

# Direnç Kullanılan Kapamalarda Optimum Direncin Hesaplanması \*

Yazan :  
T. Prof. Dr. Nevzat ÖZAY  
ODTÜ

## ÖZET

34,5 kV'un üzerindeki sistemlerde kapama manevralarından dolayı meydana gelen aşın gerilimler, yıldırımların neden olduğu gerilimlerden daha yüksek olmakta ve sistemin izolasyonu buna göre hesaplanmaktadır. Bu gibi sistemlerde kapama manevraları iki adımda yapılmaktadır, önce bir direnç üzerinden sistem, enerjilendirilmekte ve sonra bu direnç sistemden çıkartılıp normal besleme yapılmaktadır. İki adımda ve direnç kullanılarak yapılan manevralar ile kapamalarda meydana gelen gerilimler yıldırımlardan meydana gelen gerilimlerle aynı şiddette indirilmektedir (500 kV'a kadar sistemlerde). Bu konferansta kullanılacak direncin optimum hesabı ve gözönüne alınacak faktörler örneklerle incelenecek ve daha sonra yüksek, gerilimli sistemlerde kullanılması mümkün kapama usulleri anlatılacaktır.

## SUMMARY

Isolation coordination of systems higher than 34.5 kV, depends on transient overvoltages due to energisation rather than lightning surges.

High voltage lines of this sort are energised in two steps: First, the line is energised through a resistor and after a short time the resistor is short-circuited in order to save losses of energy. Using this method, it is possible to reduce the level of switching transient overvoltages, on systems of 500 kv at, to a considerable extent (usually down to a level of lightning surges). In this lecture calculation of the optimum level of switching resistor will be analysed by giving examples. Also, some principles of energising EHV systems will be mentioned.

Yüksek gerilim enerji (nakil hatlarının kullanılmalarının en mühim sebebi ekonomik olmalarından dolayıdır. Eğe.' bu ekonominin dahi büyük olması isteniyorsa, maliyete tesir eden en önemli faktör olan hattın izolasyon seviyesinin çok dikkatle incelenmesi gerekmektedir.

Bir nakil hattının izolasyonu tasarlanırken, bu hattın işletmeye girdiğinde izolasyonu zorlayacak her türlü aşın gerilimler gözönünde bulundurulmalıdır. Bunlar :

1. Sürekli rejim çalışmasında meydana gelen şebeke frekanslı aşırı gerilimler.
2. Açma ve kapamalardan veya sistemdeki arızalardan veya yıldırım çarpmalarından meydana gelen geçici yüksek gerilimlerdir.

