yararları şu şekilde özetlenebilir:

- Şebekedeki fazlararası ve faz gerilimlerinin karıştırılması söz konusu değildir.
- Bulunan değerler çoğunlukla 1 rakamı yakınlarında olduğundan, büyüklükler arasındaki mertebe farklılıkları çok fazla değildir; böylece sonuçların karşılaştırılması kolaylaşmış olur.
- Bilgisayara DATA girişlerinde ve çıkışların düzenlenmesinde kolaylık sağlar.
- Bilinen tüm analitik bağıntılara aynen uyarlanabilir.

Bu büyüklüklerin hesabı için, aşağıdaki noktaların göz önünde bulundurulması gerekir:

- Öncelikle sisteme ilişkin baz (temel) güç (S_B) ve gerilimin (U_B) seçilmesi gerekir. Bu büyüklükler rastgele seçilebilir; ancak işlem kolaylığı açısından ve sistemdeki hesapların sayısını azaltması yönünden uygun değerlerin seçilmesine özen gösterilmelidir. (Örneğin S_B = 100 MVA ve U_B = 154 kV gibi...)
- Bir transformatör veya generatörün üzerinde verilen reaktans (veya empedans) değerleri, "etiketi" üzerindeki gerilim ve güç değerleri BAZ'ına göre verilmiştir. Örneğin < 50 MVA, 15 kV, x_d = 1.0 pu> şeklinde verilen bir generatörde, verilen 1.0 pu reaktansının S_B = 50 MVA ve U_B = 15 kV değerlerine göre tanımlandığı anlaşılacaktır.

– S_{1B} ve U_{1B} BAZ değerlerindeki transformatör veya generatör reaktansı x_1 ise, S_{2B} ve U_{2B} değerlerindeki yeni reaktans (x_2)

$$\frac{\bar{x}_1 \bar{U}_{1B}^2}{S_{1B}} = \frac{\bar{x}_2 \bar{U}_{2B}^2}{S_{2B}} \qquad (7.1)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır. (Omik direnç ihmal edilmemiş ise x_1 yerine Z_2 ve x_2 yerine Z_2 konulacaktır.) [pu] büyüklük, "üst çizgi" – " ve küçük harf ile tanımlanmaktadır.

– Bir transformatörün primer gerilimi BAZ olarak seçilmişse (veya verilmişse), sekonder gerilimi de BAZ değer olacaktır. Bu durumda, sistemdeki transformatör gerilim kademeleri ardışık olarak değişiyorsa, (7.1) ifadesi

$$\frac{\bar{x}_1}{S_{1B}} = \frac{\bar{x}_2}{S_{2B}} \qquad (7.2)$$

şeklini alır. Ardışık gerilim kademeleri için

15/154 ——— 154/66 ——— 66/35 ——— 35/15.....

örneği verilebilir.

– Bir iletim hattının empedansı $\underline{Z}$ [Ω] ve admitansı $\underline{Y}$ [S] belli ise, S_B ve U_B BAZ değerlerine göre pu değerleri

$$\left.\begin{aligned} \bar{Z} &= \underline{Z}\,[\Omega].\frac{S_B\,[MVA]}{U_B^2[kV]} \quad [pu] \\ \bar{y} &= \underline{Y}\,[S].\frac{U_B^2\,[kV]}{S_B\,[MVA]} \quad [pu] \end{aligned}\right\} \qquad (7.3)$$

eşitlikleriyle bulunur. İletim hattı için geçerli baz gerilim değeri, hattın bir başındaki (veya sonundaki) transformatörün üst gerilim

ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

tarafına karşılık düşen (baz) gerilimdir.

- pu büyüklükler hem sürekli işletme analizlerinde (örneğin güç akışı analizi) hem de geçici işletme analizlerinde (örneğin kararlılık veya kısa devre analizi) kullanılabilir.

- Bir enerji sisteminde tüm büyüklükler (pu) olarak verilmiş ise, ek bir hesaplamaya gerek yoktur. Verilen değerlerle doğrudan ilgili analize geçilir.

- pu büyüklükler her türlü bağıntıda ve her türlü düzlemde (gerçek sayılar ve kompleks düzlemler) kullanılabilir.

- İletim hattı üzerinde bulunabilecek "Seri kompanzatör", "seri reaktör", "şönt kompanzatör", "şönt reaktör", yıldız noktasını toprağa bağlayan bobin (veya direnç) gibi elemanlara ilişkin pu değerleri (7.3) bağıntısı yardımıyla hesap edilebilir.

- pu büyüklüklerle yapılan işlem sonucunda bulunan gerilim (u) ve güç (s) değerlerinden fiziksel değerlere geçmek için

$$\left.\begin{aligned} U &= \bar{u} \,.\, U_B \;[kV] \qquad [kV] \\ S &= \bar{s} \,.\, S_B \;[MVA] \qquad [MVA] \end{aligned}\right\} \qquad (7.4)$$

eşitlikleri kullanılır. Benzer şekilde, pu akımı (i) değeri ile gerçek akım değeri arasında da

$$I = \bar{i} \,.\, I_B \;[A] \qquad [A] \qquad (7.5)$$

ilişkisi vardır.

Burada I_B değeri

$$I_B = \frac{S_B \;[MVA]}{\sqrt{3}\; U_B \;[kV]} \,.\, 10^3 \qquad [A] \qquad (7.6)$$

olarak tanımlanmıştır.

NOTLAR:

ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

- Generatör ve tranasformatör gibi elemanların reaktans değerleri, etiket değerleri baz alınarak, pu cinsinden verilmektedir. Ancak bazı literatürde "pu" yazılmaması veya bu değerlerin % cinsinden verilmesi de söz konusu olabilmektedir.

  (Örneğin bir generatör için: $\bar{X}_d = 1.2$ pu yerine, $\bar{X}_d = 1.2$ veya $\bar{X}_d = \%\ 120$ şeklinde verilebilmektedir.)

- Gerek transformatörlerin gerekse generatörlerin (ve büyük güçlü asenkron motorların) sargılarının bağlantı biçimleri (Y , Δ, Y / Y , Y / Δ, ...) ve yıldız noktasının toprağa göre konumu (Y, $Y_{\bar{I}}$, $Y_{\bar{\bar{I}}}$, ...) per-unit büyüklüklerin hesabı üzerine bir etki yapmaz.

- Diğer taraftan "primer-sekonder-tersiyer sargı" içeren üç sargılı transformatörlerde, tersiyer sargı kısa devre ve primer sargı açık devre iken sekonderden ölçülen kaçak reaktans, primer sargının baz gücüne indirgenmelidir.

- Yıldız noktalarını toprakla birleştiren bobin (x_n) veya dirençlerin (R_N) per-unit değerlerinin bulunmasında şu yollardan birisi izlenir:

* Tüm sistem elemanları ortak baz değerlere göre [pu] cinsinden, x_N veya R_N ise [Ω] cinsinden verilmiştir.

Bu durumda (7.3) ifadesi kullanılarak $\bar{r}_N$ veya $\bar{x}_n$ hesaplanabilir.

* R_n veya X_N, [Ω] cinsinden etiket değerlerine göre verilmiştir. Bu durumda (7.1) ifadesi kullanılarak $\bar{r}_N$ veya $\bar{x}_N$ hesaplanabilir.

* Transformatörler için söz konusu elemanların hangi sargı tarafında olduğuna bakılarak uygun baz gerilim kullanılır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

7.2. Çözümlü Problemler

Problem 7.1

Şekil 7.1 deki sistemde, 100 MVA ve 154 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.



Şekil 7.1 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

S_B = 100 MVA ve U_B = 154 kV verilmiştir. Sistemdeki gerilim kademeleri ardışık olduğundan, (7.2) ifadesi kullanılacaktır.

G generatörü için:

$$\frac{1.2}{50} = \frac{\bar{x}_d}{100} \; ; \; \bar{x}_d = 2.4 \text{ pu}$$

T_1 transformatörü için:

$$\frac{0.1}{50} = \frac{\bar{x}_{T1}}{100} \; ; \; \bar{x}_{T1} = 0.2 \text{ pu}$$

T_2 transformatörü için:

$$\frac{0.08}{50} = \frac{\bar{x}_{T2}}{100} \; ; \; \bar{x}_{T2} = 0.16 \text{ pu}$$

iletim hattı için:

$$X_h = x_h' \cdot l = 0.4 * 100 = 40 \, \Omega$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

(7.3) ifadesi yardımıyla

$$\bar{x}_n = 40 \cdot \frac{100}{154^2} = 0.169 \text{ pu}$$ bulunur.

Problem 7.2

Şekil 7.2 deki sistemde, 100 MVA ve 380 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.



Şekil 7.2 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

380 kV baz seçildiğine göre, bu değer hem T_2 hem de T_1 için baz değerlerdir; dolayısıyla (7.2) ifadesi kullanılabilir.

T_2 için:

$$\frac{0.1}{300} = \frac{\bar{x}_{T2}}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{T2} = 0.0333 \text{ pu}$$

T_1 için:

$$\frac{0.12}{250} = \frac{\bar{x}_{T1}}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{T1} = 0.048 \text{ pu}$$

İletim hattı için:

$$X_h = x_h' \cdot l = 0.4 * 200 = 80\,\Omega$$

(7.3) yardımıyla

$$\bar{x}_h = 80 \frac{100}{154^2} = 0.3373 \text{ pu}$$

bulunur. Burada T_2 transformatörünün sekonder gerilimi 380 kV baz olduğuna göre, primer gerilimi de (154 kV) baz değer olacaktır. Hattın bağ-

lı olduğu gerilim 154 kV olduğundan, (7.3) ifadesinde U_B = 154 kV konulmuştur.

G_1 ve G_2 generatörlerine gelince, bu elemanların bağlı olduğu baranın gerilimi T_1 transformatörünün primer gerilimidir. Bu gerilim ise 15 kV olup, tanım gereği baz değerdir. Generatör uç gerilimleri 13.5 ve 13.52 kV olduğundan, gerilimlerin ardışıklığı söz konusu değildir. O halde (7.1) ifadesi kullanılacaktır.

G_1 için:

$$\frac{1.1 * 13.5^2}{250} = \frac{\bar{x}_{d1} * 15^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{d1} = 0.3564 \text{ pu}$$

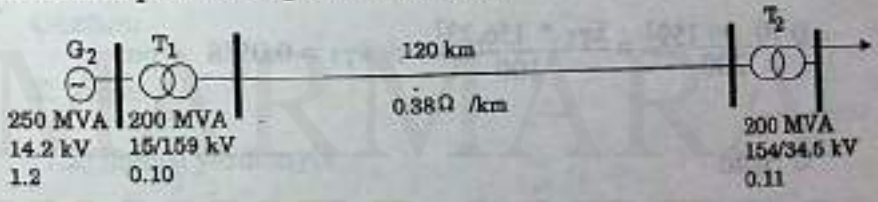
G_2 için:

$$\frac{1.0 * 13.52^2}{200} = \frac{\bar{x}_{d2} * 15^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{d2} = 0.4062 \text{ pu}$$

bulunur.

Problem 7.3

Şekil 7.3 deki sistemde, 100 MVA ve 35 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.



Şekil 7.3 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

Bu sistemde ardışık gerilim kademeleri söz konusu değildir. O nedenle (7.1) ifadesi kullanılacaktır.

T_2 için:

$$\frac{0.11 * 34.5^2}{200} = \frac{\bar{x}_{T2} * 35^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{T2} = 0.0534 \text{ pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

iletim hattı için:

T_2 transformatörünün sekonderi 35 kV baz gerilimle yüklense, değiştirme oranı (ü) sabit olduğundan, primer gerilimi

154 ⟵ 34,5

? ⟶ 35

156.23 kV olacaktır. O halde iletim hattı için baz gerilim 156.23 kV dur.

$X_h = 0.38 * 120 = 45.6\ \Omega$ olup (7.3) yardımıyla

$$\bar{x}_h = 45.6 \frac{100}{156.23^2} = 0.1868 \text{ pu}$$

T_1 için:

(7.1) yardımıyla

$$\frac{0.10 * 159^2}{200} = \frac{\bar{x}_{T1} * 156.23^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{T1} = 0.0518 \text{ pu}$$

G için:

T_1 transformatörünün çevirme oranı 15/159 dur. İletim hattının 156.23 kV luk (baz) gerilimi, bu transformatörün primerine

15 ⟶ 159

? ⟵ 156.23

14.74 kV olarak yansıyacaktır. Bu ise, generatörün bağlı bulunduğu bara için baz gerilimdir. O halde (7.1) yardımıyla

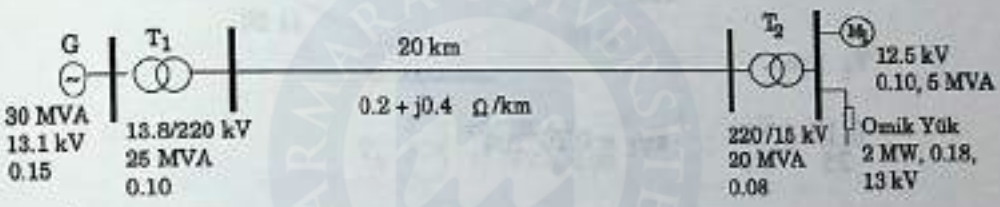
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\frac{1.2 * 14.2^2}{250} = \frac{\bar{x}_d * 14.74^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_d = 0.4455 \quad \text{pu}$$

bulunur.

Problem 7.4

Şekil 7.4 deki sistemde, 50 MVA ve 220 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.



Şekil 7.4 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

T_2 için:

(7.2) ifadesi yardımıyla

$$\frac{0.08}{20} = \frac{\bar{x}_{T2}}{50} \quad ; \quad \bar{x}_{T2} = 0.20 \quad \text{pu}$$

M_1 için:

(7.1) ifadesi yardımıyla

$$\frac{0.20 * 12.5^2}{5} = \frac{\bar{x}_M * 15^2}{50} \quad ; \quad \bar{x}_M = 1.388 \quad \text{pu}$$

0_{mik} yük için:

$$\frac{0.18 * 13^2}{2} = \frac{\bar{x}_y * 15^2}{50} \quad ; \quad \bar{x}_y = 3.38 \text{ pu}$$

Hat için:

$$Z_h = 20\,(0{,}2 + j0{,}4) = 4 + j8 \ \Omega$$

(7.3) yardımıyla

$$\bar{Z}_h = (4 + j8) * \frac{50}{220^2} = 0.004 + j\,0.008 \quad \text{pu}$$

T_1 için:

$$\frac{0.10}{25} = \frac{\bar{x}_{T1}}{50} \quad ; \quad \bar{x}_{T1} = 0.20 \text{ pu}$$

G için:

T_1 transformatörünün primer gerilimi (13.8 kV) baz değerdir. (7.1) yardımıyla

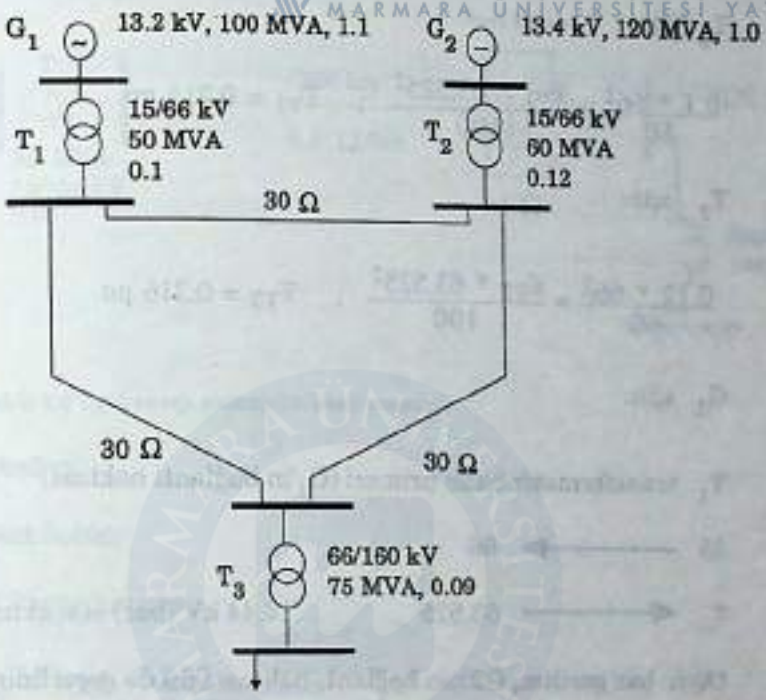
$$\frac{0.15 * 13.1^2}{30} = \frac{\bar{x}_d * 13{,}8^2}{50} \quad ; \quad \bar{x}_d = 0.2253 \quad \text{pu}$$

bulunur.

Problem 7.5

Şekil 7.5 deki sistemde, 100 MVA ve 154 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 7.5 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

T_3 için:

(7.1) yardımıyla

$$\frac{0.09 * 160^2}{75} = \frac{\bar{x}_{T3} * 154^2}{100} \; ; \quad \bar{x}_{T3} = 0.129 \text{ pu}$$

Hatlar için:

Hattın baz gerilimi $\frac{66}{160} * 154 = 63.525$ kV dur

(7.3) yardımıyla

$$\bar{x}_h = 30 * \frac{100}{63.525^2} = 0.743 \text{ pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

T_1 için:

$$\frac{0.1 * 66^2}{50} = \frac{\bar{x}_{T1} * 63.525^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{T1} = 0.216 \text{ pu}$$

T_2 için:

$$\frac{0.12 * 66^2}{60} = \frac{\bar{x}_{T2} * 63.525^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{T2} = 0.216 \text{ pu}$$

G_1 için:

T_1 transformatörünün primeri (G_1'in bağlantı noktası)

15 ⟶ 66

? ⟵ 63.525 14.44 kV (baz) olacaktır.

(Aynı baz gerilim, G2'nin bağlantı noktası için de geçerlidir.)

$$\frac{1.1 * 13.2^2}{100} = \frac{\bar{x}_{d1} * 14.44^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{d1} = 0.919 \text{ pu}$$

G_2 için:

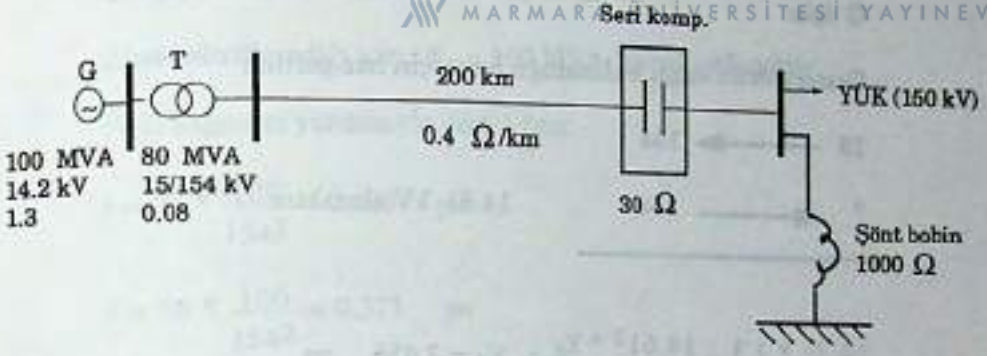
$$\frac{1.0 * 13.4^2}{120} = \frac{\bar{x}_{d2} * 14.44^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_{d2} = 0.718 \text{ pu}$$

bulunur.

Problem 7.6

Şekil 7.6 daki sistemde, 200 MVA ve 150 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 7.6 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

Şönt bobin:

(7.3) yardımıyla

$$\overline{x}_b = 1000 * \frac{200}{150^2} = 8.888 \quad \text{pu}$$

Seri kompanzasyon:

$$\overline{x}_c = 30 * \frac{200}{150^2} = 0.267 \quad \text{pu}$$

İletim hattı için:

$$X_h = 0.4 * 200 = 80\ \Omega$$

$$\overline{x}_h = 80 * \frac{200}{150^2} = 0.711 \quad \text{pu}$$

T için:

(7.1) yardımıyla

$$\frac{154^2 * 0.08}{80} = \frac{150^2 * \overline{x}_T}{200} \; ; \; \overline{x}_T = 0.211 \quad \text{pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

G için:

Generatörün bağlı bulunduğu bara için baz gerilim

15 ⟶ 154

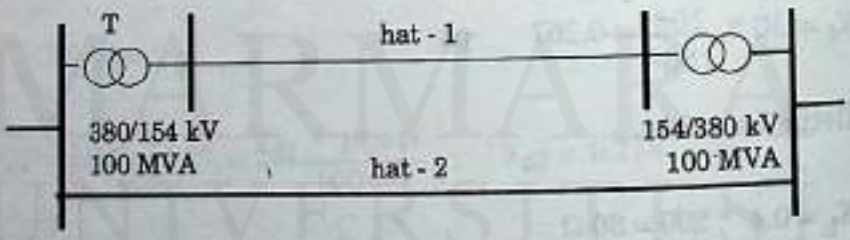
? ⟵ 150 14.61 kV olacaktır.

$$\frac{14.2^2 * 1.3}{100} = \frac{14.61^2 * \bar{x}_d}{200} \quad ; \quad \bar{x}_d = 2.456 \quad \text{pu}$$

bulunur.

Problem 7.7

Şekil 7.7 deki sistemde, iletim hatları 220 km olup iletim hatlarının parametreleri r' = 0.10 Ω /km, x' = 0.40 Ω /km, y' = 3.10^{-6} S/km dir. Hatların per-unit değerlerini bulunuz.



Şekil 7.7 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

Hat parametreleri

$R = r' . \ell = 0.10 * 220 = 22\ \Omega$

$X = x' . \ell = 0.40 * 220 = 88\ \Omega$

$$Y = y'.\ell = 3.10^{-6} * 220 = 6.6 * 10^{-4} \quad S$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Aksi belirtilmediği için, $S_B = 100$ MVA kabul edilecektir.

(7.3) bağıntısı yardımıyla, hat-1 için:

$$\bar{r} = 22 * \frac{100}{154^2} = 0.093 \quad pu$$

$$\bar{x} = 88 * \frac{100}{154^2} = 0.371 \quad pu$$

$$\bar{y} = 6.6 * 10^{-4} * * \frac{154^2}{100} = 0.156 \quad pu$$

hat - 2 için:

$$\bar{r} = 22 * \frac{100}{380^2} = 0.015 \quad pu$$

$$\bar{x} = 88 * \frac{100}{380^2} = 0.061 \quad pu$$

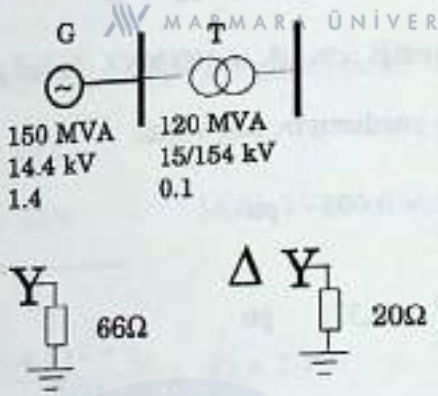
$$\bar{y} = 6.6 * 10^{-4} * * \frac{380^2}{100} = 0.953 \quad pu$$

bulunur.

Problem 7.8

Şekil 7.8 deki sistemde, 100 MVA ve 154 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 7.8 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

T için:

(7.2) yardımıyla

$$\frac{0.1}{120} = \frac{\bar{x}_T}{100} \quad ; \quad \bar{x}_T = 0.083 \quad \text{pu}$$

G için:

154 kV bazı gerilim olduğundan 15 kV da baz gerilimdir. Böylece (7.1) yardımıyla

$$\frac{1.4 * 14.4^2}{150} = \frac{\bar{x}_d * 15^2}{100} \quad ; \quad \bar{x}_d = 0.860 \quad \text{pu}$$

R_N için:

(7.3) yardımıyla

$$\bar{r}_N = 20 * \frac{100}{154^2} = 0.084 \quad \text{pu}$$

X_N için:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Transformatörün çevirme oranı (15/154) sabit olduğundan, generatör tarafı için baz gerilim 15 kV dur.

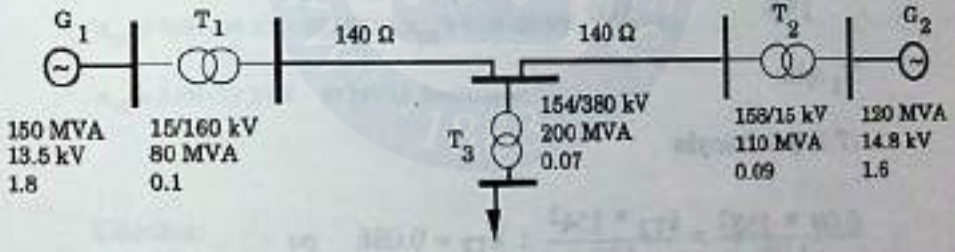
(7.3) yardımıyla

$$\overline{x}_N = 66 * \frac{100}{15^2} = 29.33 \quad \text{pu}$$

bulunur.

Problem 7.9

Şekil 7.9 daki sistemde, 100 MVA ve 380 kV baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.



Şekil 7.9 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

T_3 için:

(7.2) yardımıyla

$$\frac{0.07}{200} = \frac{\overline{x}_{T3}}{100} \; ; \quad \overline{x}_{T3} = 0.035 \quad \text{pu}$$

İletim hatları için:

Hat için baz gerilim, T_3 ün primer gerilimi olup (7.3) ile

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\bar{x}_h = 140 \frac{100}{154^2} = 0.59 \quad pu$$

T_1 için:

Bu eleman için baz gerilim 154 kV olup (7.1) ile

$$\frac{0.1 * 160^2}{80} = \frac{\bar{x}_{T1} * 154^2}{100} \; ; \; \bar{x}_{T1} = 0.135 \quad pu$$

G_1 için:

Generatör tarafı için baz gerilim, (15/160) * 154 ≅ 14.44 kV dur. (Transformatör değiştirme oranı sabit kaldığından, yüksek gerilim tarafındaki baz gerilim 160 kV olacaktır.) (7.1) yardımıyla

$$\frac{1.8 * 13.5^2}{150} = \frac{\bar{x}_{d1} * 14.44^2}{100} \; ; \; \bar{x}_{d1} = 1.049 \quad pu$$

T_2 için:

(7.1) yardımıyla

$$\frac{0.09 * 158^2}{110} = \frac{\bar{x}_{T2} * 154^2}{100} \; ; \; \bar{x}_{T2} = 0.086 \quad pu$$

G_2 için:

G_2 tarafındaki baz gerilim (15/158) * 154 = 14.62 kV dur.

(7.1) yardımıyla

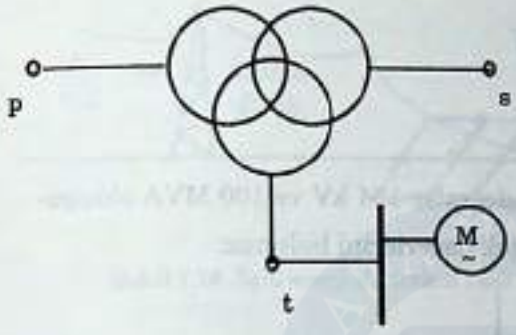
$$\frac{1.6 * 14.8^2}{120} = \frac{\bar{x}_{d2} * 14.62^2}{100} \; ; \; \bar{x}_{d2} = 1.366 \quad pu$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 7.10

Şekil 7.10 daki sistemde, 66 kV ve 15 MVA baz değerlerine göre elemanların per-unit değerlerini bulunuz.



p/s/t = Y / Y / Δ
66 kV - 15 MVA / 13.2 kV-10 MVA/ 2.3 kV - 5 MVA

1 MW, cos φ = 0.8 , 2.3 kV, 0.20

Şekil 7.10 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

(x_{ps} = 0,07 (66 kV - 15 MVA), x_{pt} = 0,09 (66 kV - 15 MVA),

(x_{st} = 0,08 (13.2 kV - 10 MVA) verilmiştir.

Çözüm:

x_{ps} ve x_{pt} primerden ölçüldüğü için, yalnızca x_{st} açısından güç indirgemesi yapılacaktır. Baz güç, primerin gücüdür.

$$x_{st} = 0.08\left(\frac{15}{10}\right) = 0.12 \quad \text{pu}$$

$$x_p = \frac{1}{2}(x_{ps} + x_{pt} - x_{st}) = \frac{1}{2}(0.07 + 0.09 - 0.12) = 0.02 \quad \text{pu}$$

$$x_s = \frac{1}{2}(x_{ps} + x_{st} - x_{pt}) = \frac{1}{2}(0.07 + 0.12 - 0.09) = 0.05 \quad \text{pu}$$

$$x_t = \frac{1}{2}(x_{pt} + x_{st} - x_{ps}) = \frac{1}{2}(0.09 + 0.12 - 0.07) = 0.07 \quad \text{pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Motor için:

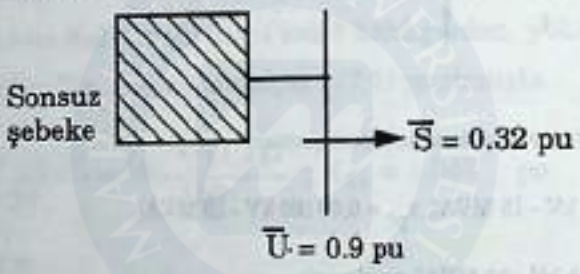
$S_M = 1/0.8 = 1.25$ MVA olup, (7.2) yardımıyla

$$\frac{0.20}{1.25} = \frac{\bar{x}_M}{15} \quad ; \quad \bar{x}_M = 2.4 \quad \text{pu}$$

bulunur.

Problem 7.11

Şekil 7.11 deki sistemde, baz değerler 154 kV ve 100 MVA olduğuna göre, akım, gerilim ve gücün gerçek değerlerini bulunuz.



Şekil 7.11 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

$$S = \bar{s} \cdot S_B = 0{,}32 * 100 = 32 \text{ MVA}$$

$$U = \bar{u}\, U_B = 0.9 * 154 = 138.6 \text{ kV}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3}\, U} = \frac{32 * 10^3}{\sqrt{3}\ 138.6} = 133.3 \text{ A}$$

$$\bar{i} = \frac{\bar{s}}{\bar{u}} = \frac{0.32}{0.9} = 0.355 \text{ pu}$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3} U_B} = \frac{100 * 10^3}{\sqrt{3} * 154} = 375 \text{ A}$$

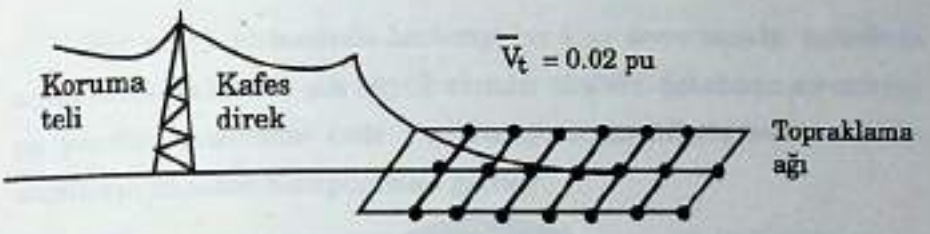
$$I = \bar{i} * I_B = 0.355 * 375 = 133.3 \text{ A}$$

olacaktır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 7.12

Şekil 7.12 deki sistemde, baz gerilim 154 kV dur. Topraklayıcı ağındaki gerilim kaç kV dur?



Şekil 7.12 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

Topraklama ağındaki gerilim, tanım gereği faz gerilimidir. Bu nedenle baz gerilim $V_B = U_B/\sqrt{3} = 154/\sqrt{3} = 88.9$ kV/faz dır.

$$V_t = V_t * V_B = 0.02 * 88.9 \cong 1.78 \text{ kV}$$

olur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



MARMARA
ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

8.0. GEÇİCİ İŞLETME ANALİZİ

8.1. Kısa Devre Analizi

Bir enerji sisteminde herhangi bir kısa devre anında -kesicilerin açma süresine kadar- çok büyük akımlar akabilir. Şebekenin korunmasına yönelik tasarımda (röle koordinasyonu, kesicilerin seçimi vb.) bu akımların önceden hesaplanması gerekir.

Kısa devre akımlarının hesabında şu varsayımlar geçerlidir:

- Omik dirençler ve kaçak kapasiteler ihmal edilmiştir.
- Sistemin gerilimi $\bar{V} = 1.0\angle 0°$ pu kabul edilmiştir.
- Sistem lineer elemanlardan oluşmuştur.
- Tüm hesaplar [pu] büyüklüklerle gerçekleştirilebilir.

Üç fazlı kısa devre simetrik arıza sınıfına girer; çünkü bu tip arızada fazlardan eşit genlikte akımlar akar. Faz-toprak, iki faz ve iki faz-toprak kısa devreleri ise asimetrik arıza sınıfına girer.

Üç fazlı kısa devreye ilişkin arıza akımı

$$\underset{\sim}{\bar{I}}_k = \frac{\bar{V}}{j\bar{X}_1} \tag{8.1}$$

İki fazlı kısa devreye ilişkin arıza akımı

$$\underset{\sim}{\bar{I}}_k = \frac{(1 - a^2)\bar{V}}{j(\bar{X}_1 + \bar{X}_2)} \tag{8.2}$$

Faz-toprak kısa devresine ilişkin arıza akımı

$$\underset{\sim}{\bar{I}}_k = \frac{3\bar{V}}{j(\bar{X}_1 + \bar{X}_2 + \bar{X}_o)} \tag{8.3}$$

İki faz-toprak kısa devresine ilişkin arıza akımı

$$\underset{\sim}{\bar{I}}_k = \underset{\sim}{\bar{I}}_1 + \underset{\sim}{\bar{I}}_2 + \underset{\sim}{\bar{I}}_o \tag{8.4}$$

olup burada;

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\underset{\sim}{\bar{I}}_1 = \frac{\bar{V}}{j\bar{X}_1 + \frac{j\bar{X}_2 * j\bar{X}_o}{j\bar{X}_2 + j\bar{X}_o}} ; \quad \underset{\sim}{\bar{I}}_2 = \frac{-a^2\bar{V}}{j\bar{X}_1 + j\bar{X}_2 + \frac{j\bar{X}_1 * j\bar{X}_2}{j\bar{X}_o}} ; \tag{8.5}$$

$$\underset{\sim}{\bar{I}}_o = \frac{-a\bar{V}}{j\bar{X}_1 + j\bar{X}_o + \frac{j\bar{X}_2 * j\bar{X}_o}{j\bar{X}_2}}$$

olarak tanımlanmıştır.

"1", "2" ve "o" indisleri, sırasıyla, "doğru bileşen", "ters bileşen" ve "sıfır bileşen"i tanımlamaktadır. Dengesiz (asimetrik) üç fazörü dengeli üç bileşenin bileşimi halinde tanımlamayı sağlayan "Simetrili bileşenler Teorisi", arıza hesaplarında yaygın olarak kullanılan bir yaklaşımdır. İfadelerde geçen a ve a^2, 120° lik ötelemeyi sağlayan kompleks operatörlerdir.

$$a = 1\angle 120^\circ = -0.5 + j\,0{,}866$$
$$a^2 = 1\angle -120^\circ = -0{,}5 - j\,0{,}866 \tag{8.6}$$

(x_1) doğru bileşen, (x_2) ters bileşen ve (x_o) sıfır bileşen reaktansları, arıza noktasından gözlenen (eşdeğer) reaktansları göstermektedir.

Simetrik bileşenler teorisi toplamsallık teoreminin bir uyarlanması olduğundan, her bileşen eşdeğer devresi ayrı ayrı göz önüne alınır (çizilir.)

Enerji sistemlerinde generatör, transformatör, iletim hattı, seri/paralel bobin/kompanzatör gibi elemanlar yer almaktadır. Bu elemanların x_1, x_2 ve x_o bileşen reaktansları şu şekilde özetlenebilir:

Elemanların doğru bileşen reaktansları:

Generatörler için deneysel olarak belirlenir veya imalat katologlarından alınır.

Transformatörler için kısa devre reaktansıdır. Hatlar için hat uzunluğu ile birim reaktansın çarpımına eşittir.

Statik diğer elemanlar (kompanzatör, bobin vb.) için de benzer durum geçerlidir.

Elemanların ters bileşen reaktansları:

Generatörler için deneysel olarak belirlenir veya imalat katologlarından alınır.

Transformatör, hat vb. elemanlar için doğru bileşen reaktansı ile aynıdır.

Elemanların sıfır bileşen reaktansları:

Generatörler için deneysel olarak belirlenir veya imalat katologlarından alınır.

İletim hatları için doğru bileşen reaktansının (2.....3) katına eşittir.

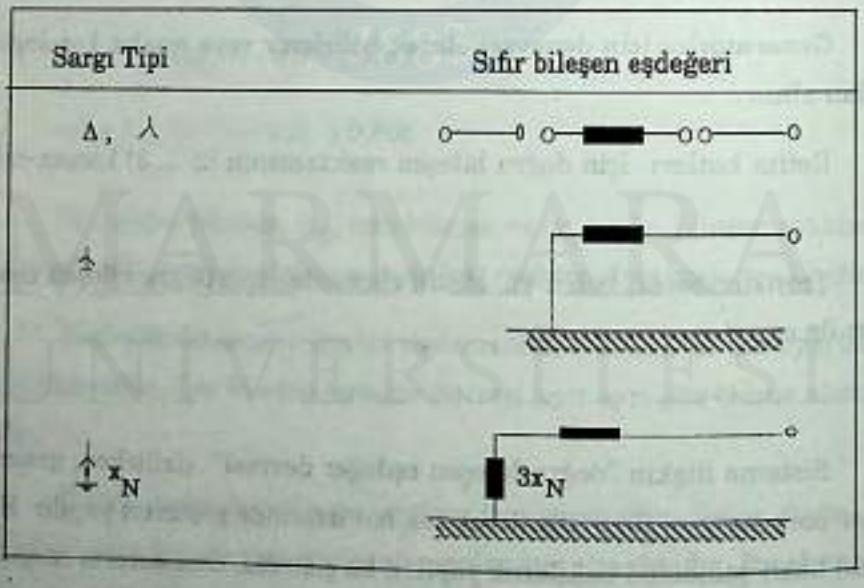
Transformatör, bobin vb. statik elemanlar için doğru bileşen reaktansı ile aynıdır.

Sisteme ilişkin "doğru bileşen eşdeğer devresi" çizilirken, generatörler emk simgesi ile gösterilerek tek-hat üzerinde gösterim yapılır. Sistemin basit şemasına bakılarak yapılan bu çizimde, elemanların sargı biçimlerinin (yıldız, üçgen vb.) ne olduğu dikkate alınmaz. Eşdeğer devrede tüm elemanların doğru bileşen reaktansları [pu] sayısal değerleriyle gösterilir.

Sisteme ilişkin "ters bileşen eşdeğer devresi" çizilirken, generatörler ters bileşen uç gerilimi vermedikleri için, emk simgesi artık kullanılmaz; kısa devre ile gösterilerek tek-hat üzerinde gösterim yapılır. Sistemin basit şemasına bakılarak yapılan bu çizimde, elemanların sargı biçimlerinin ne olduğu dikkate alınmaz. Eşdeğer devrede tüm elemanların ters bileşen reaktansları [pu] sayısal değerleriyle gösterilir.

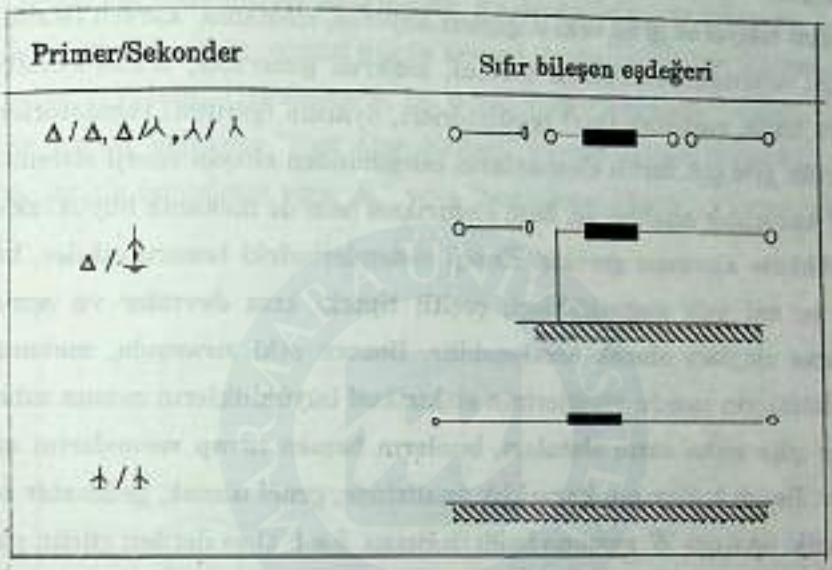
Sisteme ilişkin "sıfır bileşen eşdeğer devresi" çizilirken, generatörler sıfır bileşen uç gerilimi vermedikleri için, emk simgesi kullanılmaz; kısa devre ile gösterilerek tek-hat üzerinde gösterim yapılır. Sistemin basit şemasına bakılarak yapılan bu çizimde, elemanların sargı biçimlerinin ne olduğu önemlidir. (Tablo 8.1 ve 8.2) Eşdeğer devrede tüm elemanların sıfır bileşen reaktansları [pu] sayısal değerleriyle gösterilir.

Tablo 8.1 Yüklerin, şebekelerin ve generatörlerin sargı bağlantılarına göre sıfır bileşen eşdeğerleri



MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Tablo 8.2 Transformatörlerin sargı bağlantılarına göre sıfır bileşen eşdeğerlerileri



Görüldüğü gibi, yalnızca topraklı yıldız bağlantıya sahip elemanların sıfır bileşen akımların geçişine olanak sağladığı söylenebilir.

Enerji sistemlerindeki kesici gücü, simetrik kısa devre için hesaplanan $\bar{x}_{eş} = \bar{x}_1$ reaktansı yardımıyla

$$\bar{s}_k = 1 / \bar{x}_{eş} \tag{8.7}$$

bulunur. pu büyüklüklerden fiziksel büyüklüklere geçiş ise

$$\begin{aligned} S_k &= \bar{s}_k S_B \\ I_k &= \bar{i}_k I_B \\ V &= \bar{v}\, V_B \end{aligned} \tag{8.8}$$

bağıntıları yardımıyla gerçekleştirilir.

8.2. Kararlılık (Stabilite) Analizi

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

En genel anlamda, bir (elektriksel, mekanik veya kombine) elemana uygulanan bozucu etki sonrasında elemanın tanım büyüklükleri, bir salınımı izleyerek gene eski değerleri alıyorsa, elemanın "kararlı (stabil)" olduğu söylenebilir. Tahrik türbini, senkron generatör, transformatör, iletim hattı, mekanik (hız) regülatörleri, uyarma (gerilim) regülatörleri, kesiciler gibi çok farklı elemanların bileşiminden oluşan enerji sistemlerinin kararlılık analizinde, hem elektriksel hem de mekanik büyüklüklerin dikkate alınması gerekir. Enerji sistemlerindeki bozucu etkiler, büyük ve ani yük değişiklikleri, çeşitli tipteki kısa devreler ve açma-kapama olayları olarak özetlenebilir. Bozucu etki sırasında, mekanik regülatörlerin zaman sabitlerinin elektriksel büyüklüklerin zaman sabitlerine göre daha uzun olmaları, bunların hemen cevap vermelerini engeller. İletim hatlarının kararlılık analizinde, genel olarak, generatör rotor (yük) açısının "δ" zamana bağlı değişimi $\delta = f(t)$ ve iletilen gücün yük açısına bağlı değişimi $P = f(\delta)$ göz önüne alınır. $\delta = f(t)$ eğrisinin salınımını iyileştirmek için; sistem gerilimini artırmak, seri kompanzasyon - demet iletken - çift devre hat kullanarak hat reaktansını azaltmak hızlı kesiciler kullanmak, transformatörlerin nötr noktalarına empedans bağlamak gibi seçenekler mevcuttur.

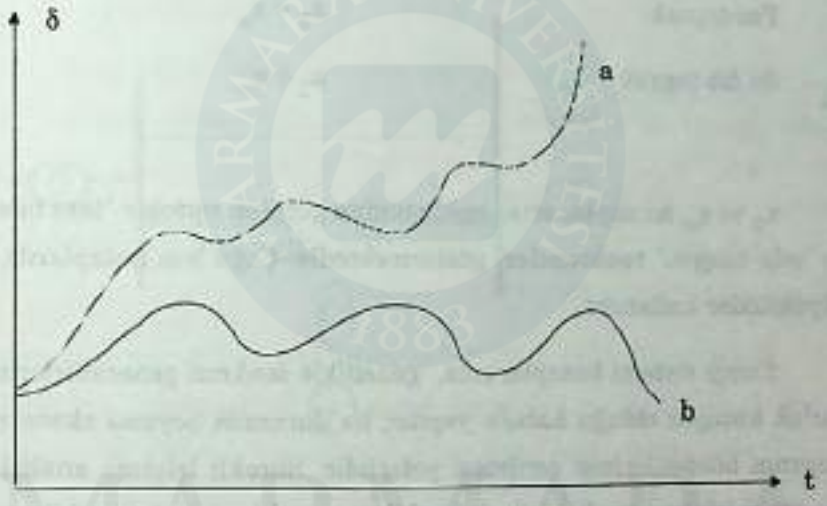
Bozucu etkinin; küçük ve yavaş olması "sürekli (statik) kararlılık", büyük ve ani olması ise "Geçici (Transiyent) Kararlılık" başlığı altında incelenir.

Türbin ve gerilim regülatörlerindeki değişiklikle (belli değerlerde güç artırımı vb.) sürekli kararlılık, arıza dolayısıyla oluşan salınımlar ise geçici kararlılık incelemesini gerektirir.

Rotor açısının bozucu etki sonrasında belirsiz bir şekilde artıp artmadığını gözlemek için, salınım denklemi yazılır.

$$M\frac{d^2\delta}{dt^2} = P_m - P_e \qquad (8.9)$$

Burada M açısal momentum [s^2 / elek. derece], P_m mekanik güç, P_e elektrik güç'tür. Normal işlemede δ'nın türevi sıfır olacağından, $P_m = P_e$ eşitliği bir "denge" noktasında çalışmayı simgeler. (8.9) denklemi, non-linear bir diferansiyel denklemdir. Bu denklemin çözümünden δ = f (t) değişimi elde edilir; çözüm uygun sayısal analiz teknikleri yardımıyla gerçekleştirilebilir. Uygulamada, bu denklemin geometrik yoldan çözümüne olanak sağlayan "Eşit Alan Kriteri" yaygın olarak kullanılır. Bu yolla, "kritik temizleme açısı δ_c" veya "temizleme süresi t_c" hesap edilebilir.



Şekil G 8.1 Kararsız (a) ve kararlı (b) duruma ilişkin salınım eğrileri.

Diğer taraftan, bir arıza sırasında enerji iletim hattının geçici olarak iletebileceği güç, P = f (δ) şeklinde hesaplanabilir. Söz konusu güç

$$P = \frac{E' * V}{X_{12}} \sin \delta \qquad (8.10)$$

olup, burada

E' : Senkron makinanın x'_d reaktansı kullanılarak bulunan emk değeri

V : Hat sonu bara gerilimi (çoğu kez sabit değerde alınır; $\bar{V} = 1.0$ pu gibi...)

δ : Yük açısı

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

x_{12} : Arızalı an için sistemin geçiş reaktansı x_{12} hesaplanmasında, öncelikle sistemin arıza noktası ile toprak arasına bir Z_k empedansı bağlanır. Z_k empedansı, arıza tipine göre şu değerleri alır:

Arıza tipi	Z_k
Üç faz	O (kısa devre iletkeni)
İki Faz	x_2
Faz-toprak	$x_2 + x_o$
iki faz-toprak	$x_2 // x_o$

x_2 ve x_o, sırasıyla, arıza noktasından görülen eşdeğer "ters bileşen" ve "sıfır bileşen" reaktansları göstermektedir. Çoğu kez hesaplarda [pu] büyüklükler kullanılır.

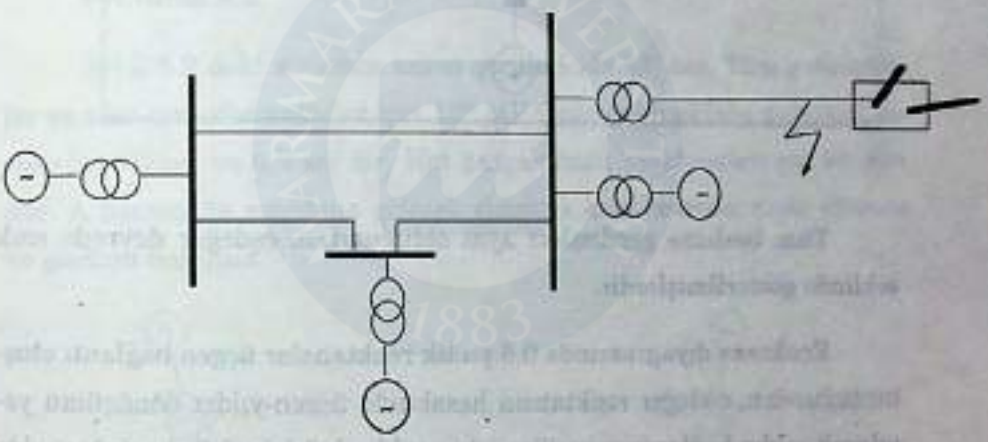
Enerji sistemi hesaplarında, genellikle senkron generatörlerin yuvarlak kutuplu olduğu kabulu yapılır; bu durumda boyuna eksen reaktansının bileşenlerinin verilmesi yeterlidir. Sürekli işletme analizi için x_d; geçici işletme analizi için doğru bileşen reaktansı x_d', ters bileşen reaktansı olarak da x_d'' kullanılır.