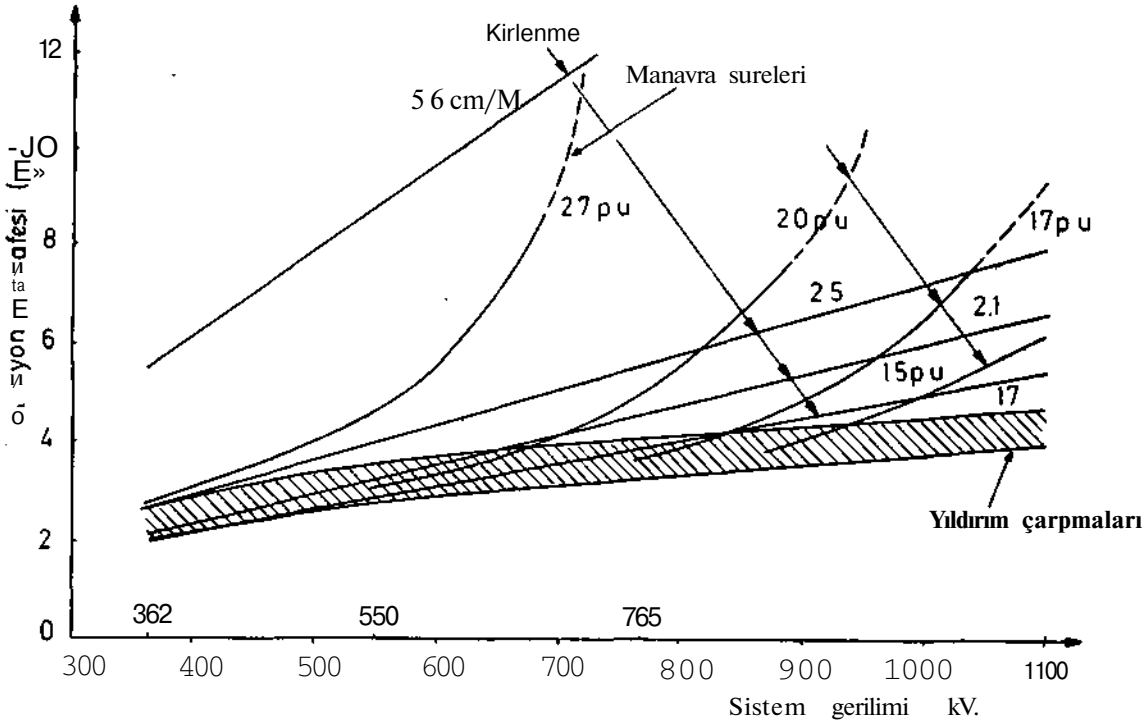
Yüksek gerilim sistemlerinin, ki bunlar 345 kV veya daha yüksek gerilimli sistemleri ihtiva etmektedir, kullanılmaya başlanması ile izolasyon tasarım kriterinde değişiklik olmuş, açma ve kapamalardan meydana gelen geçici yüksek gerilimler yıldırım çarpmalarından meydana gelen gerilimlerden daha yüksek olmaya başlamış, böylece de izolasyon seviyesinin bu gerilimlere göre yapılmasını zorlamıştır. Bu 345 kV'dan 1000 kV'a kadar yüksek gerilim sistemleri için gerekli olan izolasyon seviyelerini gösteren gekil 1 den görülebilir. 2.7 pu bir yüksek gerilim bu

normal kesici kullanan sistemlerde' tekrar kapamalardan dolayı meydana gelen maksimum geçici gerilim olup, 345 kV bir sistemde yıldırım çarpmalarından meydana gelen gerilimle izolasyon üzerinde aynı zorlamayı yapmaktadır. Şebeke gerilimi daha da arttırıldığında açma ve temlerinin başlıca arıza kaynaklarından biri artmakta, fakat yıldırım çarpmalarından dolayı gerekli izolasyon seviyesi aynı kalmaktadır.

500 kVlık şebekelerin ilk defa tasarlanırken eğer izolasyon seviyesi 2,7 pu kabul edilirse bunun hemen hemen yıldırım çarpmaları için lâzım gelen izolasyon seviyesinden % 40 fazla olduğu görülür. Böylece ilk defa kapama dirençlerinin kullanılması düşünülmüş ve eğer kapamalarda optimal bir direnç kullanılırsa meydana gelecek yüksek geçici gerilimleri 2.0 pu indirebileceği hesaplanmıştır ki 'bu seviye hemen hemen yıldırım çarpmaları için lâzım gelen izolasyon seviyesinin aynı olmaktadır.

Tek adım dirençli kapamalarda, enerji nakil hattı iki safhada enerjilendirilmektedir. Evvelâ direncin üzerinden yapılan enerjilendirme ve belirli bir müddet geçtikten sonra direncin kısa devre edilmesi. Bu iki safhaya bağlı olarak da iki geçici yüksek gerilim meydana gelmektedir ki, bunların genliği kullanılan direncin birer fonksiyonudur. Bundan dolayı direncin omik değeri öyle seçilmelidir ki iki safhada da meydana gelen geçici yüksek gerilim değerleri hemen hemen eşit olsun. Kapamalarda kullanılan direncin her zaman bir optimal değeri vardır ve bu

\* 9.2.1972 tarihinde EİE İdaresi salonunda verilmiştir.



Şekil 1. Enerji nakil hatları izalasyon seviyeleri.

da direnç üzerinden yapılan enerjilendirmelerden meydana (gelen aşırı gerilim ve direncin kısa devre edilmesinde meydana gelen aşırı gerilim eğrileri çizildiğinde bu iki eğrinin kesim noktası olanaktadır.

Aşağıda  $\tau$  direncin kayıpsız, tek hat bir sistem için optimal değeri hesaplanmıştır. Burada hattın direnç üzerinden enerjilendirilmesinden ve direnç kısa devre edilmesinden meydana gelen geçici yüksek gerilimler ayrı ayrı incelenmiş olup, böylece ikinci safha başlamadan önce sistemin sürekli rejime girdiği kabul edilmiştir.