8.3. Çözümlü Problemler

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 8.1

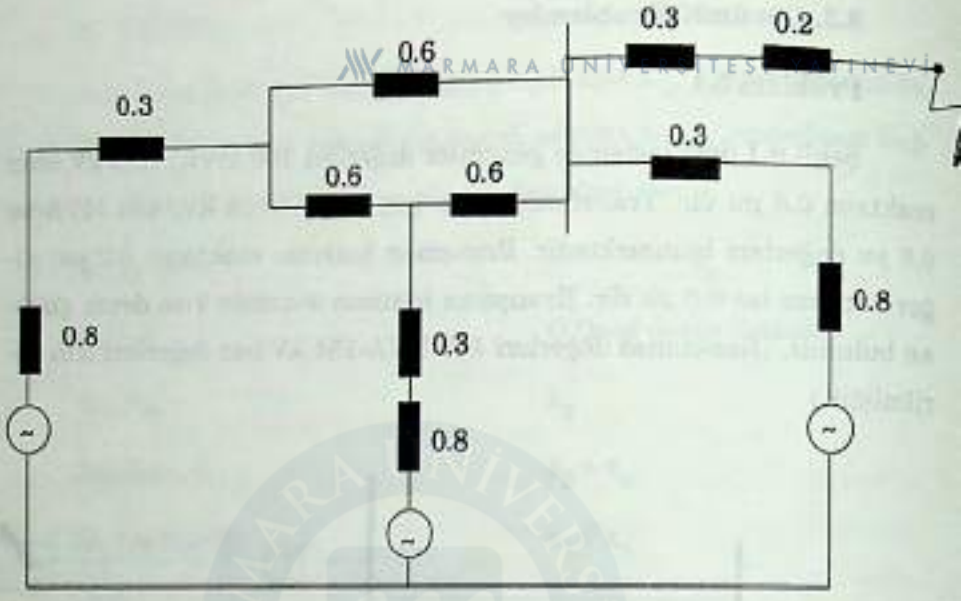
Şekil 8.1 deki sistemde generatör değerleri 100 MVA, 13.5 kV olup reaktans 0.8 pu dir. Transformatörler için de 13.5/154 kV, 100 MVA ve 0.6 pu değerleri bilinmektedir. Branşman hattının reaktansı 0.2 pu, diğer hatların ise 0.6 pu dir. Branşman hattının sonunda kısa devre gücünü bulunuz. (Reaktanas değerleri 100 MVA-154 kV baz değerleri için verilmiştir.)



Şekil 8.1 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

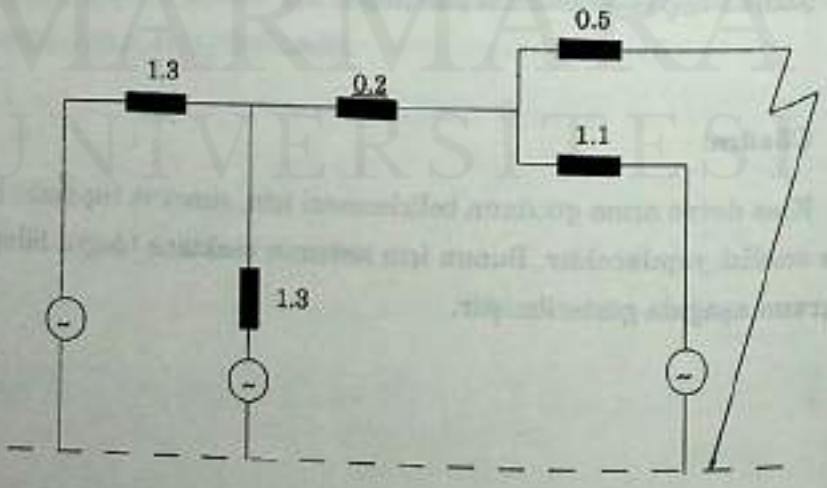
Çözüm:

Kısa devre açma gücünün belirlenmesi için, simetrik (üç fazlı) kısa devre analizi yapılacaktır. Bunun için sistemin reaktans (doğru bileşen) diyagramı aşağıda gösterilmiştir.



Tüm besleme gerilimleri aynı olduğundan, eşdeğer devrede emk şeklinde gösterilmişlerdir.

Reaktans diyagramında 0.6 pu lik reaktanslar üçgen bağlantı oluşturduğundan, eşdeğer reaktansın hesabında üçgen-yıldız dönüşümü yapılarak yıldız bağlantıya geçilirse, her yıldız kol için 0.2 pu değeri elde edilir.



Arıza noktasından görünen eşdeğer reaktans

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\bar{x}_{eş} = 0.5 + \frac{(1.3/2 + 0.2) * 1.1}{(1.3/2 + 0.2) + 1.1} = 0.979 \text{ pu}$$

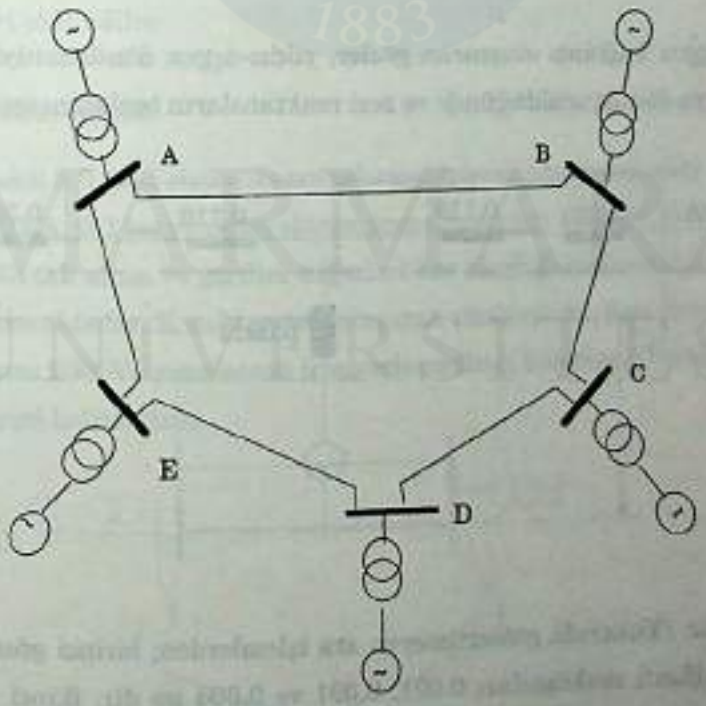
ve kısa devre gücü (KDG)

$$KDG = \frac{1}{\bar{x}_{eş}} = \frac{1}{0.979} = 1.021 \text{ pu}$$

olarak hesaplanır. Bunun gerçek (fiziksel) değeri 1.021 * 100 ≡ 102 MVA olacaktır.

Problem 8.2.

Şekil 8.2 deki sistemin anma gerilimi 154 kV dur. Tüm generatörler ve tüm transformatörler için 100 MVA güçteki reaktans değerleri, sırasıyla, 0.5 pu ve 0.2 pu dir. Hat parçalarının reaktansları ise 50 ohm dur. A barasında meydana gelecek simetrik kısa devrede, arıza akımını ve gücünü bulunuz.



Şekil 8.2. İlgili enerji sisteminin basit şeması.

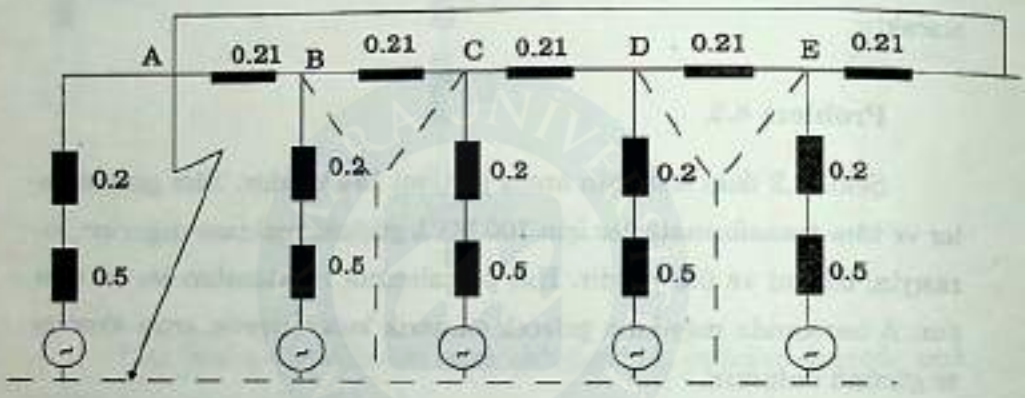
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

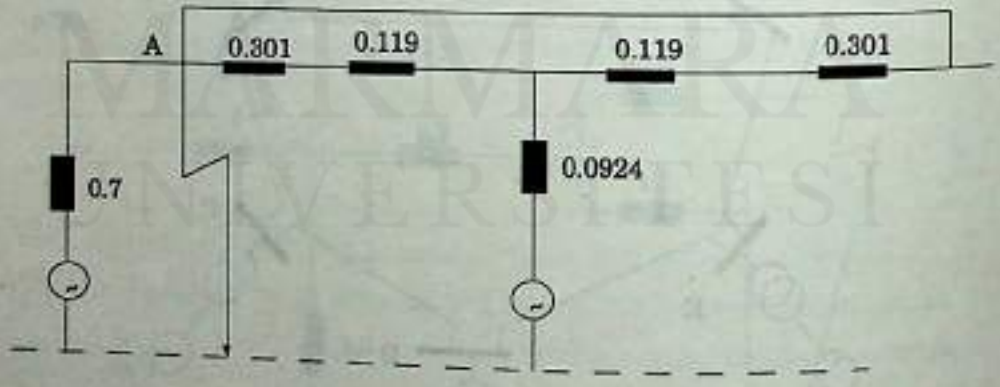
[pu] cinsinden hat parçalarının reaktansları

$$\bar{x}_h = 50 * \frac{100}{154^2} = 0.21 \text{ pu}$$

hesaplandıktan sonra, sistemin doğru bileşen eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiştir.



Üçgen bağlantı oluşturan gözler, yıldız-üçgen dönüşümüyle yıldız bağlantıya dönüştürüldüğünde ve seri reaktansların toplanmasıyla



elde edilir. (Yukarıda gösterilmeyen ara işlemlerden; birinci göze ilişkin yıldız bağlantı reaktansları 0.091, 0.091 ve 0.304 pu dir. ikinci göz için ise 0.119, 0.119 ve 0.0924 pu dir.)

Arıza noktasından görünen eşdeğer reaktans

$$\bar{x}_{eş} = \frac{0.7\ (0.42/2 + 0.0924)}{0.7 + (0.42/2 + 0.0924)} = 0.211 \text{ pu}$$

bulunur. Arıza akımı

$$\bar{i}_k = \frac{1}{\bar{x}_{eş}} = \frac{1}{0.211} = 4.739 \text{ pu}$$

olup $\bar{s}_k$ değeri de 4.739 pu değerine eşittir.

Baz güç 100 MVA alındığında baz akım

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}\ U_B} = \frac{100 * 10^3}{\sqrt{3} * 154} = 375.4 \text{ A}$$

olacağından

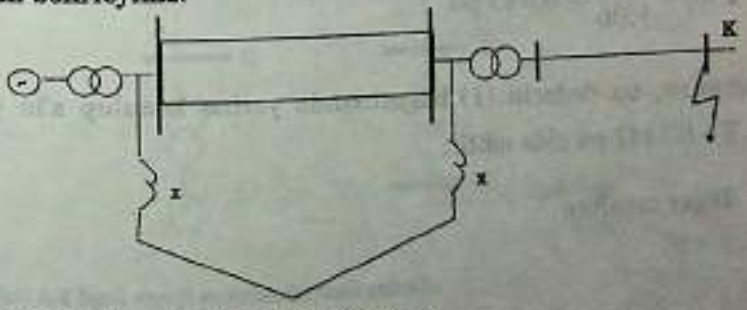
$$I_k = \bar{i}_k\ I_B = 4.739 * 375.4 = 1779 \text{ A}$$

$$S_k = \bar{s}_k\ S_B = 4.739 * 100 \cong 474 \text{ MVA}$$

değerleri elde edilir.

Problem 8.3

Şekil 8.3 deki sistemde transformatörlerin anma değerleri 13.5/154 kV, 50 MVA, 0.2 pu ve generatörün anma değerleri 13.5 kV, 50 MVA, 0.2 pu dir. Ortak akım ve gerilim değerleri baz alındığında, hat reaktansları 0.6 pu olmaktadır. K noktasında oluşacak simetrik bir kısa devrede, arıza akımını 200 A'e sınırlamak için yerleştirilmiş bobinlerin (reaktörlerin) değerlerini belirleyiniz.

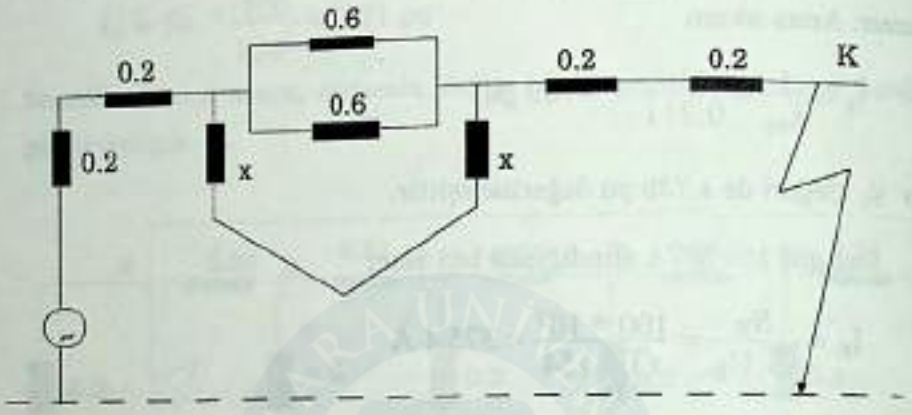


Şekil 8.3 İlgili enerji sisteminin basit şeması

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Sistemin doğru bileşen eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiştir:



Buradan eşdeğer reaktans

$$\bar{x}_{eş} = 0.2 + 0.2 + \frac{0.3 * 2x}{0.3 + 2x} + 0.2 + 0.2$$

$$= \frac{0.24 + 2.2x}{0.3 + 2x} \qquad (1)$$

olacaktır. Diğer taraftan

$$I_B = \frac{50 * 10^3}{\sqrt{3} * 154} = 187.6 \text{ A}$$

$I_k = 200$ A öngörüldüğüne göre

$$\bar{i}_k = \frac{200}{187.6} = 1.06 \text{ pu}$$

$$\bar{x}_{eş} = \frac{1}{1.06} = 0.943 \text{ pu}$$

olacağından, bu değerin (1) bağıntısında yerine konulup x'in çekilmesiyle, $\bar{x} = 0.1447$ pu elde edilir.

Diğer taraftan

$$x_B = \frac{V_B}{I_B} = \frac{(154/\sqrt{3})\ 10^3}{187.6} = 474.5 \text{ ohm}$$

$$X = \bar{x}\, X_B = 0.1447 * 474.5 = 68.66 \text{ ohm}$$

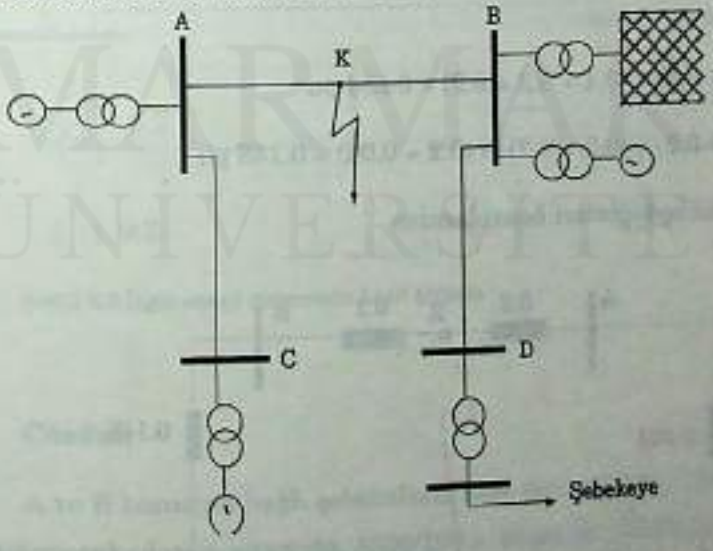
elde edilir. Bobinin endüktansı ise

$$L = \frac{X}{2\pi f} = \frac{68.66}{2 * 3.14 * 50} = 0.109 \text{ H}$$

olarak hesaplanır.

Problem 8.4

Şekil 8.4 deki enerji sisteminde tüm generatör ve transformatörler özdeş olup, reaktansları, sırasıyla, 0.9 pu ve 0.2 pu dir. Hatlar da ortak baz değerlere göre 0.4 pu reaktanslarına sahiptirler. B barasında kısa devre gücü 2500 MVA olan bir başka şebeke bağlıdır. Hattın tam ortasındaki K noktasında meydana gelecek simetrik arıza halinde kısa devre akımını bulunuz. (Baz güç 100 MVA olup tüm baralar 13.5/154 kV luk transformatörler üzerinden beslenmektedir.)

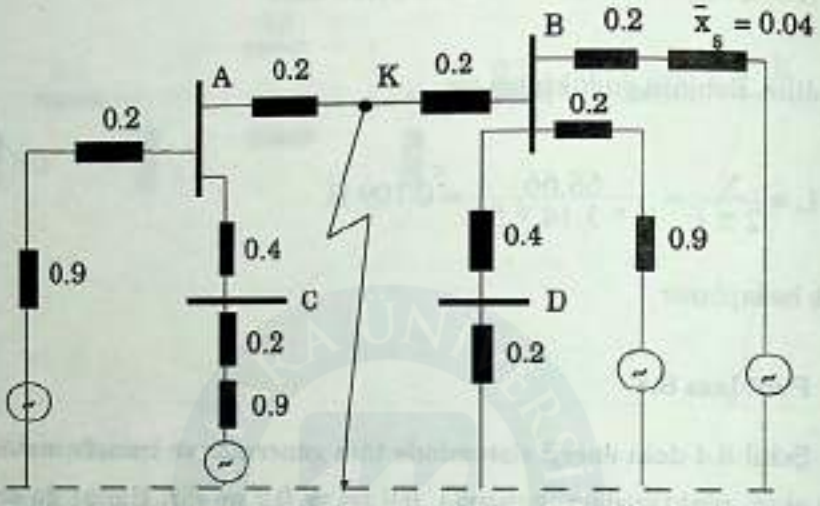


Şekil 8.4 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Sistemin doğru bileşen eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiştir:



Kısa devre gücünün [pu] değeri $\bar{s}_k = 2500/100 = 25$ pu olup şebeke reaktansının [pu] karşılığı

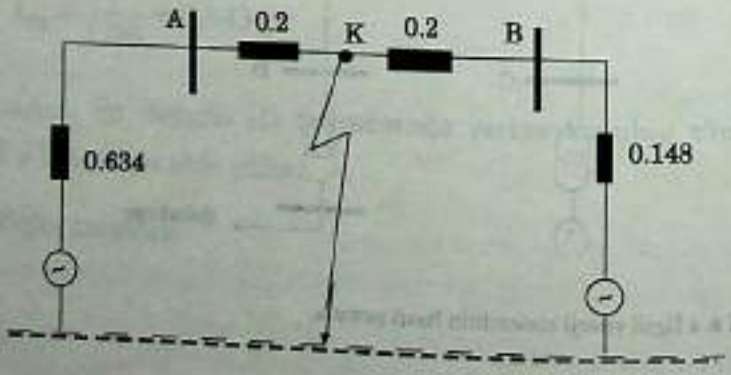
$$\bar{x}_s = \frac{1}{25} = 0.04 \text{ pu}$$

olacaktır.

$(0.9 + 0.2) // (0.4 + 0.2 + 0.9) = 0.634$ pu

$(0.4 + 0.2) // (0.2 + 0.9) // (0.2 + 0.04) = 0.148$ pu

paralel eşdeğerleri hesaplanırsa



sonuçta arıza noktasından görülen eşdeğer reaktans

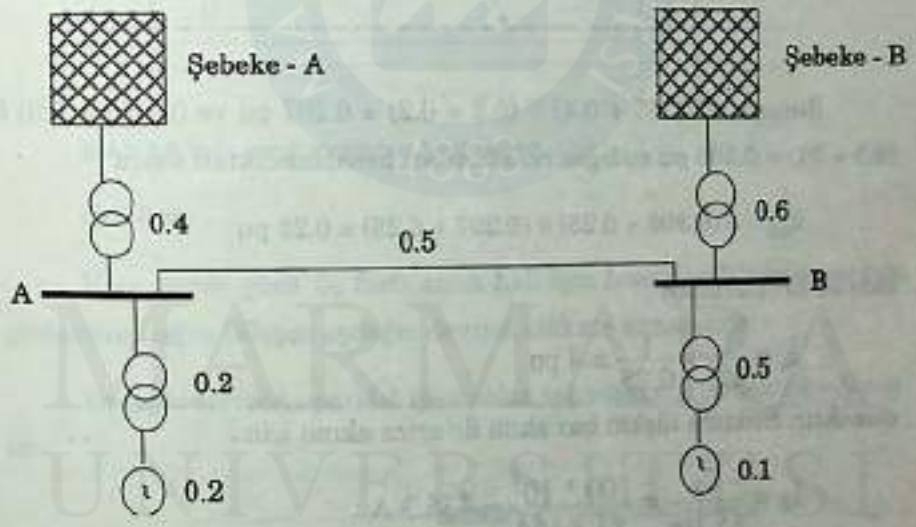
$$\bar{x}_k = \frac{1}{\bar{x}_{eş}} = \frac{1}{0.246} = 4.065 \text{ pu}$$

$$S_k = 4.065 * 100 = 406.5 \text{ MVA}$$

bulunur.

Problem 8.5

Şekil 8.5 deki enerji sisteminde, iletim hattının tam ortasında meydana gelecek simetrik bir kısa devre halinde arıza akımını hesaplayınız. Sistemdeki tüm reaktans değerleri 100 MVA ve 154 kV baz değerlere göre pu cinsinden verilmiştir. A barasına bağlı şebekenin kısa devre gücü 3500 MVA ve B barasına bağlı şebekeninki ise 4000 MVA dır.

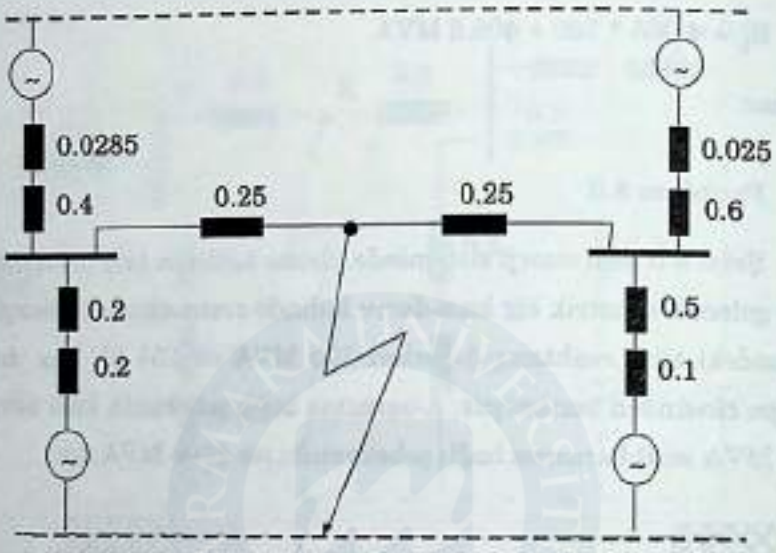


Şekil 8.5 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

A ve B barasına bağlı şebekelerin kısa devre güçleri [pu] cinsinden hesaplanacak olursa, sırasıyla, 3500/100 = 35 pu ve 4000/100 = 40 pu bulunur. Bu değerlere karşılık düşen şebeke reaktansları ise, $\bar{x}_ş = 1/\bar{S}_k$

bağıntısı gereği, sırasıyla 1/35 = 0.0286 pu ve 1/40 = 0.025 pu olacaktır. Sistemin doğru bileşen eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiştir.



Burada; (0.0285 + 0.4) // (0.2 + 0.2) = 0.207 pu ve (0.025 + 0.6) // (0.5 + 01) = 0.306 pu eşdeğer reaktansları hesaplandıktan sonra

$$\bar{x}_{eş} = (0.306 + 0.25) // (0.207 + 0.25) = 0.25 \text{ pu}$$

elde edilir. Buradan

$$\bar{i}_k = \frac{1}{\bar{x}_{eş}} = \frac{1}{0.25} = 4 \text{ pu}$$

olacaktır. Sisteme ilişkin baz akım ile arıza akımı için

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}\, U_B} = \frac{100 * 10^3}{\sqrt{3} * 154} = 375.3 \text{ A}$$

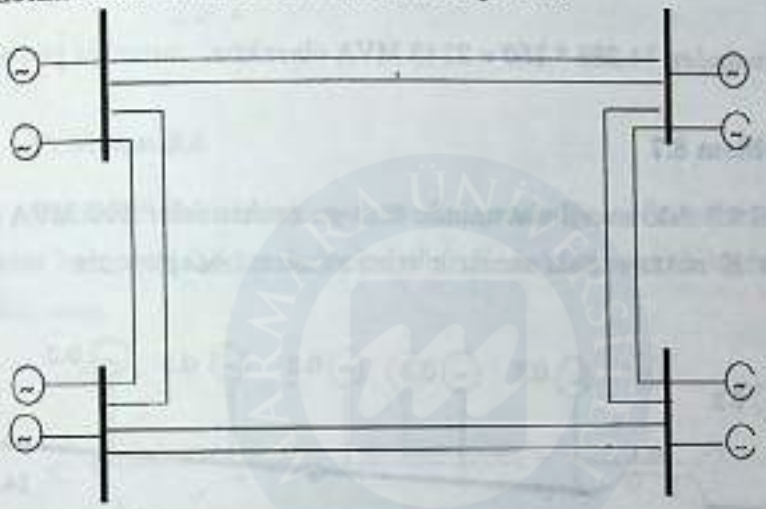
$$I_k = \bar{i}_k\, I_B = 4 * 375.3 = 1501 \text{ A}$$

değerleri bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 8.6

Şekil 8.6 daki enerji sisteminde tüm pu reaktanslar 150 MVA baz güç için verilmiştir. K noktasındaki kısa devre gücünü bulunuz. (Generatör reaktansları 0.2 pu, yatay iletim hatlarının reaktansları 1.0 pu ve düşey iletim hatlarının reaktansları da 0.6 pu dir.)

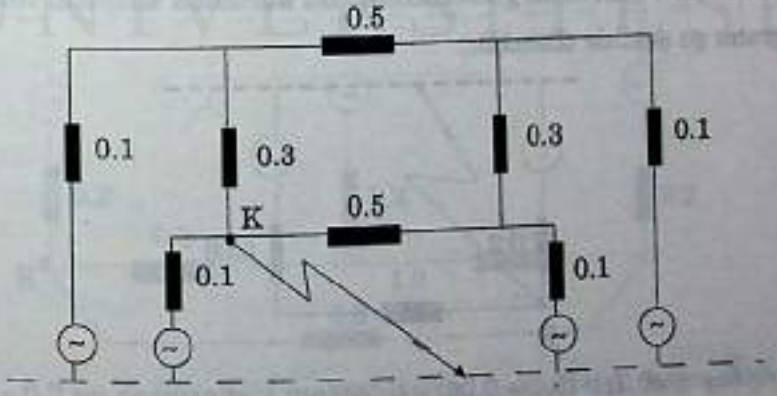


Şekil 8.6 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

Kısa devre gücü üç fazlı arıza hali için hesaplandığı için aşağıda gösterilen doğru bileşen eşdeğer devresi dikkate alınacaktır.

Eşdeğer devrede paralel elemanlar tek reaktans ile temsil edilmiştir.



MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

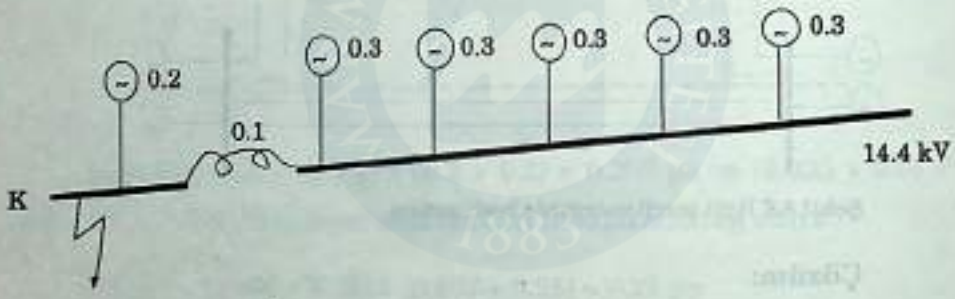
0.1 - 0.3 - 0.1 pu reaktansların oluşturduğu üçgen bağlantılar, "yıldız-üçgen dönüşümü" yardımıyla yıldız bağlantılara dönüştürülür ve gerekli seri/paralel eşdeğerler hesaplanırsa, K noktasından görülen eşdeğer reaktans $\bar{x}_{eş} = 0.07$ pu olarak bulunur.

$$\bar{s}_k = 1/0.07 = 14.285 \text{ pu}$$

ve MVA cinsinden 14.285 * 150 = 2143 MVA olacaktır.

Problem 8.7

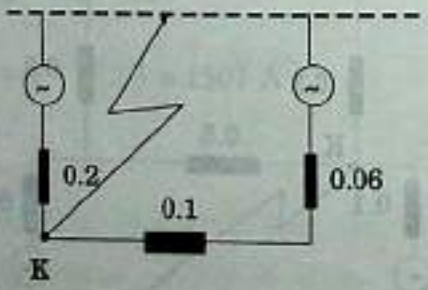
Şekil 8.7 deki enerji sisteminde tüm pu reaktanslar 100 MVA için verilmiştir. K noktasındaki simetrik arıza akımını hesaplayınız.



Şekil 8.7 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

Reaktansları 0.3 pu olan generatörlerin eşdeğeri 0.3/5 = 0.06 pu olan tek bir reaktansla gösterilebilir. Bu durumda sistemin reaktans diyagramı şu şekilde olacaktır:



$\bar{x}_{eş} = (0.2) // (0.1 + 0.06) = 0.089$ pu

$$\bar{I}_k = 1/\bar{x}_{eş} = 1/0.089 = 11.248 \text{ pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

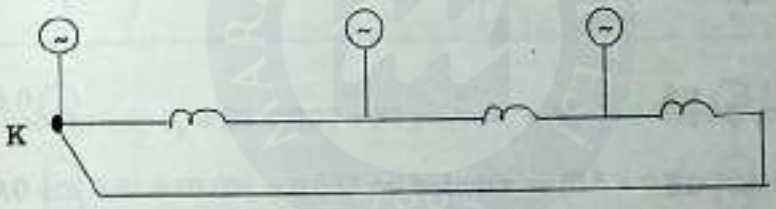
$$I_B = \frac{100}{\sqrt{3} * 14.4} \cong 4 \text{ kA}$$

$$I_k = 11.248 * 4 \cong 45 \text{ kA}$$

değerleri bulunur.

Problem 8.8

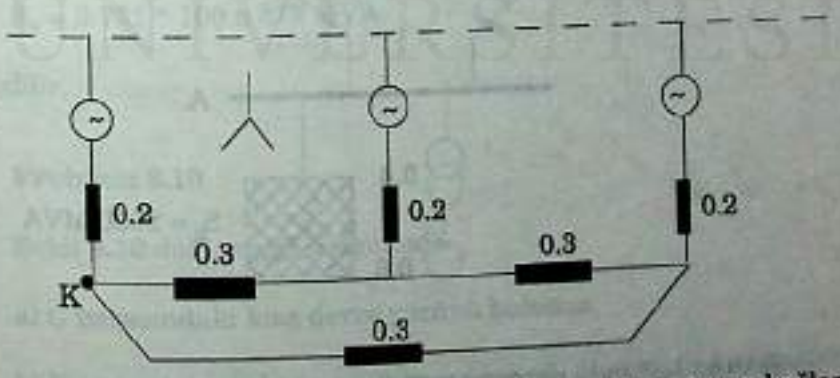
Şekil 8.8 deki enerji sisteminde, generatör reaktansları 0.2 pu ve reaktör bobinleri 0.3 pu değerindedir. K noktasındaki kısa devre gücünü bulunuz.



Şekil 8.8 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

Kısa devre gücünü bulmaya yönelik reaktans diyagramı aşağıdadır:



0.2 - 0.3 - 0.2 pu değerindeki reaktansların oluşturduğu üçgen bağlantı

yıldız bağlantıya dönüştürülürse, 0.0857 - 0.0571 -0.0857 pu değerlerinde reaktanslar elde edilir. Seri/paralel eşdeğerler hesaplanacak olursa, K noktasından görünen eşdeğer reaktans $\bar{x}_{eş} = 0.5576$ pu bulunur.

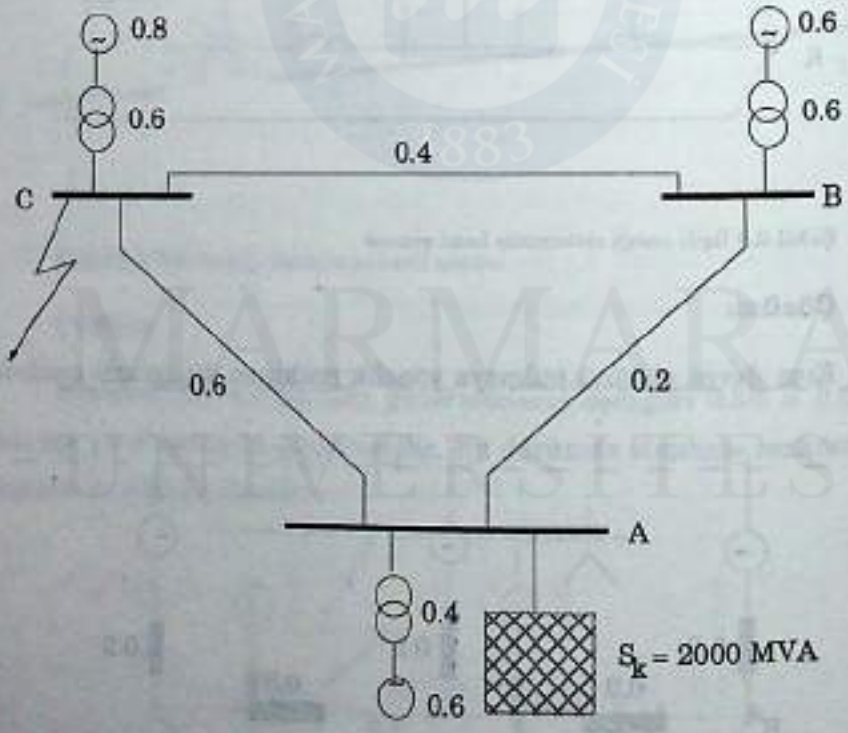
Kısa devre gücü ise

$$\bar{s}_k = 1/\bar{x}_{eş} = 1/0.5576 \equiv 1.8 \text{ pu}$$

olacaktır.

Problem 8.9

Şekil 8.9 daki enerji sisteminde verilen pu reaktanslar 100 MVA - 154 kV baz değerleri için verilmiştir. C barasındaki kısa devre gücünü hesaplayınız.

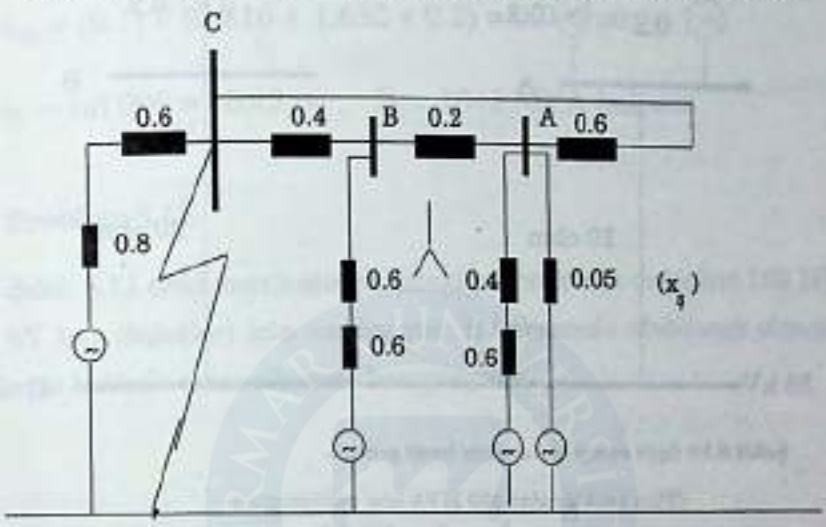


Şekil 8.9 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Sistemin doğru bileşen eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiştir.



Şebeke için $\bar{s}_k = 2000/100 = 20$ pu ve $\bar{x}_g = 1/20 = 0.05$ pu olacaktır.

(0.4 + 0.6) // (0.05) = 0.047 pu bulunur ve (0.6 + 0.6), (0.2), (0.047) pu reaktanslarının oluşturduğu üçgen göz yıldıza çevrilirse, yıldız kolun reaktansları 0.1658 - 0.0065 - 0.039 pu olarak hesaplanır. Gerekli seri/paralel eşdeğerlerin alınmasıyla, C barasındana gözüken eşdeğer reaktans $\bar{X}_{eş} = 0.268$ pu olarak bulunur. Kısa devre gücü ise

$$\bar{s}_k = 1/\bar{x}_{eş} = 1/0.268 = 3.731 \text{ pu}$$

$$S_k = 3.731 * 100 \cong 373 \text{ MVA.}$$

elde edilir.

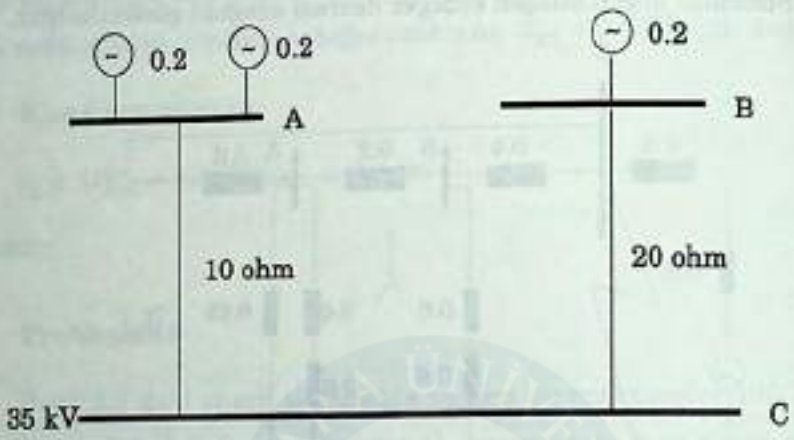
Problem 8.10

Şekil 8.10 daki enerji sisteminde

a) C barasındaki kısa devre gücünü bulunuz.

b) En büyük kısa devre gücü hangi barada oluşur? Değeri nedir?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Şekil 8.10 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

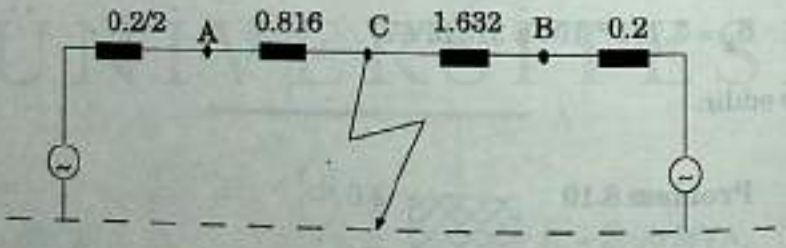
(Tüm reaktanslar 100 MVA için verilmiştir.)

Çözüm:

a) 10 ohm luk hattın pu reaktanası:

$$\bar{x}_h = 10 * \frac{100}{35^2} = 0.816 \text{ pu}$$

20 ohm luk hattınki ise 2 * 0.816 = 1.632 pu olacaktır.



$\bar{x}_{eş} = (0.1 + 0.816) // (1.632 + 0.2) = 0.61$ pu

$\bar{s}_k = 1/0.61 = 1.637$ pu

$S_k = 1.637 * 100 \cong 164$ MVA

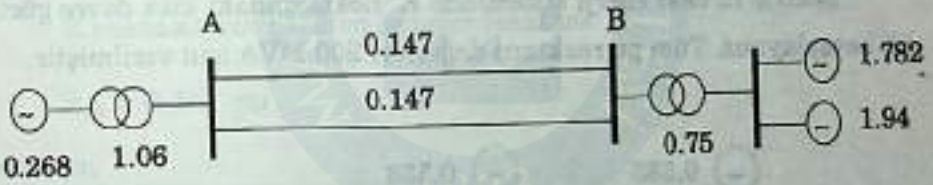
b) en büyük kısa devre gücü eşdeğer reaktansın en küçük olduğu A barasında oluşacaktır. A noktası için

$$\bar{x}_{eş} = (0.1) \,//\, (0.816 + 1.632 + 0.2) = 0.096 \text{ pu}$$

$$\bar{s}_k = 1/0.096 = 10.42 \text{ pu} ; \quad S_k = 1042 \text{ MVA bulunur.}$$

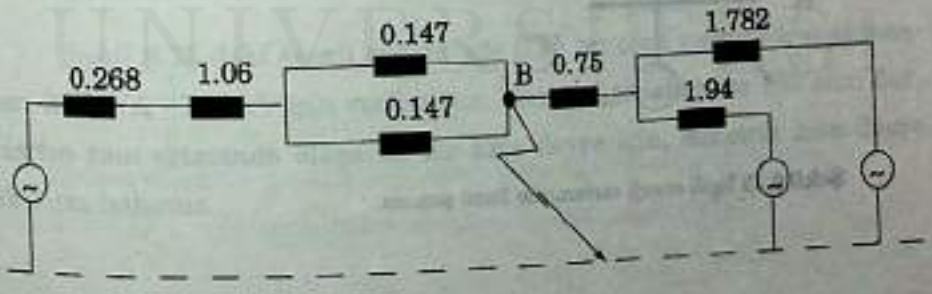
Problem 8.11

Şekil 8.11 deki enerji sistemindeki pu reaktans değerleri 100 MVA - 154 kV baz değerleri için verilmiştir. B barasında olabilecek simetrik kısa devre halinde arıza akımını hesaplayınız.



Şekil 8.11 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:



Yukarıdaki eşdeğer devreden, B noktasından görülen eşdeğer reaktans

$$\bar{x}_{eş} = (0.268 + 1.06 + 0.147/2) // [0.785 + (1.782 // 1.94)]$$

$$= 0.76 \text{ pu}$$

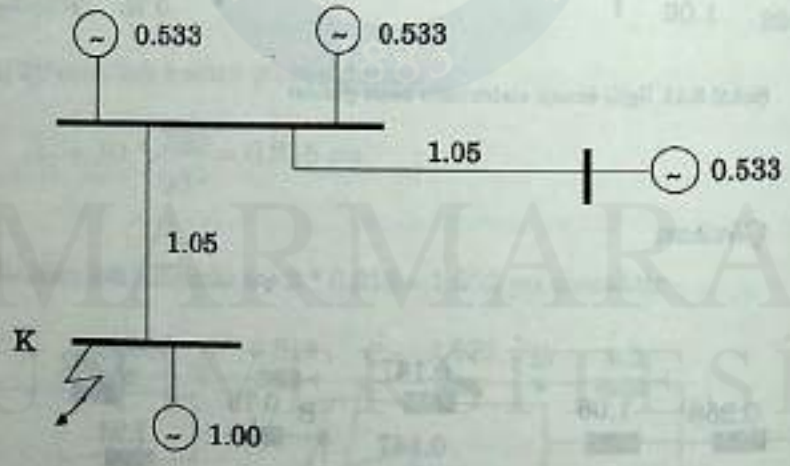
ve arıza akımı

$$\bar{i}_k = 1/0.76 = 1.312 \text{ pu}$$

bulunur. 100 MVA - 154 kV için $I_B = 374$ A olduğundan, $\bar{I}_k = 1.312 * 374 = 491$ A bulunur.

Problem 8.12

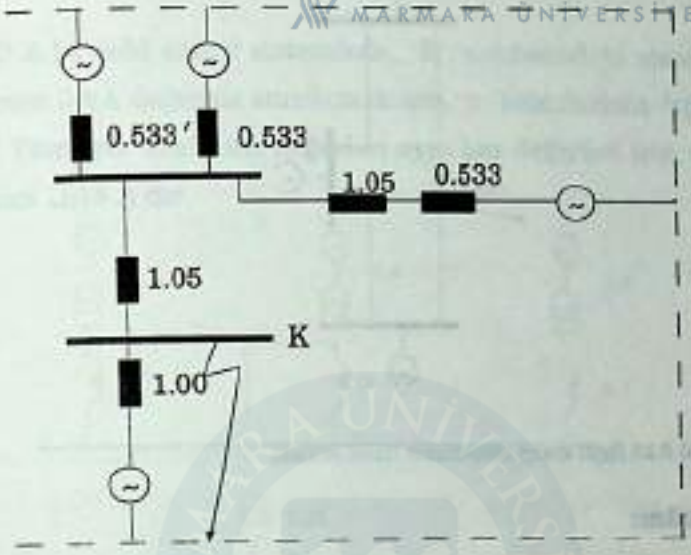
Şekil 8.12 deki enerji sisteminde K noktasındaki kısa devre gücünü hesaplayınız. Tüm pu reaktans değerleri 200 MVA için verilmiştir.



Şekil 8.12 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:



K noktasından görülen eşdeğer reaktans

$$\bar{x}_{eş} = 0.561 \text{ pu}$$

bulunur.

$$\bar{s}_k = 1/0.561 = 1.782 \text{ pu}$$

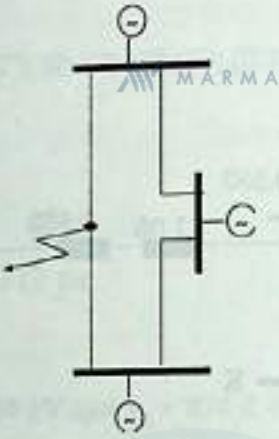
$$S_k = 1.782 * 200 \cong 356 \text{ MVA}$$

elde edilir.

Problem 8.13

Şekil 8.13 deki enerji sisteminde 0.75 pu olan generatör reaktansları 25 MVA - 154 kV için verilmiştir. Hat reaktansları ise 150 ohm dur. Hattın tam ortasında oluşacak bir kısa devre için, simetrik kısa devre akımını bulunuz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



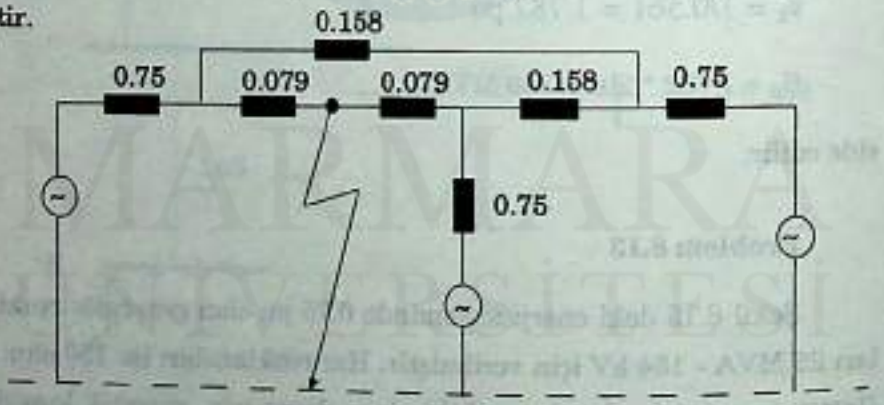
Şekil 8.13 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

Hatların reaktansı

$$\bar{x}_h = 150 * \frac{25}{154^2} = 0.158 \text{ pu}$$

olup sistemin reaktans (doğru bileşen) eşdeğer devresi aşağıda gösterilmiştir.



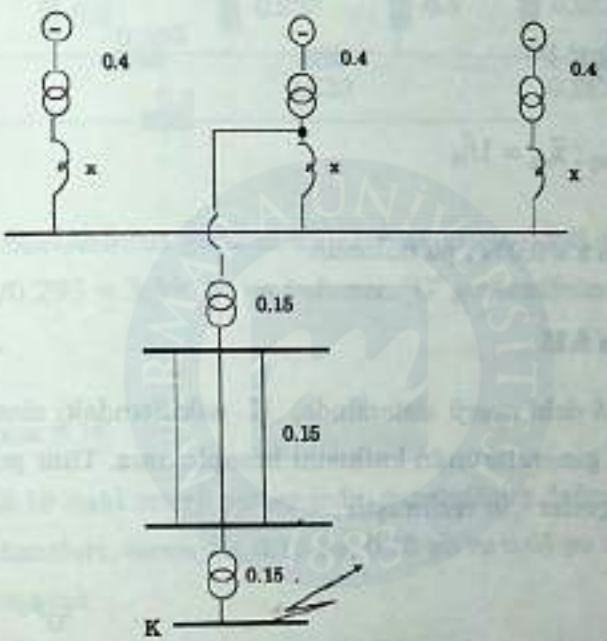
Arıza noktasından görünen eşdeğer reaktans, yıldız-üçgen dönüşümü ve uygun seri/paralel eşdeğerlerin hesaplanmasıyla $\bar{x}_{eş} = 0.2976$ pu olarak bulunur.

$\bar{i}_k = 1/0.2976 = 3.359$ pu, $I_B = 93$ A ve $I_k = 3.359 * 93 = 314$ A elde edilir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

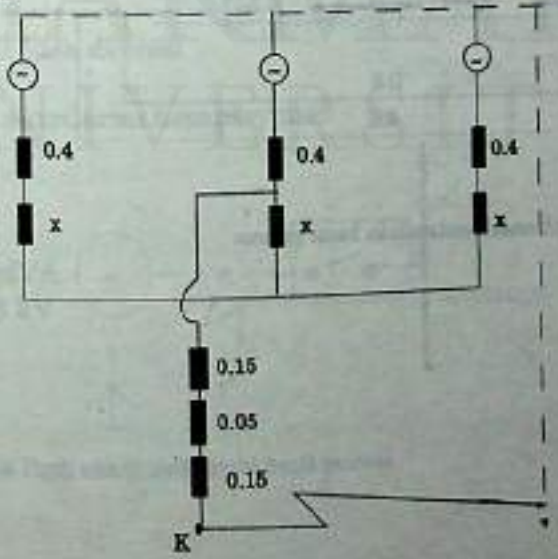
Problem 8.14

Şekil 8.14 deki enerji sisteminde, K noktasındaki simetrik kısa devre akımını 3 kA değerine sınırlamak için, x bobinlerinin değerleri ne olmalıdır? Tüm pu reaktans değerleri aynı baz değerleri için verilmişitir; baz akım 1575 A dir.