Bir hattın sonsuz barodan enerjilendirildiğinde açık olan ucundaki geçici gerilimler yürüyen dalga metoduyla kolayca hesaplanabilir. Eğer hatta kalmış şarjdan dolayı bir  $V_1$  gerilimi varsa çözüm,

$$V = V_1 + \frac{2Z_0}{Z_0 + R} \cdot (V_1 - V_1) \cdot (e^{-Tp} + Ke^{-3Tp} + K'e^{-5Tp} + \dots)$$

Burada

$Z_0$  = hattın karakteristik empedansı,

$K = \frac{R - Z_0}{R + Z_0}$  dirençten dolayı meydana gelen yansıma katsayısı,

$T$  = dalganın hattın bir ucundan diğer ucuna gidiş zamanı,

$p$  = Laplace transform operatörü,

$V_a$  = Kapatma anındaki şebeke gerilimi

Şebeke gerilimi bir sinüs eğrisini takip ettiğinden açık olan uçtaki en yüksek genlik, eğer, disjunktör şebeke geriliminin tepe noktasında kapanırsa meydana gelecektir. Böyle bir durumda zamanla şebeke geriliminin, küçüldüğünden, açık uçtaki gerilimin  $T$  anında meydana gelen değer en yüksek olduğu görülecektir. O zaman,

$$V = V_1 + \frac{2Z_0}{Z_0 + R} (V_a - V_1) \quad (D)$$

veya

$$V_1 = V_1 + \frac{2}{1 + (R/Z_0)} (V_a - V_1)$$

denklemini, direnç üzerinden enerjilendirmelerde açık uçtaki tepe gerilimini verir.

Şimdi de direncin kısa devre edilmesinden meydana gelecek gerilimleri direnç ve hat karakteristik empedansı cinsinden inceleyelim.

Belirli bir müddet geçiş sistem sürekli rejimine girdiğinde direncin üzerindeki gerilim

$$V_r = \frac{R}{R + Z_0} V_a$$

Bu İfadede

$X_0 = -jZ_0 \cot(\gamma l)$  hattın beslenme noktasından görülen eşdeğer empedansı olup,

$l =$  hattın uzunluğu

$$\gamma = \omega \sqrt{LC}$$

Eğer dalganın ııkla aynı hızda Uerledgl kabul edilirse ve  $\omega = 2\pi f = 314.16$

$$\gamma = 1.05 \times 10^{-3} \text{ rad/km}$$

olmaktadır.

Hattın direnç ucundaki gerilim değeri ise;

$$V_s = \frac{X_0}{X_0 + R} V_0$$

Eğer açık olan uçtaki gerilimi ve akım beslenme noktasındaki gerilimi akım cinsinden İfade edersek;

$$\begin{bmatrix} V_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{Cosh } \gamma l & Z_0 \text{ Sinh } \gamma l \\ \text{Sinh } \gamma l & Z_0 \text{ Cosh } \gamma l \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ I_0 \end{bmatrix}$$

$I_0 = 0$  olduğundan

$$V_s = (\text{Cosh } \gamma l) V_0$$

veya 
$$V_0 = V_s / \text{Cosh } \gamma l =$$

çünkü hat kayıpsız olduğundan  $\text{Cosh } \gamma l = \text{Cosh } \gamma l$ 'dir. Bu İfadeden görüldüğü gibi açık olan uçtaki sistem sürekli rejimde' olsa bile beslenme noktasından daima yüksek olmaktadır ve bu da hat uzunluğunun bir fonksiyonudur. Bu olaya «Ferranti etkisi» denilmektedir.