Şekil 8.14 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:



Yukarıdaki reaktans diyagramından

$$\bar{x}_{eş} = 0.35 + \frac{(0.2 + 1.5\,x)\,0.4}{0.6 + 1.5\,x}$$

bulunur. Sınırlanacak akım 3 kA olduğuna göre

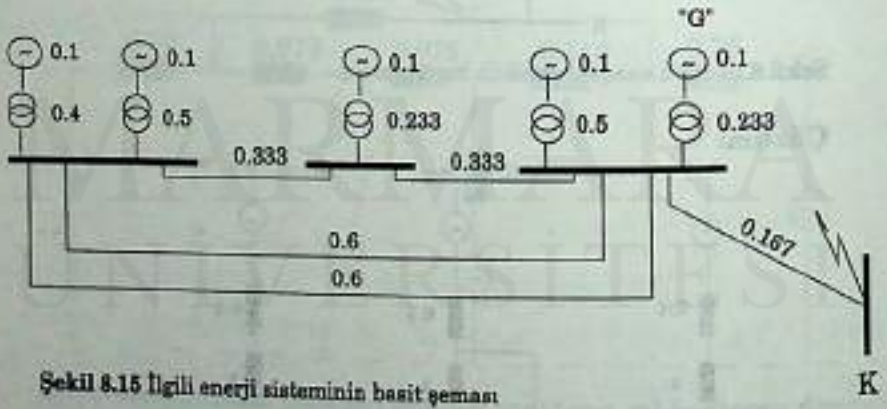
$$\bar{i}_k = \frac{3}{1.575}\ \text{pu}$$

$$\bar{i}_k = 1/\bar{x}_{eş}\ ;\ \bar{x}_{eş} = 1/\bar{i}_k$$

bağıntılarından x = 0.0741 pu bulunur.

Problem 8.15

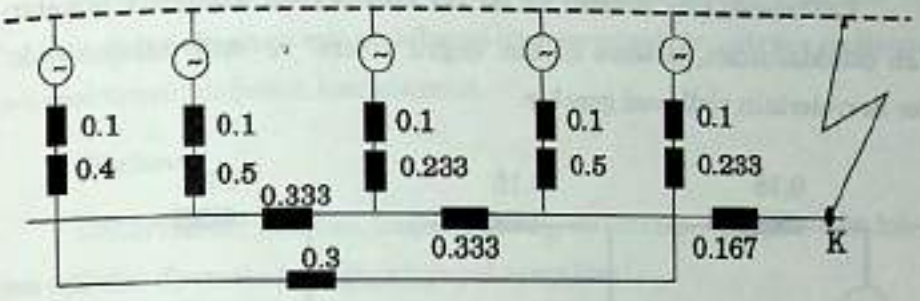
Şekil 8.15 deki enerji sisteminde, K noktasındaki simetrik arıza akımını ve G generatörünün katkısını hesaplayınız. Tüm pu reaktanslar aynı baz değerler için verilmiştir.



Şekil 8.15 İlgili enerji sisteminin basit şeması

Çözüm:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



Arıza noktasından görülen eşdeğer reaktans 0.293 pu değerindedir. $\bar{I}_k = 1/0.293 = 3.39$ pu bulunur. "G" generatörünün akımı 1.17 pu olacaktır.

Problem 8.16

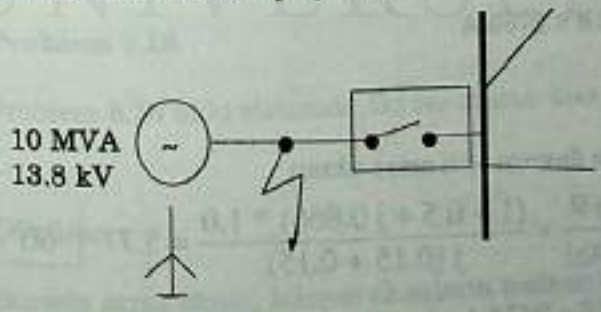
Şekil 8.16 daki enerji sisteminde, generatörün doğru, ters ve sıfır bileşen reaktansları, sırasıyla, 0.15 pu, 0.15 pu ve 0.05 pu dir. Generatör uçlarında oluşacak

a) Faz-toprak kısa devresi

b) Üç faz kısa devresi

c) İki faz kısa devresi

halinde arıza akımlarını hesaplayınız.

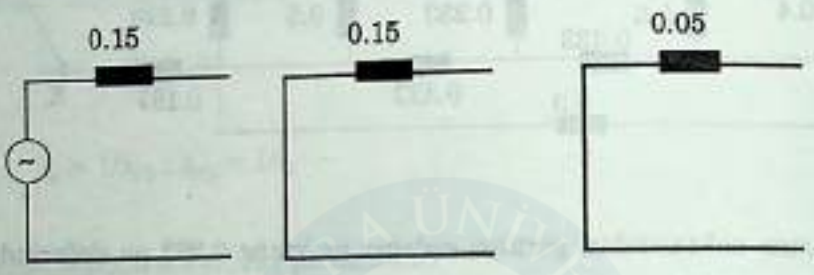


Şekil 8.16 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Faz-toprak kısa devresi ile iki faz kısa devresi asimetrik arızalardan olduklarından, sisteme ilişkin "doğru", "ters" ve "sıfır" bileşen eşdeğer devrelerinin çizilmesi gerekir.



a) Faz-toprak kısa devresi için arıza akımı

$$\bar{i}_k = \frac{3\,\bar{v}}{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_o} = \frac{3 * 1.0}{0.15 + 0.15 + 0.05} = 8.57 \text{ pu}$$

$$I_B = \frac{S_B}{\sqrt{3}\ U_B} = \frac{10 * 10^3}{\sqrt{3}\ 13.8} = 418 \text{ A}$$

$$I_k = 8.57 * 418 = 3585 \text{ A}$$

bulunur.

b) Üç faz kısa devresi için arıza akımı

$$\bar{i}_k = \frac{\bar{v}}{\bar{x}_1} = \frac{1.0}{0.15} = 6.67 \text{ pu}$$

$$I_k = 6.67 * 418 = 2788 \text{ A}$$

olacaktır.

c) İki faz kısa devresi için arıza akımı

$$\bar{i}_k = \frac{(1 - a^2)\,\bar{v}}{j\,(x_1 + x_2)} = \frac{(1 + 0.5 + j\,0.866) * 1.0}{j\,(0.15 + 0.15)} = 5.77 \angle -60^\circ \text{ pu}$$

$$I_k = 5.57 * 418 = 2412 \text{ A}$$

bulunur.

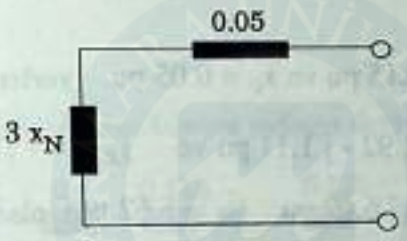
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 8.17

Problem 8.16 daki sistemde, faz-toprak kısa devresi akımının üç faz kısa devre akımına eşit olabilmesi için, generatörün nötrüne bağlanacak reaktansın değerini hesaplayınız.

Çözüm:

Generatörün nötrüne bağlanacak x_N reaktansı, yalnızca sıfır bileşen eşdeğer devresinde değişikliğe yol açacaktır.



Üç faz kısa devresi akımı 6.67 pu olduğuna göre

$$6.67 = \frac{3 * 1.0}{0.15 + 0.15 + 0.05 + 3x_N}$$

eşitliğinden $x_N = 0.0335$ pu bulunur.

$$\bar{x}_N = X_N * \frac{S_B}{U_B^2} ; 0.0335 = X_N * \frac{10}{13.8^2} ; X_N \equiv 0.64 \text{ ohm}$$

elde edilir.

Problem 8.18

Problem 8.16 daki sistemde, iki faz-toprak kısa devresi akımını bulunuz.

Çözüm:

Burada arıza akımı, bileşen akımların toplamı cinsinden

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\bar{I}_k = \bar{I}_1 + \bar{I}_2 + \bar{I}_o$$

olup,

$$\bar{I}_1 = \frac{\bar{V}}{j\bar{X}_1 + \dfrac{j\bar{X}_2 * j\bar{X}_o}{j\bar{X}_2 + j\bar{X}_o}} \; ; \quad \bar{I}_2 = \frac{-a^2 * \bar{V}}{j\bar{X}_1 + j\bar{X}_2 + \dfrac{j\bar{X}_1 * j\bar{X}_2}{j\bar{X}_o}} \; ;$$

$$\bar{I}_o = \frac{-a * \bar{V}}{j\bar{X}_1 + j\bar{X}_o + \dfrac{j\bar{X}_2\, j\bar{X}_o}{j\bar{X}_2}}$$

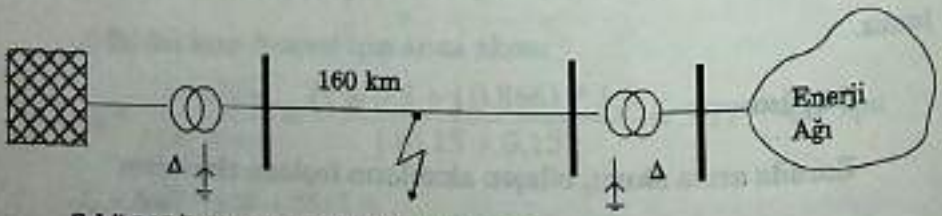
ifadelerinde $\bar{X}_1 = \bar{X}_2 = 0.15$ pu ve $\bar{X}_o = 0.05$ pu yerlerine konulursa $\bar{I}_1 = -j\,4.44$ pu , $\bar{I}_2 = 1.92 - j\,1.11$ pu ve $\bar{I}_o = -1.92 - j\,1.11$ bulunur. Buradan $\bar{I}_k = -j\,6.62$ pu , $(\bar{I}_k = 6.62$ pu) olacaktır.

$$I_k = 6.62 * 418 = 2767 \text{ A}$$

elde edilir.

Problem 8.19

Şekil 8.17 deki enerji sisteminde, iletim hattının tam ortasında başgösterecek faz-toprak kısa devresinde arıza akımını ve sağlam fazların gerilimlerini bulunuz. Hattın başındaki şebekenin kısa devre gücü 2500 MVA, hattın reaktansı 0.4 ohm/km ve sıfır bileşen reaktansı 0.8 ohm/km dir. Transformatörlerin reaktansları 0.2 pu olup 154 kV - 100 MVA baz değerleri çin verilmiştir.



Şekil 8.17 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Çözüm:

Ön şebekenin reaktansı

$$\bar{x}_{ş} = \frac{1}{(2500/100)} = 0.04 \text{ pu}$$

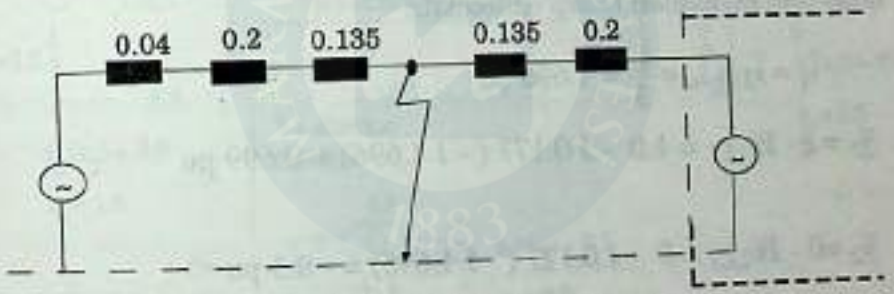
ve hattın reaktansı

$$\bar{x}_h = (0.4 * 160) * \frac{100}{154^2} = 0.27 \text{ pu}$$

$$\bar{x}_{ho} = 2 * 0.27 = 0.54 \text{ pu}$$

olarak bulunur.

Sisteme ilişkin doğru bileşen eşdeğer devresi

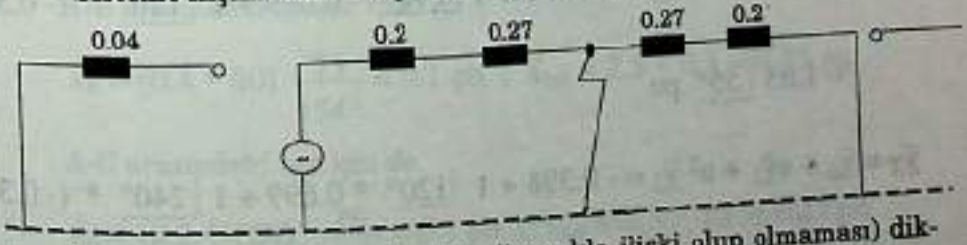


$$\bar{x}_1 = (0.04 + 0.2 + 0.135) \,//\, (0.135 + 0.2) = 0.177 \text{ pu}$$

doğru ve ters reaktans değerleri aynı olduğundan ters bileşen eşdeğer devresi de aynı olacaktır; ancak emk simgeleri burada yer almayacaktır.

$$\bar{x}_2 = \bar{x}_1 = 0.177 \text{ pu}$$

Sisteme ilişkin sıfır bileşen eşdeğer devresinde



toprakla olan bağlantıların durumu (toprakla ilişki olup olmaması) dikkate alınmaktadır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$\bar{x}_o = (0.2 + 0.27) / 2 = 0.235$ pu

Arıza akımı ise

$$\bar{i}_k = \frac{3 * \bar{v}}{\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_o} = \frac{3 * 1.0}{0.177 + 0.177 + 0.235} = 5.09 \text{ pu}$$

154 kV - 100 MVA için baz akım $I_B = 375$ A olacağından

$I_k = 5.09 * 375 = 1910$ A

elde edilir.

Arızanın R fazı ile toprak arasında oluştuğu varsayılırsa, S ve T fazlarının gerilimleri hesap edilecektir.

$$\bar{i}_1 = \bar{i}_2 = \bar{i}_o = \frac{\bar{i}_k}{3} = 1.696 \text{ pu}$$

$\bar{v}_1 = \underline{e} - J\bar{x}_1\bar{i}_1 = 1.0 - J\,0.177\,(-J\,1.696) = 0.699$ pu

$\bar{v}_2 = 0 - J\bar{x}_2\bar{i}_2 = 0 - J\,0.177\,(-J\,1.696) = -0.3$ pu

$\bar{v}_o = 0 - J\bar{x}_o\bar{i}_o = 0 - J\,0.235\,(-J\,1.696) = -0.398$ pu

$\bar{v}_R = \bar{v}_1 + \bar{v}_2 + \bar{v}_o = 0$ (arızalı fazın gerilimi)

$\bar{v}_S = \bar{v}_o + a^2\bar{v}_1 + a\,\bar{v}_2 = -0.398 + 1\,\angle 240^\circ * 0.699 + 1\,\angle 120^\circ * (-0.3)$

$= 1.05\,\angle 55^\circ$ pu

$\bar{v}_T = \bar{v}_o + a\bar{v}_1 + a^2\,\bar{v}_2 = -0.398 + 1\,\angle 120^\circ * 0.699 + 1\,\angle 240^\circ * (-0.3)$

$= 1.05\,\angle -55^\circ$ pu

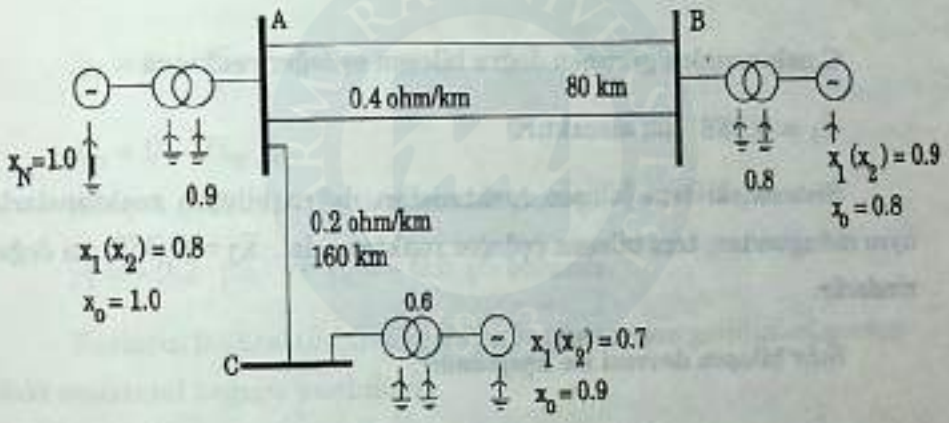
$$U_S = U_T = 1.05 * 154 = 161.7 \text{ kV}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

bulunur.

Problem 8.20

Şekil 8.18 deki enerji sisteminde, C barasında oluşacak bir faz-toprak kısa devresinde arıza akımını ve sağlam fazların (S ve T) gerilimlerini hesaplayınız. Tüm pu reaktanslar 75 MVA - 154 kV baz değerleri için verilmiştir. Hatların sıfır bileşen reaktansı doğru bileşen reaktansının 2.5 katıdır.



Şekil 8.18 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

Çözüm:

A-B arasındaki hatlar için

$$\bar{x}_h = (0.4 * 80)\ \frac{75}{154^2} = 0.1 \text{ pu} \ ; \ \bar{x}_{ho} = 2.5 * 0.1 = 0.25 \text{ pu}$$

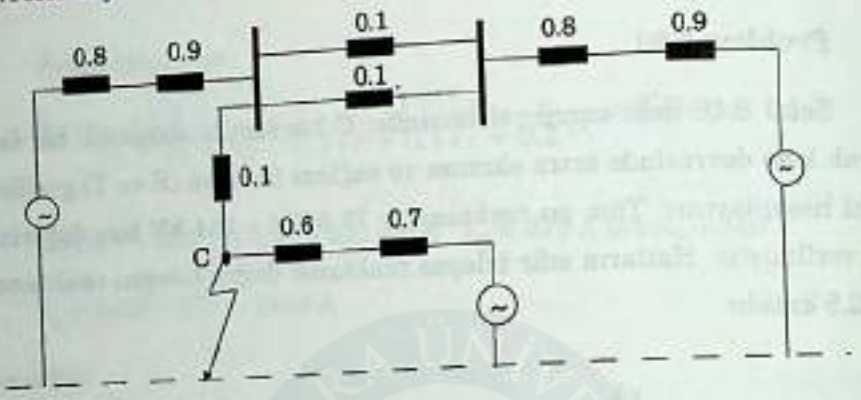
A-C arasındaki hat için de

$$\bar{x}_h = (0.2 * 160)\ \frac{75}{154^2} = 0.1 \text{ pu} \ ; \ \bar{x}_{ho} = 2.5 * 0.1 = 0.25 \text{ pu}$$

hesaplanır.

Faz-toprak kısa devresi için; doğru, ters ve sıfır bileşen eşdeğer devrelerin çizilmesi gerekecektir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

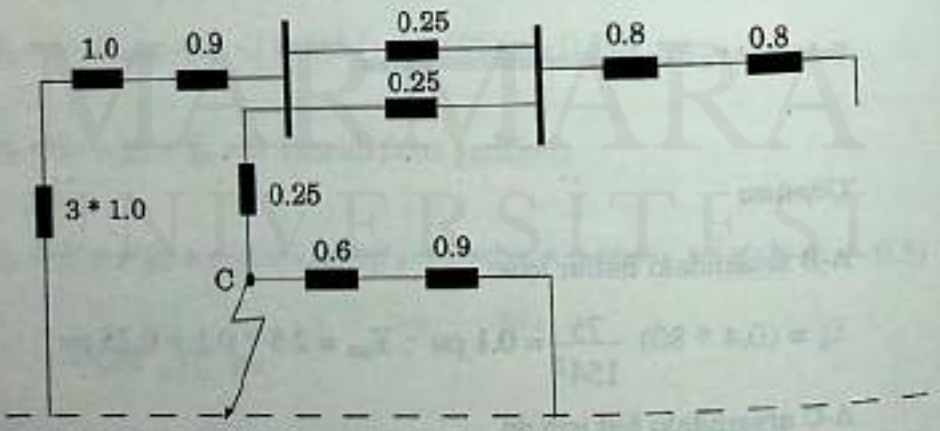


C noktasından görünen doğru bileşen eşdeğer reaktans

$\bar{x}_1 = 0.388$ pu olacaktır.

Sistemdeki ters bileşen reaktansları doğru bileşen reaktanslarla aynı olduğundan, ters bileşen eşdeğer reaktans da $\bar{x}_2 = 0.388$ pu değerindedir.

Sıfır bileşen devresi ise aşağıdadır:



C noktasından görünen sıfır bileşen eşdeğer reaktans $\bar{x}_0 = 1.161$ pu bulunur. Arıza akımı ise

$$\bar{i}_k = \frac{3 * \bar{v}}{J(\bar{x}_1 + \bar{x}_2 + \bar{x}_o)} = \frac{3.0}{J(0.388 + 0.388 + 1.161)} = -J\,1.548 \text{ pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$I_B = \frac{75 * 10^3}{\sqrt{3}\ 154} = 281.5 \text{ A} ; I_k = 1.548 * 281.5 \cong 463 \text{ A}$$

olarak hesap edilir.

Arızasız fazların (S ve T) gerilimlerini bulmak için, önce bileşen akımları bulunur.

$$\bar{i}_1 = \bar{i}_2 = \bar{i}_o = \bar{i}_k/3 = 1.548/3 = 0.516 \text{ pu}$$

$$\underline{\bar{v}_1} = \underline{\bar{e}} - J\bar{x}_1\,\underline{\bar{i}_1}$$

$$\underline{\bar{v}_2} = 0 - J\bar{x}_2\,\underline{\bar{i}_2}$$

$$\underline{\bar{v}_o} = 0 - J\bar{x}_o\,\underline{\bar{i}_o}$$

Bileşen gerilimleri hesaplanacak olursa, $\bar{v}_1 = 0.8$ pu,

$\bar{v}_2 = -0.2$ pu, ve $\bar{v}_o = -0.6$ pu bulunur.

Fazların fiziksel (orijinal) gerilimleriyle bileşen gerilimleri arasındaki matrisyel bağıntı yardımıyla

$$\begin{bmatrix} \bar{v}_R \\ \bar{v}_S \\ \bar{v}_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{v}_o \\ \bar{v}_1 \\ \bar{v}_2 \end{bmatrix}$$

$\bar{v}_R = 0$; $\bar{v}_S = 1.248\ \angle -136°$ pu ; $\bar{v}_T = 1.248\ \angle 136°$ pu

elde edilir. Faz gerilimlerine ilişkin baz gerilim

$$V_B = U_B/\sqrt{3} = 154/\sqrt{3} = 88.91 \text{ kV/faz}$$

ve V_S ile V_T gerilimleri

$$V_S = V_T = 1.248 * 88.91 = 111 \text{ kV/faz}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 8.21

İki kutuplu, 50 Hz, 11 kV, 100 MW anma değerlerine sahip bir senkron generatörün güç katsayısı 0.85 dir. Rotorun atalet momenti 10000 kg.m^2 dir. Geçici işletmede göz önüne alınacak olan H ve M değerlerini hesaplayınız.

Çözüm:

Rotorun kinetik enerjisi (KE)

$$KE = \frac{1}{2} J\omega^2$$

şeklindedir. ω mekanik açısal hızdır. 2p = 2 olduğu için rotor hızı n = 3000 dev/dak dır.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2\pi * 3000}{60} = 314 \text{ rad/s}$$

$$KE = \frac{1}{2} (10000) (314)^2 * 10^{-6} = 493 \text{ MJ}$$

$$H = \frac{KE}{S} \; ; \; S = P / \cos\varphi = 100/0.85 = 117.65 \text{ MVA}$$

$$= \frac{493}{117.65} = 4.19 \text{ MJ/MVA}$$

$$M = \frac{KE}{180f}$$

$$= \frac{493}{180 * 50} = 0.0547 \text{ MJ.s/elk.derece}$$

bulunur.

Problem 8.22

Aşağıda karakteristik değerleri verilen iki turbogeneratör aynı ba-

raya bağlıdır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

1) Makine: 4 kutuplu, 50 Hz, 60 MW, cosφ = 0.8, atalet momenti 30000 kg.m^2

2. Makine: 2 kutuplu, 50 Hz, 80 MW, cosφ = 0.85, atalet momenti 10000 kg.m^2

200 MVA değerini baz alarak, geçici işletmede kullanılmak üzere, iki makineyi karakterize eden M değerini bulunuz.

Çözüm:

1. makine için;

2p = 4 olduğu için n = 1500 dev/dak dır.

$$\omega_1 = \frac{2\pi * 1500}{60} = 157 \text{ rad/s}$$

$$KE_1 = \frac{1}{2}(30000)(157)^2 = 369.74 \text{ MJ}$$

$$H_1 = \frac{369.74}{200} = 1.85 \text{ MJ/MVA}$$

2. makine için;

2p = 2 olduğu için n = 3000 dev/dak dır.

$$\omega_2 = \frac{2\pi * 1500}{60} = 314 \text{ rad/s}$$

$$KE_2 = \frac{1}{2}(10000)(314)^2 = 493 \text{ MJ}$$

$$H_1 = \frac{493}{200} = 2.465 \text{ MJ/MVA}$$

$$H = H_1 + H_2 = 1.85 + 2.465 = 4.315 \text{ MJ/MVA}$$

bulunur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 8.23

İki ayrı santralın bir bölgeyi beslemesi söz konusudur. Santrallardan birisinde "80 MVA, H_1 = 7 MJ/MVA" anma değerleri olan 4 generatör bulunmaktadır. İkinci santralda ise, 3 adet "200 MVA, H_2 = 3 MJ/MVA" anma değerli generatör bulunmaktadır. Geçici işletmede kullanılacak H değerini bulunuz. (100 MVA baz değer alınacaktır.)

Çözüm:

Birinci santraldaki generatörlerin her birisi 80 MVA için tanımlanmıştır. O halde

$$\frac{KE_1}{80} = 7 \quad ; \quad KE_1 = 560 \text{ MJ}$$

100 MVA için ise

$$H_1 = \frac{560}{100} = 5.6 \text{ MJ/MVA}$$

bulunur. Benzer şekilde ikinci santraldaki generatörler için

$$\frac{KE_2}{200} = 3 \quad ; \quad KE_2 = 600 \text{ MJ}$$

100 MVA için ise

$$H_2 = \frac{600}{100} = 6 \text{ MJ/MVA}$$

bulunur. Eşdeğer H değeri

$$H = 4H_1 + 3H_2 = 4 * 5.6 + 3 * 6 = 40.4 \text{ MJ/MVA}$$

elde edilir.

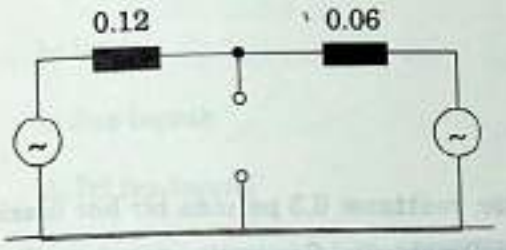
Problem 8.24

Doğru ve ters bileşen reaktansları 0.18 pu ve sıfır bileşen reaktansı 0.36 pu olan bir iletim hattının (1/3)ℓ noktasında faz-toprak arızası oluşmaktadır. Hattın her iki ucundaki gerilimler 1.0 pu olup baz güç 100 MVA dır. Arıza süresince iletilecek (geçici) gücün maksimum değerini bulunuz.

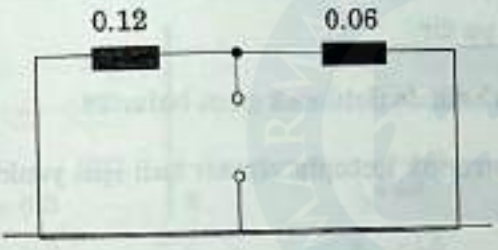
Çözüm:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Asimetrik arıza söz konusu olduğu için, arıza noktasından görülen doğru, ters ve sıfır bileşen reaktanslar hesap edilmelidir.



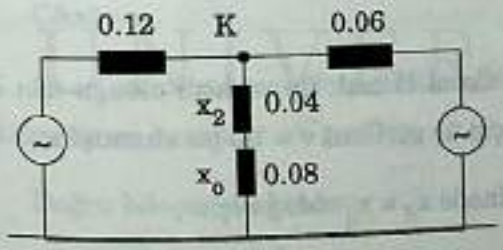
$\bar{x}_1 = 0.12 \,//\, 0.06 = 0.04$ pu



$\bar{x}_2 = 0.12 \,//\, 0.06 = 0.04$ pu



$\bar{x}_0 = 0.24 \,//\, 0.12 = 0.08$ pu



$$x_{12} = 0.12 + 0.06 + \frac{(0.12)\,(0.06)}{0.04 + 0.08} = 0.24 \text{ pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\bar{p}_{max} = \frac{1.0 * 1.0}{0.24} = 4.17 \text{ pu}$$

$$P_{max} = 4.17 * 100 = 417 \text{ MW}$$

bulunur.

Problem 8.25

Çıkık kutuplu bir generatör, reaktansı 0.3 pu olan bir hat üzerinden büyük güçlü bir şebekeyi beslemektedir. Generatör, anma gerilimi-nin 1.4 katını verecek şekilde uyarılmıştır. Boyuna eksen reaktansı 1.5 pu ve enine eksen reaktansı 1.0 pu dir.

a) Yük açısının 30° olması halinde iletilecek gücü bulunuz.

b) a-şıkkını, makinenin yuvarlak kutuplu olması hali için yeniden hesaplayınız.

Çözüm:

a) Çıkış kutuplu makina için iletilecek güç

$$P = \frac{EV}{x_d}\sin\delta + \frac{V^2}{2}\left(\frac{1}{x_q} - \frac{1}{x_d}\right)\sin 2\delta$$

$$= \frac{1.4 * 1.0}{1.5 + 0.3}\sin 30° + \frac{1.0^2}{2}\left(\frac{1}{1 + 0.3} - \frac{1}{1.5 + 0.3}\right)\sin 60°$$

$$= 0.48 \text{ pu}$$

bulunur. Generatörün uyarma akımı E emk ile orantılı olduğu için $\bar{e}$ = 1.4 pu; ve sonsuz güçlü şebeke için üç gerilimi $\bar{v}$ = 1.0 pu alınmıştır.

b) Yuvarlak kutuplu makinede $x_d = x_q$ olduğu için

$$P = \frac{EV}{x_d}\sin\delta$$

$$= \frac{1.0}{1.5 + 0.3}\sin 30° = 0.39 \text{ pu}$$

hesaplanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 8.26

Şekil 8.19 daki enerji sisteminde K noktasında oluşacak

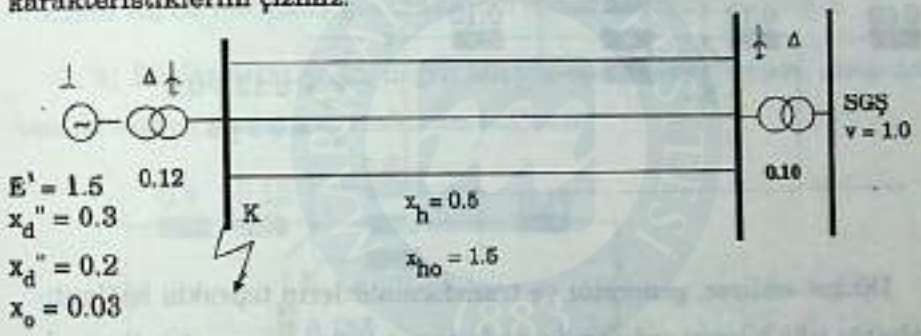
a) Üç faz

b) İki faz

c) Faz-toprak

d) İki faz-toprak

kısa devreleri için, geçici işletmede göz önüne alınması gereken güç-açı karakteristiklerini çiziniz.



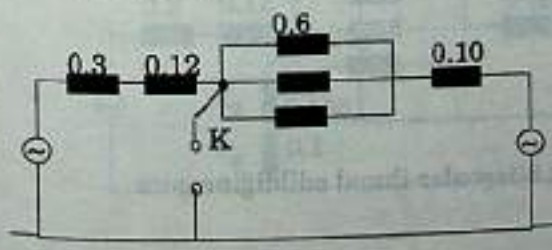
Şekil 8. 19 İlgili enerji sisteminin basit şeması.

(Tüm büyüklükler pu cinsinden verilmiştir.)

Çözüm:

Önce arıza noktasından görülen doğru-ters-sıfır bileşen (eşdeğer) reaktanslarını hesaplamak gerekir.

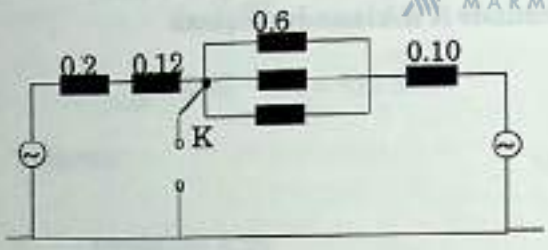
Doğru bileşen reaktansı:



$\bar{x}_1 = 0.42 // 0.3$
$= 0.175$ pu

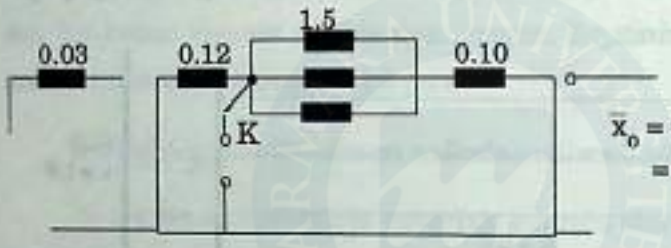
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Ters bileşen reaktansı:



$\bar{x}_2 = 0.42 // 0.3$
$= 0.175$ pu

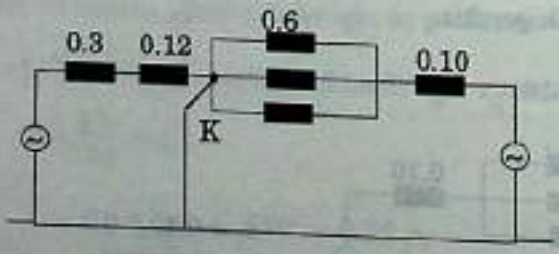
Sıfır bileşen reaktansı:



$\bar{x}_0 = 0.12 // 0.6$
$= 0.1$ pu

Dikkat edilirse, generatör ve transformatörlerin toprakla bağlantısı yalnızca sıfır bileşen eşdeğer devresinde göz önüne alınmıştır. Devamlı kısa devre incelemesi yapılmadığı için, doğru bileşen devresinde generatör için x_d değil, x'_d kullanılmıştır. Aynı nedenle generatör için E değil, E' emk değeri alınacaktır. Artık her arıza için x_{12} geçiş reaktansları hesap edilebilir.

a) Üç faz arızasında, doğru bileşen eşdeğer devresinde arıza noktası ile toprak arasına bir kısa devre iletkeni bağlanır.



x_{12} geçiş reaktansı, omik bileşenler ihmal edildiğine göre

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$x_{12} = x_a + x_b + \frac{x_a \cdot x_b}{x_c}$$

şeklinde verilebilir.

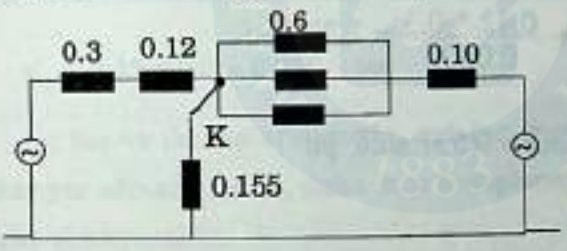
$$\bar{x}_{12} = (0.3 + 0.12) + (0.6/3 + 0.10) + \frac{0.42 * 0.3}{0} = \infty$$

O halde

$$\bar{p}_{12} = \frac{1.5 * 1.0}{\infty} = \sin\delta = 0^{\cdot}$$

bulunur ki, bu durumda güç iletiminin olmadığı anlaşılmaktadır.

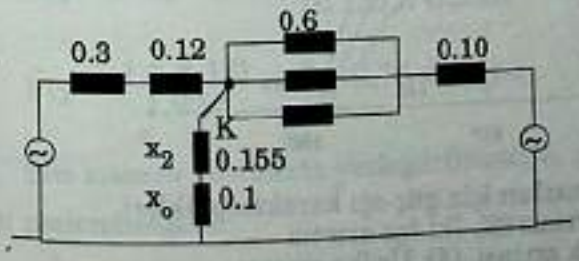
b) İki faz arızasında, doğru bileşen eşdeğer devresinde, arıza noktası ile toprak arasına x_2 reaktansı bağlanır.



$$\bar{x}_{12} = 0.42 + 0.3 + \frac{0.42 * 0.3}{0.155} = 1.533 \text{ pu}$$

$$\bar{p}_{12} = \frac{1.5 * 1.0}{1.533} \sin\delta = 0.978 \sin\delta \text{ pu}$$

c) Faz toprak arızasında, doğru bileşen eşdeğer devresinde, arıza noktası ile toprak arasına $(x_2 + x_o)$ reaktansı bağlanır.

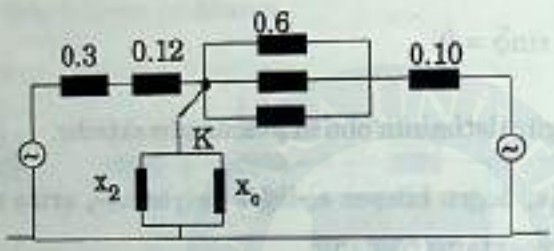


$$\bar{x}_{12} = 0.42 + 0.3 + \frac{0.42 * 0.3}{0.255} = 1.214 \text{ pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\bar{P}_{12} = \frac{1.5 * 1.0}{1.214} \sin\delta = 1.235 \sin\delta \text{ pu}$$

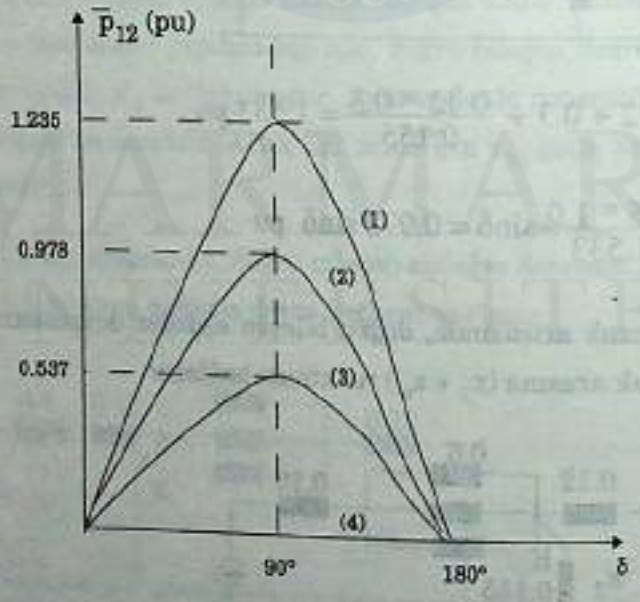
d) İki faz-toprak arızasında, doğru bileşen eşdeğer devresinde, arıza noktası ile toprak arasına ($x_2 // x_o$) reaktansı bağlanır.



$x_2 // x_o = 0.0608$ pu

$$\bar{x}_{12} = 0.42 + 0.3 + \frac{0.42 * 0.3}{0.0608} = 2.792 \text{ pu}$$

$$\bar{P}_{12} = \frac{1.5 * 1.0}{2.792} \sin\delta = 0.537 \sin\delta \text{ pu}$$



Çeşitli arıza durumları için güç-açı karakteristikleri.
(1): faz-toprak arızası (2): İki faz arızası
(3): İki faz-toprak arızası (4): Üç faz arızası

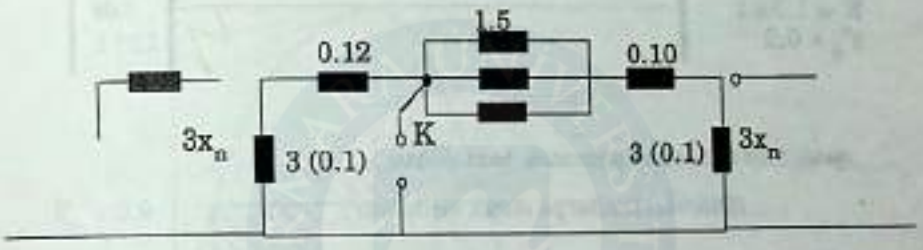
Problem 8.27

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Problem 8.26'daki enerji sisteminde, transformatörlerin yıldız noktalarının 0.1 pu değerindeki bobinler üzerinden topraklanması halinde a-b-c-d şıklarını yeniden çözünüz.

Çözüm:

Yıldız noktalarındaki bobinler, sistemin yalnızca sıfır bileşen eşdeğer devresi üzerinde etkili olacaktır.



$x'_0 = 0.42 \,//\, 0.9 = 0.286$ pu

Üç faz ve iki faz arızasında, eşdeğer devrelerde sıfır bileşen reaktanslar yer almadığından, daha önce hesaplanan güç değerlerinde bir değişiklik olmayacaktır.

Faz-toprak arızasında:

$$\bar{x}'_{12} = 0.42 + 0.3 + \frac{0.42 * 0.3}{(0.155 + 0.286)} = 1.006 \text{ pu}$$

$$\bar{p}'_{12} = \frac{1.5 * 1.0}{1.006} \sin\delta = 1.491 \sin\delta \text{ pu}$$

İki faz-toprak arızasında:

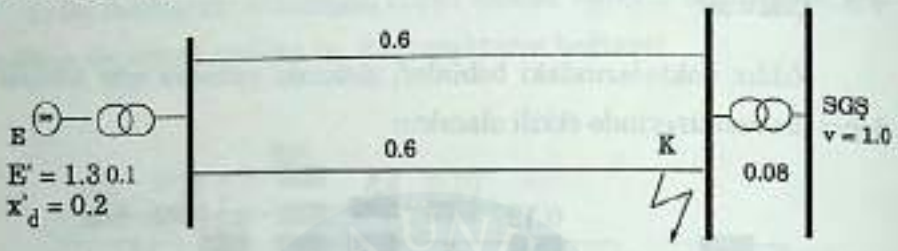
$$\bar{x}'_{12} = 0.42 + 0.3 + \frac{0.42 * 0.3}{(0.155 \,//\, 0.286)} = 1.974 \text{ pu}$$

$$\bar{p}'_{12} = \frac{1.5 * 1.0}{1.974} \sin\delta = 0.76 \sin\delta \text{ pu}$$

Söz konusu bobinlerin yerleştirilmesiyle, güç değerlerinde artış olduğu gözlenmektedir.

Problem 8.28

Şekil 8.20 de verilen enerji sisteminde, K noktasında üç fazlı arıza oluşması halinde, kritik temizleme açısını bulunuz. (Arızanın ardından kesiciler arızalı hattı devre dışına almaktadır.) Normal işletmede iletilen güç ise 0.9 pu değerindedir.



Şekil 8.20 İlgili enerji sisteminin basit şeması

(Tüm reaktanslar pu olarak verilmiştir.)

Çözüm:

Kararlılık bozulmaksızın, sisteme ilişkin kritik temizleme açısını (δ_c) hesaplamak için "Eşit Alan Kriteri"nin kullanılması gerekir.

Önce normal (arızasız) işletmedeki güç açısı hesaplanır.

$$\bar{x}_{12} = 0.2 + 0.1 + 0.6/2 + 0.08 = 0.68 \text{ pu}$$

$$\bar{p}_{12} = \frac{1.3 * 1.0}{0.68} \sin\delta_o = 0.9 \; ; \quad \delta_o = 0.47 \text{ rad}$$

$$= 28°$$

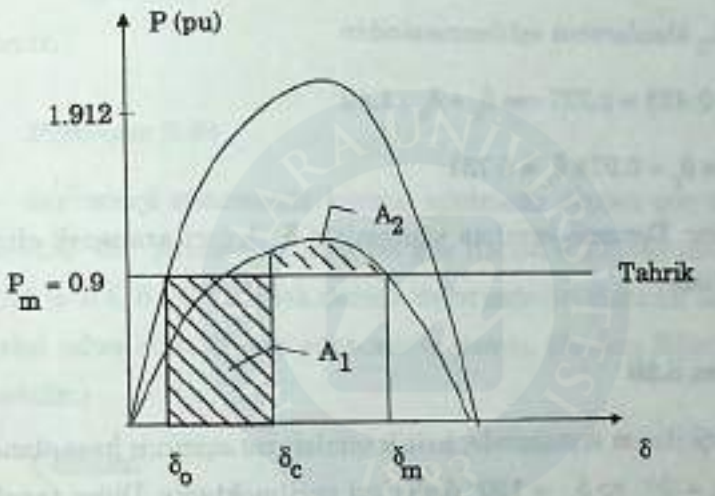
Ardından arıza sırasında iletilecek (geçici) güç ifadesi elde edilir. Üç faz arızasında iletilecek güç değeri, bu topoloji için sıfırdır (bkz: Problem 8.26 ve Problem 8.27).

Son olarak arıza sonrası iletilecek güç ifadesi elde edilir. Arıza sonrası tek devre iletim hattı olduğundan

$$\bar{x}_{12} = 0.2 + 0.1 + 0.6 + 0.08 = 0.98 \text{ pu}$$

$$\bar{P}_{12} = \frac{1.3 * 1.0}{0.98} \sin\delta = 1.327 \sin\delta \text{ pu}$$

Artık güç-açı karakteristikleri ortak eksen takımında çizilebilir:



δ_m açısı ise, tahrik gücünün aynı kaldığı varsayımı ile

$$\delta_m = 180° - \sin^{-1}\frac{0.9}{1.327} = 137.3° = 2.395 \text{ rad}$$

bulunur. Eşit Alan Kriteri'nin tanımından, kararlılık koşulu tarah A_1 ve A_2 alanlarının eşitliğidir.

$$A_1 = P_m(\delta_c - \delta_o) \; ; \; P_m = 0.9 \text{ pu}, \; \delta_o = 28° = 0.47 \text{ rad}$$

$$= 0.9(\delta_c - 0.47) = 0.9\,\delta_c - 0.423$$

$$A_2 = \int_{\delta_c}^{\delta_m} (1.327 \sin\delta - 0.9)\, d\delta$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$= -1.327 \cos\delta - \delta \Big|_{\delta_c}^{137.3^\circ}$$

$$= -1.327 (\cos 137.3^\circ - \cos\delta_c) - (2.395 - \delta_c)$$

$$= 1.327 \cos\delta_c + \delta_c - 1.42$$

A_1 ve A_2 alanlarının eşitlenmesinden

$$0.9\,\delta_c - 0.423 = 1.327 \cos\delta_c + \delta_c - 1.42$$

veya $\cos\delta_c + 0.975\,\delta_c = 0.751$

eşitliği bulunur. Deneme-yanılma yöntemiyle δ_c değeri aranacak olursa, $\delta_c = 46^\circ$ belirlenir.

Problem 8.29

Bir enerji iletim sisteminde, kritik temizleme açısının hesaplanması sırasında $\delta_o = 30^\circ$ ve $\delta_m = 130^\circ$ değerleri verilmektedir. Diğer taraftan arıza öncesi iletilen güç 1.0 pu, arıza sırasında iletilen güç 0.5 pu ve arıza sonrasında ise 1.5 pu öngörülmektedir. İletim sistemine ilişkin kritik temizleme açısını bulunuz.

Çözüm:

Kritik temizleme açısı, eşit alan kriteri yardımıyla

$$\cos\delta_c = \frac{P_1(\delta_m - \delta_o) - P_2 \cos\delta_o + P_3 \cos\delta_m}{P_3 - P_2}$$

şeklinde formüle edilebilir.

Burada $\bar{P}_1 = 1.0$ pu, $\bar{P}_2 = 0.5$ pu, $\bar{P}_3 = 1.5$ pu olup

$\delta_o = 30^\circ = 0.523$ rad

$$\delta_m = 130° = 2.267 \text{ rad}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

değerleri yukarıda yerlerine konursa

$$\cos\delta_c = \frac{1.0\,(2.267 - 0.523) - 0.5\cos 30° + 1.5\cos 130°}{1.5 - 0.5}$$

$$= 0.347$$

$$\delta_c = 69.7°$$

bulunur.

Problem 8.30

Bir enerji sisteminde normal işletmede iletilen güç 0.9 pu ve güç açısı 21.6° dir. Arıza sırasında ise güç ifadesi 0.88 sinδ olarak belirleniyor. M = 2.8 2 10^{-4} s^2/elek.derece değerindedir. Sisteme ilişkin salınım eğrisini adım-adım hesap yöntemiyle çiziniz. (Zaman dilimi Δt = 0.05 s alınabilir.)

Çözüm:

Adım-adım hesaplama yönteminde, salınım eğrisi şu şekilde çizdirilebilir:

$$P_{a(n-1)} = P_i - P_m \sin\delta_{n-1}$$

$$\Delta\delta_n = \Delta\delta_{n-1} + \frac{(\Delta t)^2}{M} P_{a(n-1)}$$

$$\delta_n = \delta_{n-1} + \Delta\delta_n$$

P_a ivmelendirme gücü, arızadan hemen önce $P_a(0-) = 0$ dır. Arızadan hemen sonra ise $P_a(0+)$ olacağından ortalama değer olarak

$$P_a = \frac{P_{a(0-)} + P_{a(0+)}}{2} = \frac{P_{a(0+)}}{2}$$

kullanılabilir. Verilenler yardımıyla

$P_{a(0+)} = 0.9 - 0.88 \sin 21.6° = 0.576$ pu

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$P_a = \frac{0.576}{2} = 0.288 \text{ pu}$$

$\Delta t = 0.05$ s zaman aralığı için

$$\frac{(\Delta t)^2}{M} = 8.93 \text{ elk. der.}$$

$$\frac{(\Delta t)^2}{M} P_a = 8.93 * 0.288 = 2.572$$

$\Delta\delta_n = 0 + 2.572 = 2.572°$

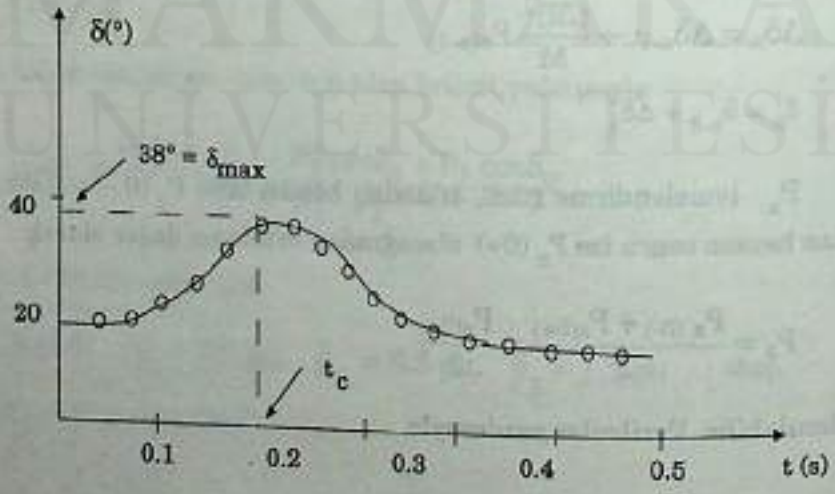
$\delta_n = \delta_o + \Delta\delta_n = 21.6° + 2.57° = 24.17°$

$P_a = 0.9 - 0.88 \sin 24.17° = 0.54$ pu

$$\frac{(\Delta t)^2}{M} P_a = 8.93 * 0.54 = 4.822$$

$\Delta\delta_n = 2.57° + 4.82 = 7.39°$

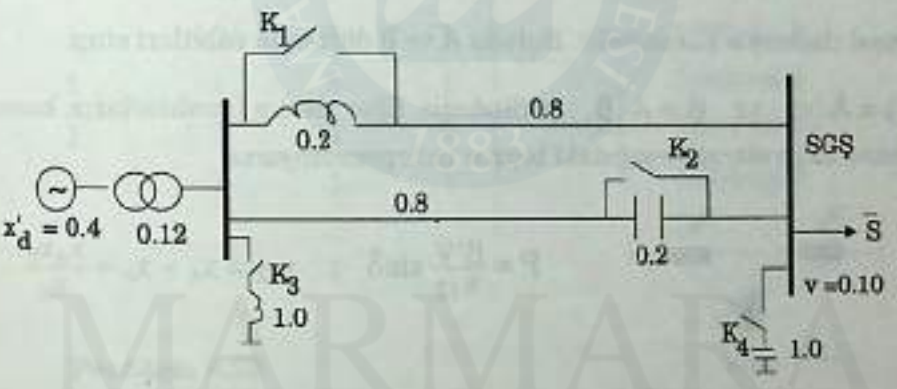
şeklinde hesaplar devam eder. Böylece $\delta = f(t)$ eğrisi çizilebilir.



$\delta = f(t)$ eğrisi, azalma gösterdiği için, sistem kararlıdır. δ'nin maksimum değeri 38° dir. Dolayısıyla kritik temizleme süresi 0.2 s civarında seçilmelidir. Salınım eğrisinin çizilmesi sonucu, eşit alan kriterini uygulamaya gerek kalmaksızın "kritik temizleme açısı" ve "temizleme süresi" bulunabilir. Ayrıca rotor açısının zamana bağlı değişimi elde edildiğinden, sistemin kararlılık analizi daha sağlıklı olarak gerçekleştirilebilir.

Problem 8.31

Şekil 8.21 deki enerji sisteminde, hat sonundan çekilen güç 0.8 + j0.6 pu değerindedir. Şekilde gösterilen dört anahtarın konumlarına bağlı olarak, geçici işlemede iletilecek güç miktarlarını yük açısına bağlı olarak hesaplayınız.



Şekil 8.21 İlgili enerji sisteminin basit şeması

(Tüm değerler pu cinsinden verilmiştir. başlangıçta güçün çekildiği anda tüm anahtarlar açık konumda olup, generatörün uyarma akımının sabit tutulduğu varsayılmaktadır.)

Çözüm:

Önce makinenin E' geçici emk değeri hesaplanmalıdır:

$$\bar{e}' = j\,\bar{x}_{12} * \bar{i} + \bar{v}$$

$$\bar{I} = (\bar{S}/\bar{V})^* = (0.8 + j0.6)^* = 0.8 - j0.6 = 1.0 \angle -36.87^\circ \text{ pu}$$

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$\bar{E}' = j\,(0.4 + 0.12 + 1.0 \,//\, 0.6)\; 1.0 \angle -36.87^\circ + 1.0 \angle 0^\circ \text{ pu}$$

$$= 1.537 + j0.716 \text{ pu}; \quad e' = 1.696 \text{ pu}$$

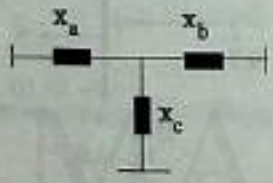
K_1 anahtarı seri reaktörü, K_2 seri kompanzatörü, K_3 şönt reaktörü ve K_4 şönt kompanzatörü kumanda etmektedir. Bu durumda dört anahtar için 16 farklı kombinasyon söz konusu olacaktır.

Generatör ve sonsuz güçlü şebeke arasında, geçici işletme koşullarında geçerli olacak güç

$$P = \frac{E'V}{B}\cos(\beta - \delta) - \frac{AV^2}{B}\cos(\beta - \alpha)$$

genel ifadesiyle bulunabilir. Burada A ve B dört-uçlu sabitleri olup

$\underline{A} = A\angle\alpha$ ve $\underline{B} = A\angle\beta$ şeklindedir. Eğer sistem (anahtarların konumuna bağlı olarak) aşağıdaki biçime indirgenebiliyorsa



$$P = \frac{E'V}{x_{12}}\sin\delta \;; \quad x_{12} = x_a + x_b + \frac{x_a x_b}{x_c}$$

şeklinde ifade edilebilir.

Son olarak tüm şönt elemanlar devre dışı oluyorsa (anahtarların konumuna bağlı olarak)

$$P = \frac{E'V}{x_{12}}\sin\delta \;; \quad x_{12} = x_{eş} = x'_d + x_T + x_b/2$$

olarak yazılabilecektir.

K_1, K_2, K_3, K_4 anahtarlarının çeşitli konumu ve her konuma karşılık düşen P güçleri ayrı ayrı hesaplanarak topluca aşağıda gösterilmiştir.

Anahtarların Konumları				İletilen Geçici Güç
K_1	K_2	K_3	K_4	$P = P_0 \sin\delta$ [pu]
1	0	0	0	1.965 sin δ
0	1	0	0	1.759 sin δ
0	0	1	0	1.556 sin δ
0	0	0	1	1.895 sin δ
1	1	0	0	1.843 sin δ
1	0	1	0	1.629 sin δ
0	1	0	1	1.759 sin δ
0	0	1	1	1.556 sin δ
0	1	1	0	1.419 sin δ
1	0	0	1	1.965 sin δ
0	1	1	1	1.418 sin δ
1	0	1	1	1.628 sin δ
1	1	0	1	1.843 sin δ
1	1	1	0	1.504 sin δ
1	1	1	1	1.504 sin δ

Problem 8.32

Empedansı 5 + j19 ohm/faz olan bir enerji iletim hattının başında uyarma akımı ve tahrik momenti sabit olan bir senkron generatör bulunmaktadır. Hat boşta çalışırken, aniden hat sonundaki kesici üç kutuplu olarak kısa devre edilirse, makinenin endüvisinden geçecek ani akımın ifadesini bulunuz. Kısa devrenin hemen öncesinde, makineye ilişkin osilogramdan v = 11000 sin (314t) volt/faz değeri belirlenmiştir. Makinenin alt geçici reaktansı 1 ohm/faz dır.

Çözüm:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Geçici işlemede (kısa devre halinde) her faza ilişkin zaman düzlemindeki denklem

$$v_o(t) = R\,i(t) + L\frac{di}{dt}$$

veya s - düzlemindeki denklem

$$v_o(s) = R\,I(s) + Ls\,I(s) = I(s)\,[R + Ls]$$

şeklinde yazılabilir. Geçici akım hesabı için, fazör gösterimi yerine diferansiyel denklemlerin veya laplace dönüşümü karşılıklarının kullanılması gerekir. Burada; geçici işlemede $x' = x'_d + x_h = 1 + 19 = 20$ ohm/faz olup

$$L = \frac{X'}{2\pi f} = \frac{20}{2\pi * 50} = 0.064 \text{ H/faz} \;;\; R = 5 \text{ ohm}$$

$$V_o(s) = V_o\frac{\omega}{s^2 + \omega^2} = 11000\frac{314}{s^2 + 314^2}$$

Yukarıda yerlerine yazılır ve I (s) çekilirse

$$I(s) = \frac{11000 * 314/0.064}{(s + 78)\,(s^2 + 314^2)}$$

bulunur. Ters Laplace dönüşümü alındığında

$$i(t) = 515.6\,e^{-78t} + 531.3 \sin(314t - 76°)\text{ A}$$

elde edilir.

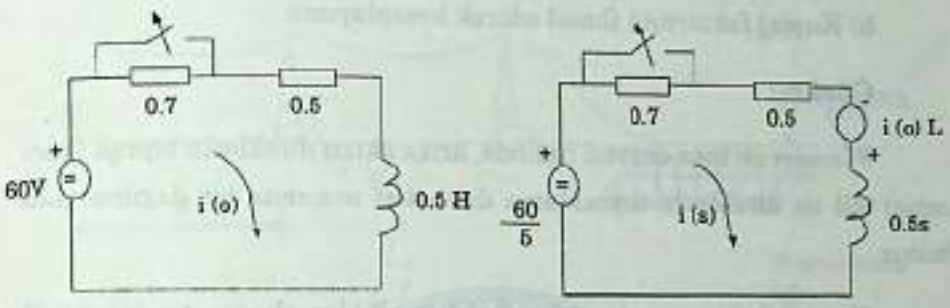
Problem 8.33

Bir iletim hattını besleyen senkron generatörün 60 V luk uyarma devresinin endüktansı 0.5 H olup, omik direnç 0.5 ohm dur. Ayrıca 0.7 ohm luk seri (ek) direnç bulunmaktadır. Ek direnç başlangıçta kısa devre iken, aniden devreye alınıyor.

Bu durumda uyarma devresinin akımının zamana bağlı değişimini hesaplayınız.

Çözüm:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



$$i(o) = \frac{60}{0.5} = 120 \text{ A}$$

$$\frac{60}{s} + 120 * 0.5 = I(s)\,[1.2 + 0.5\,s]$$

$$I(s) = \frac{(60 + 60s)/s}{0.5\,(s + 2.4)} = \frac{120 + 120\,s}{s\,(s + 2.4)} = \frac{A}{s} + \frac{B}{s + 2.4}$$

A ve B hesaplanır ve ters Laplace dönüşümü uygulanırsa

$$i(t) = 50 + 70e^{-2.4\,t} \quad \text{A}$$

bulunur.

Geçici rejimin sonunda uyarma akımı 50/120 oranına düşeceğinden, E emk değeri de bu oranda değişecektir.

Problem 8.34

Bir enerji iletim hattının sonunda 2 kA değerinde faz-toprak kısa devresi oluşmaktadır. Hat sonundaki topraklama ağının direnci 1 ohm dur. Hat boyunca menzil ve direk topraklama dirençleri için, sırasıyla 400 m ve 50 ohm değerleri alınabilir. Koruma telinin empedansı 2 + j0.4 ohm/km dir. Röleler iletim hattını devre dışına alıncaya kadar geçen süre içinde, topraklama ağında oluşacak geçici gerilimi

a) Faz iletkenleri ile koruma teli arasındaki kuplaj faktörünü 0.2 alarak

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

b) Kuplaj faktörünü ihmal ederek hesaplayınız.

Çözüm:

Fáz-toprak kısa devresi halinde, arıza akımı direklerin toprak (koruma) teli ile direklerin topraklama dirençleri arasında bir dağılım yolu bulur.

Güzergah boyunca toprağın farklı özellikler alması, toprak özgül direncinin bir fonksiyonu olan direk topraklama dirençlerinin farklı değerler almasına yol açar. Diğer taraftan menziller farklı değerlerde olduğu için, iki direk arasındaki koruma tellerinin empedansları da farklı olacaktır. Bununla birlikte yukarıda açıklanan farklılıklar dikkate alınmayarak, hat boyunca sabit direk topraklama direnci ve ortalama menzil varsayımları altında "zincir empedans" yaklaşımı kullanılabilir. Ortalama direk topraklama direnci R_d [ohm], direkler arasındaki koruma telinin empedansı $\underset{\sim}{Z_t} = Z'_t * l$ [ohm]ve kuplaj faktörü μ olmak üzere zincir empedansı $(\underset{\sim}{Z_z})$

$$\underset{\sim}{Z_z} = \sqrt{R_d * \underset{\sim}{Z_t}}\,(1 - \mu) \qquad \text{[ohm]}$$

olarak hesaplanır. Bu değer, hat uzunluğundan bağımsızdır.

a) $\underset{\sim}{Z_t} = (2 + j0.4)\,(400/1000) = 0.8 + j0.16$

$$= 0.816 \angle 11.3^\circ \text{ ohm}$$

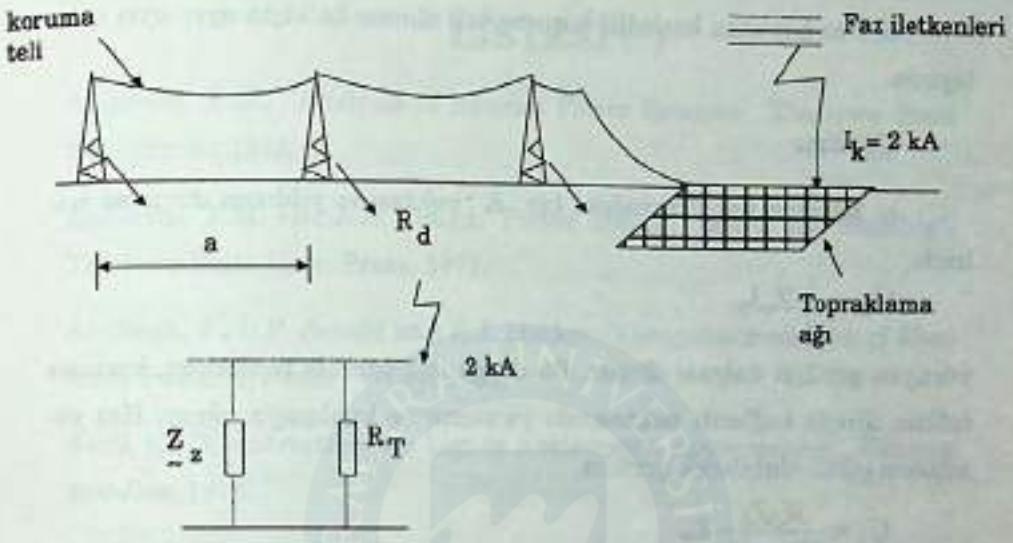
$R_d = 50$ ohm ; $\mu = 0.2$

$$\underset{\sim}{Z_z} = \sqrt{50 * 0.816 \angle 11.3^\circ}\;(1 - 0.2)$$

$$= 5.11 \angle 5.65^\circ \text{ ohm}$$

olacaktır. Sistemin basit bağlantı şeması aşağıda gösterilmiştir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ



$$\underline{I}_T = \frac{\underline{Z}_z}{R_T + \underline{Z}_z}\,\underline{I}_k \quad ; \quad I_T = 1674 \text{ A} \quad \text{bulunur.}$$

$V_T = R_T\, I_T = 1 * 1674 = 1674$ Volt

b) Kuplaj faktörü sıfır olduğunda ($\mu = 0$)

$\underline{Z}'_z = 6.388 \angle 5.65°$ ohm

$I'_T = 1730$ A

$V'_T = 1730$ volt

bulunur.

Problem 8.35

Bir enerji iletim hattı üzerinde yıldırım darbesinin (yürüyen gerilim dalgasının) etkinliği incelenecektir. Tepe değeri 50 kV olan yıldırım akımının, karakteristik empedansı 400 ohm, direk topraklama direnci 20 ohm olan bir iletim hattı üzerindeki etkinliğini

a) Hata boyunca kesintisiz koruma teli olması hali

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

b) Hat boyunca kesintili koruma teli olması hali için ayrı ayrı irdeleyiniz.

Çözüm:

a) koruma teli üzerindeki bir K noktasına yıldırım düşmesi halinde

$$U_m = \frac{1}{2} Z_o I_m$$

yürüyen gerilim dalgası oluşur. Bu dalga ışık hızı ile ilerlerken, koruma telinin direğe bağlantı noktasında yansıma ve kırılmaya uğrar. Hat yönünden etkili olabilecek gerilim.

$$U_1 = \frac{R_d Z_o}{2R_d + Z_o} I_m$$

şeklindedir. $R_d = 20$ ohm, $I_m = 50$ kA, $Z_o = 400$ ohm yerlerine konursa

$$U_1 = \frac{20 * 400}{2 * 20 + 400} 50 = 909 \text{ kV}$$

bulunur. Bu değer, hat ve donanımları üzerinde arızaya yol açacak düzeydedir. Örneğin, iletim hattı 380 kV geriliminde ise, arızaya yol açmayacak yıldırım akımı yaklaşık 20 kA dolaylarındadır.

b) Hat maliyetini azaltmak ve koruma telindeki aşırı buzlanmalardan kaçınmak için, güzergah boyunca koruma teli kesintili olarak çekilebilir. Bu durumda, bir direğin koruma telinin bulunduğu sol tarafında, bir K noktasında düşen yıldırım akımı

$$U_1 = \frac{R_d Z_o}{R_d Z_o} I_m$$

şeklinde gerilime yol açar. (Direğin sağ tarafında koruma teli bulunmamaktadır.) Sayısal değerleriyle

$$U_1 = \frac{20 * 400}{20 + 400} 50 = 952.4 \text{ kV}$$

olur ki, önceki değere göre yaklaşık % 5 daha fazladır.

BAŞVURULABİLECEK LİTERATÜR LİSTESİ (*)

Anderson, P.M., "Analysis of Faulted Power Systems", The Iowa State Univ. Press, 1973.

Anderson, P.M. and A.A. Fouad, "Power System Control and Stability", The Iowa State Univ. Press, 1977.

Arrillaga, J., C.P. Arnold and B.J. Harker, "Computer modelling of Electrical Power Systems", Wiley, 1983.

Avril, C., "Construction des Lignes A'eriennes a haute tension", Editions Eyrolles, 1974.

Aygen, Ö.V., "Enerji İletim Hatları (Direkler)", İ.T.Ü. 1985.

Bagamudre, R.D., "Extra HV AC Transmission Engineering", Wiley Eastern, 1986.

Bergen, A.R., "Power System Analysis", Prentice-Hall, 1986.

Bickford, J.P. and N. Mullineux, "Computation of Power System Transient", Peter Peregrinus Ltd., 1976.

Bonneville Power Administration - Dept. of Energy, "Investigation of Ice and Wind Loads, Galloping, Vibration and Sub-conductor Oscilations," 1974.

Byerly, R.T. and E.W. Kimbark, "Stability of Large Electric Power Systems", IEEE Press, 1974.

Carpentier, H., "Lignes Electriques", T.H.T., 1955

(*) Türkçe yabancı dildeki kitap türünde literatürü içermektedir.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Caymaz, M., "Enerji İletim Hatları (sehim-gerilme offset)", Aracılar matbaacılık, 1984.

Clarke, E., "Circuit Analysis of AC Power Systems", vol. 1, Wiley, 1956.

Cotton, H. and H. Barber, "The Transmission and Distribution of Electrical Energy", Hodder and Stoughton, 1981.

Çakır, H., "elektrik Güç Sistemleri Analizi", Nesil Matbaacılık, 1986.

Çakır, H., "Enerji iletimi (Elektrik Hesaplar)", Nesil Matbaacılık, 1989.

Demirkut, B., "Elektrikle Enerji Taşınması", IDMMA, 1971.

Dengiz, H.H., "Enerji Hatları Mühendisliği", Emel Matbaacılık, 1982.

De Weese, F.C., "Transmission Lines: Design, Construction and Performance, McGraw-Hill, 1945.

Diesendorf, W., "Insulation Colordination in HV Electric Power Systems", Butterworths, 1974.

Dilege, M., "Yüksek Gerilim Hava Hatlarının Mekanik Hesabı", İ.T.Ü., 1971.

Dwight, H.B., "Electrical Elements of Power Transmission Lines", MacMillan, 1954.

Eaton, V.R., "Electric Power Transmission Systems", Prentice-Hall, 1983.

"Electrical Engineering Handbook", Siemens Aktienges, Berlin, 1976.

"Electrical Transmission and Distribution Reference Book", Westinghouse Electric and Manufacturing Co., Pennsylvania, 1962.

Electric Power Research Institute, "Transmission Line Reference book: 115-138 kV Compact Line Design", EPRI, 1978.

Electric Power Research Institute, "Transmission Line Reference Book: 345 kV and Above", EPRI, 1982.

"Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği", 21 Kasım 1978 tarih ve 16466 sayılı Resmi Gazete (EMO, 1978).

Elgerd, O.I., "Basic Electric Power Engineering", Addison-Wesley, 1977.

El-Hawary, M.E., "Electrical Power Systems: Design and Analysis", Reston Publ. Co., 1983.

Farr, H.H., "Transmission Line Design Manual", U.S. Dept. of the Interior, Water and Power Resources Service, Denver, Colorado, 1980.

Fink, D.G. and H.W. Beaty (eds), "Standard Handbook for Electrical Engineers", McGraw-Hill, 1978.

Fisch, J.J., "Typical Costs of Power System Components; World Bank, Washington, 1988.

Fraser, H.M. et al., "Icing Damage to Transmission Lines in Southern Manitoba", University of Manitoba, 1977.

Freeman, P.J., "Electrical Power Transmission and Distribution; George G. Harrap Co., 1977.

Glover, J. and M. Sarma, "Power Systems Analysis and Design", PWS Publishers, 1987.

Gönen, T., "Modern Power System Analysis", Wiley, 1988.

Greenwood, A., "Electrical Transients in Power Systems", Wiley, 1971.

Gridley, J.H., "Principles of Electrical Transmission Lines in Power and Communication, Pergamon Press, 1967.

Gross, C.A., "Power System Analysis", Wiley, 1979.

Guile, A.E. and W. Paterson, Electrical Power System, Pergamon Press, 1977.

Güven, B.R., "Power Systems", Harcourt Brace Wonavich, 1988.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Harrison, H.C. and W.F. Bowhing, "Factors Affecting the Mechanical Design of Transmission Lines (For Australia)", CIGRE report 218, 1956.

Heydt, G.T., "Computer Analysis Methods of Power Systems", Macmillan, 1986.

Hore, R.a., "Advanced Studies in Electrical Power System Design, Chapman and Hall, 1966.

Johnson, C.W., "Transmission Line and Network", McGraw-Hill, 1950.

Jones, D., "Analysis and Protection of Electrical power Systems", Pitman, 1971.

Kimbark, E.W., "Power System Stability", vol. 1,2,3, Wiley, 1948.

Kind, D. and H. Karner, "HV Insulation Technology", Friedr. Vieweg, 1985.

Kinght, U.G., "Power System Engineering and Mathematics", Pergamon Press, 1972.

Kusic, G.L., "Computer-aided Power Systems Analysis", Prentice-Hall, 1986.

Lyle, A.G., "Major Faults on Power Systems", Chapman and Hall, 1952.

Magnusson, P.C., "Transmission Lines and Wave Propogation, Allyn-Bacon, 1970.

Mallik, U.G., "Solution of Problems in Electrical Power, Pitman, 1968.

Motlok, J.R. and D.M.W. Humphery, "Power System Analysis", Chapman-Hall, 1952.

Nagrath, I.J. and D.P. Kothari, "Modern Power System Analysis", Tata McGraw-Hill, 1980.

Nasar, S.A., "Electric Power Systems", Schaum's Outline Series, 1990.

Nevenswander, J.R., "Modern Power Systems", International Textbook Co., 1971.

Özgül, N., "380 kV üçlü Demet İletken Tel Çekimi", Reform Matbaası, 1987.

Pai, M.A., "Computer Techniques in Power Systems Analysis", Tata-McGraw-Hill, 1980.

Pender, H. and Del Mar W.A. (eds.), "Electrical Engineer's Handbook: Electric Power, Wiley, 1962.

Powel, C.A., Principles of Electric Utility Engineering, MIT Press, 1955.

Rudenberg, R., "Transient Performance of Electric Power Systems, McGraw-Hill, 1950

Rudenberg, R., "Electrical Shock Waves in Power Systems, Harvard Univ. Press, 1968.

Shipley, R.B., "Introduction to Matrices and Power Systems", Wiley, 1976.

Skrotzki, B.G.A., "Electric Transmission and distribution, McGraw-Hill, 1954.

Stagg, G.W. and A.H. El-Abiad "Computer Methods in Power Systems", Mc Graw-Hill, 1968.

Starr, A.T., "Generation, Transmission and Utilization of Electric Power,Pitman, 1962.

Sterling, M.J.H., "Power System Control", Peter Peregrinus Ltd., 1978.

Stevenson, W.D., "Elements of Power Systems Analysis", McGraw-Hill, 1962.

Tacer, M.E. "Enerji sistemlerinde Kararlılık," İ.T.Ü., 1990.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Tarkan, N. "Elektrik İletim Şebekelerinin İşlemesi ve Korunması" Birinci Bölüm, İ.T.Ü., 1975.

Tarkan, N., "Elektrik İletim Şebekelerinin İşlemesi ve Korunması", Ikinci Bölüm, İ.T.Ü., 1982.

Tekinel, H., "elektrikle Enerji Taşıma", ADMMA

"TS 490 Çelik Özlü Alüminyum İletkenler3, Türk Standartları Enstitüsü, Mart 1990.

Venikov, V.A., "Transient Processes in Electric Power Systems; Mir Publishers, 1977.

Waddicor, H., "The Principles of Electric Power Transmission", Chapman-Hall, 1964.

Weedy, B.M., "Electric Power Systems", Wiley, 1972.

Weeks, W.L., "Transmission and Distribution of Electrical Energy", Harper an Row, 1981.

Woodruff, L.F., "Electric Power Transmission", Wiley, 1952.

Yu, Y., "Electric Power System Dynamics, Academic Press, 1983.

Zaborsky, J. and J. W. Rittenhouse, "Electric Power Transmission", Rensselaer Bookstore, 1969.

EK

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

TAMAMLAYICI SORULAR

1. Demet iletkenlerin üstün ve sakıncalı yönlerini sıralayınız.
2. Bir kafes direğin topraklamasını şekil üzerinde çizerek gösteriniz.
3. Direklere gelen kuvvetleri sınıflandırıp isimlerini yazınız.
4. [metre] başına buz yüküne etki eden faktörleri yazınız.
5. 600 m lik bir menzil üzerinde Stockbridge damperleri çizerek gösteriniz.
6. Kritik Sıcaklık Derecesi nedir, ne amaçla hesap edilir?
7. Kritik Menzil nedir, ne amaçla hesap edilir?
8. Kullanım amaçlarına göre direkleri sınıflandırınız.
9. Direk ana boyutlarına etki eden faktörleri yazınız.
10. Örgülü iletkenlerin üstün ve sakıncalı yönlerini sıralayınız.
11. Yüksek gerilim hava hatlarında kullanılan Alüminyum ve Çelik-Alüminyum iletkenler için, "kesit" tanımında hangi standartlar kullanılır? Kısaca açıklayınız.
12. "Çift gergi 2-li demet iletken" düzenini travers üzerinde çizerek gösteriniz.

13. Bir direğin dikme ve travers uzunlukları, bir paket program yardımıyla hesap edilecektir. Bu amaçla, hangi bilgilerin veri olarak girilmesi gerekir?

14. Zincir izolatörlerin ağırlığına ve uzunluğuna etki eden büyüklüklerin isimlerini yazınız.

15. "Çift askı 3-lü Demet iletken" düzenini travers üstünde gösteriniz.

16. Örgülü iletken ve demet iletken hakkında kısa bilgi veriniz.

17. Bir iletim hava hattında maksimum gerilme ve maksimum sehimin hangi ortam koşullarında oluştuğunu belirleyen "tanım büyüklükleri" nelerdir? Bunlar, hangi faktörlerce etkilenir?

18. Tek devreli bir iletim hattını taşıyan kafes direği çizip, başlıca elemanlarını üzerinde işaretleyiniz.

19. Hava hatlarında kullanılan zincir izolatörler, hangi kriterlere göre seçilir? Direklerin tasarımında, izolatörlerle ilgili hangi bilgilerin bilinmesine gerek vardır? Askı-tipi ve Gergi-tipi izolatörler hakkında bilgi veriniz.

20. Montaj Tablosu nedir, ne şekilde hazırlanır?

21. "Kamçılanma" olayı nedir? Kısaca açıklayınız.

22. Hava hatlarında UP-LIFT nedir? Açıklayınız.

23. Hava hatlarında OFF-SET neden yapılır?

24. Hava hatlarında 'Transpozisyon'u kısaca açıklayınız.

25. Sehim Verme Yöntemleri hakkında bilgi veriniz.

26. St-Al iletkenlerde "Ek" işlemi nasıl yapılır? Şekil çizerek açıklayınız.

27. Yönetmelikte direk ana boyutlarının tayini için şu minimum aralıklar verilir:

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$D_1 = 0.5\sqrt{f_{max} + \ell_{iz}} + U/150$ [m]

$D_2 = U/150 + 0.05$ [m]

Bu ifadelere bakıldığında, direk ana boyutlarına hangi faktörlerin etki ettiğini yazınız.

28. İletim hatlarında "Sehim Şablonu" nedir? Neden ve nasıl çıkarılır?

29. İletim hatlarında "Salınım Diyagramı" nedir?

30. İletken salınım açısı hangi faktörlere bağlıdır? Bu açının önemi nedir?

31. Aşağıda verilen S, f ve $\gamma_{eş}$ bağıntılarına bakarak;

$S = H + g_t \cdot f$

$$f = \frac{\gamma_t \cdot a^2}{8 \cdot \sigma}$$

$$\gamma_{eş} = \sqrt{(\gamma_i + \gamma_b)^2 + \gamma_{b,r}^2}$$

çekme kuvvetinin (S), sehimin (f) ve eşdeğer özgül ağırlığın ($\gamma_{eş}$) hangi parametre ve büyüklüklere bağlı olduğunu açıklayınız.

32. Enerji iletim hatlarının profilinin çıkarılmasında adı geçen "poligon", "kıl", "mira", "some", "aliğman" ve "kot cetveli" gibi kavramları kısaca açıklayınız.

33. Direklerin temel hesabında hangi kriterler dikkate alınır? Başlıca "temel" türlerini yazınız.

34. "Spacer" nedir? Niçin ve nerede kullanılır? Hat üzerinde spacer

montajının nasıl yapıldığını kısaca açıklayınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

35. Zincir izolatörlerin başlıca üstünlükleri nelerdir?

36. Hırdavat takımlarının seçiminde hangi kriterler rol oynar?

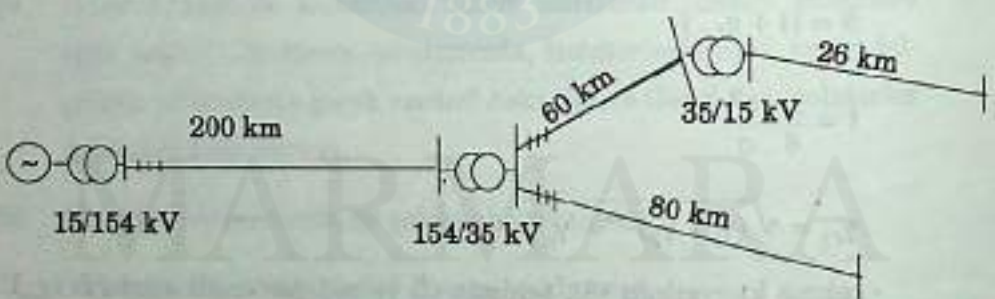
37. Bir iletim hattında, "iletkenler + direkler + izolatörler"i içine alan maliyet fonksiyonunu formüle ediniz.

38. Direk elemanlarının dayanım hesabında, hangi zorlanmaların kontrolu yapılır? Güvenli sınır değerleri nelerdir?

39. İletken çekiminde "ekipman" nedir, hangi kısımlardan oluşur?

40. İletken çekiminde adı geçen "Denge tablası", "çorap", "fırdöndü", "kılavuz tel" gibi kavramları -şekil de çizerek- kısaca açıklayınız.

41. Şekildeki iletim hattı için kaç adet transpozisyon direği gerekecektir?



42. 154 kV luk bir enerji iletim hava hattı için şu bilgiler verilmektedir:

Faz iletkenleri : 477 MCM, 21.77 mm, 280.84 mm^2,

0.973 kg/m, 11 kg/mm^2 (max. gerilme),

1/8800 mm^2/kg, 19.2 x 10^{-6} 1/°C

Toprak teli: 70 mm^2 - St, 11 mm, 72.88 mm^2, 0.58 kg/m,

34 kg/mm^2 ,(max, gerilme) 1/20000 mm^2/kg, 11.5 * 10^{-6} 1/°C (max. gerilme)

Menzil, simetrik olup 350 m dir.

Gerek "faz iletkeni" gerekse "toprak teli" için (ayrı ayrı), "5" ayrı bölgeye ilişkin olarak;

- Kritik Menzil hesabını yapan

- Kritik sıcak hesabını yapan

- Bölgenin minimum ve maksimum sıcaklık dereceleri arasında, her 5°C de bir gerilmelerin (σ) ve sehimlerin (f) hesabını bir tablo halinde veren

"Bilgisayar Programının"

a) Uygun akış diyagramını çiziniz.

b) İstediğiniz Programlama Dilinde Programı yazınız.

c) Verilen sayısal değerleri DATA olarak kullanarak çıkışı alınız.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

Bölge	t_{min} [°C]	t_{max} [°C]
I	– 10	50
II	– 15	45
III	– 25	40
IV	– 30	40
V	– 30	40

43. Bir hava hattında "OFF-SET Hesabı" yapılacaktır. Hattın 83. ve 94. direkleri arasında, aşağıda verilen Algoritmayı kullanarak uygun bilgisayar programını yazınız.

Programı yazdıktan sonra, verilen sayısal değerleri uyarlayarak çıkış değerlerini Tablo halinde alınız.

* OFF-SET Hesabına İlişkin Algoritma:

1°. İletkenin çekileceği ortam koşuluna ilişkin çekme kuvveti (H_o) ve birim ağırlık (g_i) bilindiğine göre

$$c_o = \frac{H_o}{g_i} \quad [m]$$

hesaplanır. Bu parametre 10 m küçültülürse

$$c'_o = c_o - 10 \quad [m]$$

elde edilir.

Ardından her direk açıklığı (a) için, aşağıdaki Z fonksiyonları oluşturulur.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$Z = \frac{a^3}{24}\left(\frac{1}{c'_o} + \frac{1}{c_o}\right)\left(\frac{1}{c'_o} - \frac{1}{c_o}\right) + \frac{10 * g_i}{g * \varepsilon_e} \times a$$

$$= \alpha * a^3 + \beta * a$$

a_1 [m] $\rightarrow$ Z_1

a_2 [m] $\rightarrow$ Z_1

a_n [m] $\rightarrow$ Z_n

Tablosu oluşturulur. Ve $\sum Z = Z_1 + Z_2 + ... + Z_n$ hesaplanır. α ve β katsayıları, bilinenler cinsinden hesaplanabilen pozitif reel sa-yılardır. Menzil de bilindiği için, Z değerleri hesap edilebilecektir.

2°. Bir direğin sağında ve solunda bulunan menzillerin yatay teğetli noktaları arasındaki kot farkları hesap edilir.

$(a_1 - a_2)$ arasında $M_1 = \dfrac{\left(\frac{c_1 h_1}{a_1} + \frac{a_1}{2}\right)^2 - \left(\frac{c_0 h_2}{a_1} + \frac{a_2}{2}\right)^2}{2c_0}$

$(a_2 - a_3)$ arasında M_1 =

hesap edilir. h kot farkları, direğe göre yüksekte ise (+), alçakta ise (–) olarak alınır ve formüle (–) olarak yerleştirilir.

3°. c_o' a göre diğer menzillerdeki kotlar hesaplanır.

$m_1 = O$

$m_2 = m_1 + M_1$ [m]

$m_3 = m_2 + M_2$ [m]

$m_n = m_{n-1} + M_{n-1}$ [m]

4°. Menzillerdeki uzamalar hesaplanır.

$Z_1 * m_1 = O$

$Z_2 * m_1 = ...$ [m]

$Z_n * m_n = ...$

Ve bunların toplamı $\sum Z * m = Z_1 * m_1 + Z_2 * m_2 + ... + Z_n * m_n$ bulunur.

Böylece, tanımlanacak c_1 parametresi hesaplanır.

$$c_1 = c_o - \frac{\sum Z * m}{\sum Z} \quad [m]$$

5°. a_1 menziline ait OX - eksenine göre diğer menzillerdeki yatay teğetli noktaların kotları

$c_1 = c_1 + m_1$ [m]

$c_2 = c_1 + m_2$ [m]

$c_n = c_1 + m_{12}$ [m]

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

6°. $(c_n - c_o)$ Değerleri hesaplanır. Bunlar, (–) veya (+) çıkabilir.

$c_1 - c_o$ [m]

$c_2 - c_o$ [m]

⋮

$c_n - c_o$ [m]

7°. Tanımlanacak bir Q değeri her açıklık için ayrı ayrı hesap edilir.

$$Q_n = \frac{Z_n (c_n - c_o)}{10}$$

$$Q_1 = \frac{Z_1 (c_1 - c_o)}{10}$$

$$Q_2 = \frac{Z_2 (c_2 - c_o)}{10}$$

8°. OFF-SET değerleri (O) hesaplanır.

$O_1 = 0$ (SIFIR)

$O_2 = 0_1 + Q_1$

$O_3 = 0_2 + Q_2$

⋮

$O_{n+1} = 0_n + Q_n$

9°. OFF-SET Tablosu hazırlanır.

Direk No.	a [m]	m [m]	Z [m]	Zm [m^2]	Cn [M]	C_n-C_o [M]	Q [M]	O [cm]

10°. Gerçek Sehimler hesaplanır.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

$$f'_n = \frac{c_0}{c_n} \cdot f_n \quad [m]$$

f_1', f_2' .....

11°. Sehim düzeltmeleri yapılır.

$f_n' - f_n$ [m]

$f_1' - f_1$, $f_2 - f_2$, ...

SAYISAL UYGULAMA:

$H_o = 1714$ kg , $g_i = 0.973$ kg/m

Direk No.	Menzil [m]	Kot farkı [m]	Sehim [m]
83	460	2	15.04
84	456	9	14.78
85	390	–15	10.81
86	320	7	7.27
87	374	5	9.94
88	446	22	14.14
89	210	20	3.13
90	370	–6	9.73
91	510	50	18.49
92	300	52	6.39
93	580	21	23.91
94	240	–47	4.09

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

44. 42. soruda verilen enerji iletim hattı göz önüne alınıyor olsun.

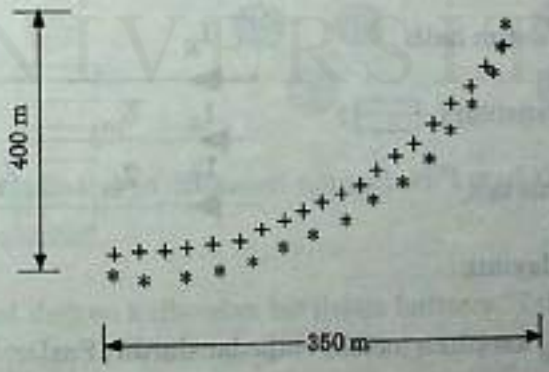
İstediğiniz sıcaklık derecesi (örneğin t_{min}) için ve buz yüklü hal için, ayrı ayrı sehim eğrisini bilgisayar yardımıyla çizdiriniz. Ölçek olarak, ordinat ekseninde 1/500 ve apsis ekseninde 1/2000 seçilebilir. İletken eğrisini Parabol kabul edebilirsiniz.



* – 5°C Buz yüklü hal

+ t_{min} ortamsıcaklığı hali

45. 42. soruyu askı noktalarından birisi 40 m aşağıya kaydırılması hali için, tekrar çözünüz.



MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

46. Bir elektrik makinasının (döner makina) hızının sonsuz olması teorik olarak mümkün müdür? tüm AC ve DC makinaları için, ayrı ayrı irdeleyiniz.

47. Transformatörlerde hava aralığı bulunmaz. Neden? (Hopkinson bağıntısı yardımıyla açıklayınız.)

48. Buchholz rölesi hangi tip transformatörlerde kullanılmaz?

49. Elektrik cihazlarında "Yağ" neden kullanılır? Hangi tip cihazlarda kullanılır? Yağın istenilen niteliklerini araştırınız.

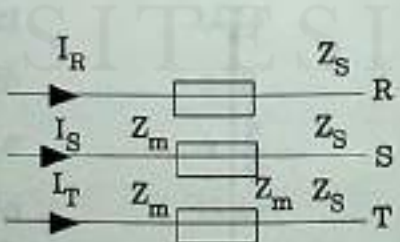
50. Kuru tip, Yağlı ve klofenli transformatörlerin birbirlerine göre üstünlükleri nelerdir? Araştırınız.

51. Silica gel (silikajel) nedir? Nerede ve hangi amaçla kullanılır? Araştırınız.

52. "SCADA" (Merkezi Denetim ve Kontrol Düzeni), enerji sistemlerinde olduğu kadar başka alanlarda da (örneğin doğal gaz dağıtımında) kullanılmaktadır. Bu sistemi ve üstünlüklerini araştırınız.

53. Bir enerji iletim hava hattının admitansı $Y = G + jB$ şeklindedir. G ve B, fiziksel olarak hangi büyüklüklere karşılık düşer?

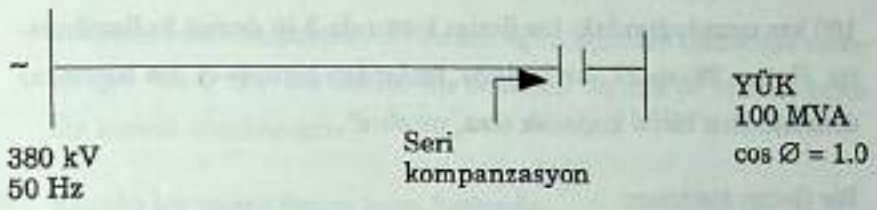
54. Şekilde verilen iletim hattı için, hat empedansının ( ) $Z_s - 2Z_m$ değerine eşit olduğunu kanıtlayınız.



< Z_s öz (self), Z_m karşılıklı (ortak) empedanslardır; Fazların akımları dengelidir.>

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

59. Şekildeki enerji sisteminde hat başına 380 kV değerinde "Doğru Gerilim" **uygulanmış olsa**, yükün çekeceği güç nedir?



56. 100 MVA - cosØ = 0.9 değerinde bir üç-fazlı yük, 380 kV gerilim altında:

* 2-li demet

* 3-lü demet

* 4-lü demet

İletkenler yardımıyla çekilecektir. Her durum için, bir demet'te oluşan "hat kaybı" ve "gerilim düşümü" ifadelerini -matematiksel olarak- yazınız.

57. Soru 56'daki her durum için, bir demet'teki akımın genlik ve faz açısı ne olur?

58. 

Şeklindeki demet düzenleri arasındaki "karşılıklı kuplaj" için ne söylenebilir?

59. Demet iletken kullanılan bir iletim hattının "Tek-Hat Diyagramı" nasıl çizilir?

60. İklim koşullarındaki değişiklikler, enerji sistemlerinin elektriksel hesapları üzerinde ne ölçüde etkili olur?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

61. 100 km uzunluğundaki bir iletim hattında 3-lü demet kullanılmıştır. Hattın 26. ve 27. km lerinde, fazlardan birinde (1 km boyunca) demetlerden birisi kopacak olsa, ne olur?

62. Bir iletim hattının:

* dağ yamacından

* ormanlık bölgenin kenarından

* ormanlık bölgenin içinden

* düz ovadan

* 500 m açıklığında bir nehir üzerinden

* deniz (sahil şeritinden)

geçmesi durumunda, ek buz ve ek rüzgar yükleri ne şekilde etkilenir? İrdeleyiniz.

63. Bir iletim hava hattına etki eden ek buz ve ek rüzgar yükleri, iletim hattının elektriksel hesaplarına (güç akışı, gerilim düşümü, kısa devre vb. analizlerine) ne şekilde etki eder? Araştırınız.

64. Buz yükünün iletken üzerinde üniform olmayan toplanması, ek yüklerin hesabında nasıl bir rol oynar? Araştırınız.

65. Bir iletim hattı boyunca menzil, kot farkı ve çekme kuvvetini okutarak, her menzil için sehimi hesaplatan Bilgisayar Akış Diyagramını çiziniz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

NOT: $f = \beta . a^2$ şeklinde bir "Sehim Şablonu" oluşturunuz. Örneğin (n-1). menzil için: $f_{n-1} = b_{n-1} \cdot a_{n-1}^2$ dir. β ise, $\beta = \frac{g_i}{8\,H\,.\,\cos\theta}$

şeklinde tanımlanmıştır. θ : Arazi eğim açısıdır. (Simetrik menzil için $\theta : 0°$ dir. Bu bakımdan menzilin türünü de kontrol eden bir komut gerekecektir.)

66. Kurulu bir enerji iletim hava hattında:

* Kot (yükselti) farkı

* Buz yükü miktarı

* Rüzgar yükü miktarı

* Çekme kuvveti

* Menzil

ne şekilde ölçülebilir? Araştırınız.

67. Simetrik bir menzilde gerili iletim hattı için; sehim ifadesi $f = \frac{ga^2}{8\,H}$ ve askı noktasındaki çekme kuvveti de $S = H + g.f$ biçimindedir. g'deki bağıl hata ε_g, menzildeki ε_a ve çekme kuvvetindeki ε_H sırasıyla %1, %2, ve %3 ise; f ve S'deki bağıl hata miktarları ne olur?

68. Bir iletim hattında 900 m lik kısımda, 450 m lik menzil kullanıldığında direk boyları 26'şar m, 300 m lik menzil kullanıldığında ise direk boyları 22'şer m olmaktadır. Bu iki tasarımdan birisinin kullanılma tercihi, hangi kriterlere bağlıdır?

69. Birim ağırlığı 1.613 kg/m olan bir St/Aℓ iletken, 400 m lik simetrik menzilde çekilmiş ve y.t.n. da öngörülen çekme kuvveti 2500 kg dır. İletken eğrisini ölçekli olarak çiziniz. ($y = x^2/2c$ parabol denklemini kullanınız; ölçek: 1 cm → 20 m alınız.)

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

70. 380 kV luk bir iletim hava hattında:

* Buz yükü olmadığı halde, eşzamanlı yüklenmedeki bileşke yüke eşit eşdeğer yükü oluşturacak "rüzgar hızı,

* Rüzgar yükü olmadığı halde, eşzamanlı yüklenmedeki bileşke yüke eşit eşdeğer yükü oluşturacak "buzlanma katsayısı", ifadelerini elde ediniz.

71. Enerji iletim hattı elemanlarında "doyma" olayını tanımlayıp kısaca açıklayınız.

72. Bir iletim hattında kullanılan 100 MVA lık transformatörün eşdeğer devresinde yer alan seri kol ve paralel kol elemanların fiziksel anlamlarını açıklayınız.

73. ONAN/ONAF, 2 x 795, 1/0 ne anlama gelmektedir?

74. Alçak gerilim şebekeleri ile enerji iletim sistemlerindeki kısa devre hesapları arasındaki başlıca farklılıklar nelerdir?

75. 154 kV luk bir iletim şebekesinin analizi - bir paket program desteğinde - durum uzayında yapılacak olsa, sistemi karakterize eden durum denklemleri aşağıdaki genel formlardan hangisine karşılık düşer?

$\dot{x} = A\,x$

$\dot{x} = A\,x + Bu$

$\dot{x} = A\,x + Bu + B_1\dot{u}$

76. Bir kafes direk üzerinde spacer, damper, camper, direk topraklaması ve korunma teli gibi elemanları çizerek kısaca görevlerini açıklayınız.

77. Bir enerji sisteminde sıfır bileşen akımın akabilmesi için, gerek ve yeter koşul nedir?

78. Enerji iletim sistemlerinde kararlılık ve güç akışı analizlerinde hangi ön kabuller yapılır?

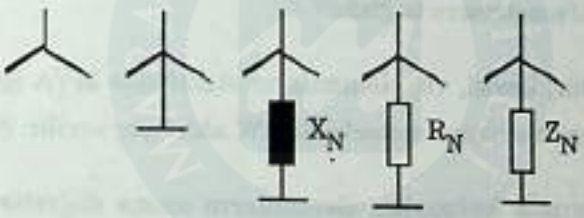
MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

79. Bir enerji sisteminin tek-hat diyagramı ile modellenebilmesi için, hangi kabuller yapılmış olmalıdır?

80. Bir iletim hattının empedans ve admitans değerleri her zaman sabit midir, neden?

81. Bir enerji sisteminde A,B,C,D sabitlerinin hesaplanmasının sağladığı yararlar nedir?

82. Bir enerji sisteminde, elemanların toprakla bağlantısı için aşağıda verilen bağlantıların üstün ve sakıncalı yönlerini kısaca açıklayınız.



83. Bir zincir askı izolatörde, zincir elemanların gerilimleri nasıl hesaplanır? Ark halkası bu gerilimler üzerinde ne gibi bir rol oynar?

84. Sonsuz güçlü şebeke nedir? Açıklayınız.

85. Bir kafes direğin topraklama direnci belirli bir değerin (örneğin 20 ohm'un) altına düşürülemiyorsa, ne (ler) yapılabilir?

86. Aynı gerilim ve güç değerlerine sahip hava hattı ve yeraltı kablosu için, hat kayıpları konusunda neler söylenebilir?

87. Bir hava hattı için, dört arızanın oluşumuna ilişkin -pratik- birer örnek veriniz.

88. Enerji sistemlerinde, **neden** akım dağılımı yerine güç akışı analizi yapılır?

89. Bir haliç üzerinden, 154 kV luk ulusal sistemin bağlantısı yapılacaktır. Bunun için;

- Atlama hattı
- Sualtı kablosu
- Haliç çevresini dolaşan normal hava hattı kurulması seçenekleri gündemdedir. Hangi seçeneğin daha ekonomik olduğunu bulabilmek için, ne tür ön bilgiler bilinmelidir?

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

90. "Eşit Alan Kriteri" hangi amaç için kullanılır?

91. Bir elektrik şebekesinde analiz yapılırken, hangi durumlarda kompleks sayılar terk edilerek gerçel sayılarla işlem yapılabilir?

92. Bir iletim hattı için, magnetik (B, H) ve elektrik (E, D) alan değerleri hangi parametrelere bağlıdır?

93. Transformatör, kesici, vb. elemanların etiketinde MVA (görünen) güç verilirken, asenkron motorlarda kW aktif güç verilir. Neden?

94. İletim hatlarında kullanılan elemanların anma değerleri, deniz seviyesinden yükseldikçe ne şekilde etkilenir?

95. Bir enerji sisteminde hat sabitleri (L ve C) üzerindeki "ilk koşullar" dikkate alınır mı?

96. Enerji sistem hesaplarında "ortogonal matris", "Jacobian matris" ve "benzerlik dönüşümü" hangi analizlerde kullanılır?

97. Bir enerji iletim hattında "toplam dalgalanan güç", ne zaman sıfırdan farklı değer alır?

98. Enerji sistem elemanları için, "Zaman sabiti" kavramını örnekler vererek açıklayınız.

99. 380 kV luk bir hat üzerinde faz sırası nasıl belirlenir?

100. Tek devre ve çift devre kafes direkler üzerinde transpozisyon (çaprazlaştırma) bağlantılarını ayrı ayrı çizerek gösteriniz.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ YAYINEVİ

ISBN: 975 - 400 - 236 - 3

Marmara Üniversitesi
Döner Sermaye İşletmesi
Teknik Eğitim Fakültesi
Matbaa Biriminde Basılmıştır.