Eğer direnç şebeke geriliminin tepe noktasında İken kısa devre edilirse, direnç üzerindeki gerilim dalga halinde hattın açık olan ucuna ilerleyecek ve o noktada iki katma çıkacaktır. O zaman bu İkinci safhadaki tepe geçici gerilimin genliğini,

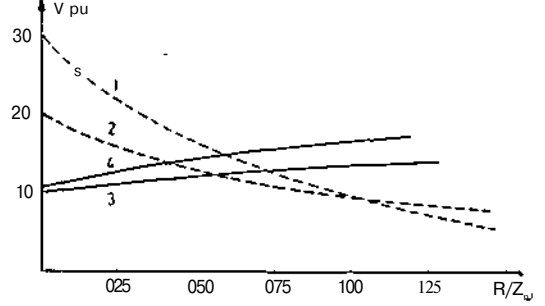
$$V = |V_0| + 2|V_r| \quad (2)$$

İfadesi verecektir.

Birinci ve ikinci denklemlerden meydana gelen gerilimler  $R/Z_0$  fonksiyonuna göre hesap edilip çizilirse Şekil 2 elde edilir. Buradaki eğriler,

1. Şarjlı herhangi bir uzunluktaki bir hattın direnç üzerinden tekrar kapama ( $V_i = 1.0 \text{ pu}$ ),
2. Her hangi bir uzunluktaki hattın direnç üzerinden enerjilendirilmesi,
3. Direncin 160 km bir hatta kısa devre edilmesi.

4. Direncin 320 km. bir hatta kısa devre edilmesi



Şekil 2. Direnç üzerinden kapamada ve direncin kısa devre edilmesinde meydana gelen gerilimler.

Bu hesaplardan görüldüğü üzere ani yükselme (surge) zamanındaki Ferranti etkisinden dolayı gerilim yükselmelerinin olmayacağı kabul edilmiştir ki bu tam olarak doğru değildir. Fakat zamanla frekansın devamlı bir şekilde değişmesinden dolayı bu ancak daha karmaşık bir çözüm metodu olan Fourier dönüşümü tekniği ile İncelenebilir. Normal bir trifaze sistemin İncelenmesinde de aynı zorluklarla karşılaşılacaktır. Şöyle ki karakteristik empedans sabit olmayıp frekansla değişmekte hat kayıpları, dIstor-siyon, dalgaların üç ayrı hızla İlerlemeleri, fazlar arasındaki kuplaj, fazların aynı anda kapanmaması ve beslenme noktasında bulunabilecek diğer empedanslar (hat, transformatör ve generatör empedansları) gibi nedenlerden optimal direnç değeri, şekilde görüldüğü gibi kesin bir değer olmamakta, daha ziyade eğrilerin bu noktada civarında yayık olmalarından dolayı genls, bir alanda optimal olabilmektedir.

Yapılan analizden de anlaşılacağı üzere, optimal direnç değerini etkileyen birkaç faktör bulunmaktadır. Bunlar arasında en önemlileri :

1. Hatta ilk tatbik edilen gerilim genliğini etkileyen hattın karakteristik empedansı,
2. Hattın kapasitif reaktansı ki, bu İlk safhanın sonunda sürekli rejim bağladığında direncin üzerindeki gerilimi tayin etmekte ve böylece de İkinci safhada meydana gelen geçici gerilimleri etkilemektedir.
3. Hat uzunluğu k) İkinci safhayı da «Ferranti etkisi» nden dolayı etkilemektedir.
4. Enerjilenen hatta şarj olup olmadığı (kapama veya tekrar kapama olması hali).

Optimal direncin değeri şekilde görüldüğü gibi tekrar kapamalarda normal kapamalara nazaran daha büyük olmaktadır. Hatlarda kalın-tı şarj yalnız birinci safhayı (direnç üzerinden enerjilendirme) etkilediği kabul edilmiştir ki bu şarj, kapama direnci üzerinden çok kısa bir müddette deşarj edilebilmektedir. Çünkü kapamalarda kullanılan dirençler açmaya nazaran çok da-

ha düşük değerdedirler. Değarın zaman sabitesi dirençle toplam hat kapasitansrın çarpımı ile elde edilmektedir ki bu da 400 ve 500 kV hatlar için ve 400 n'luk bir kapama direnciyle her kilometre hat için  $5 \wedge 8$  olmaktadır. Eğer direnç 4 veya 5 zaman sabitesi sonunda kapatılırsa, ikinci safhada meydana gelen yüksek geçici gerilimler devrede kalıntı yük olsun veya olmasın aynı olmaktadır.

Kalantıl yükü yapılan hesapta, ilk kapamada bu şarjdan dolayı meydana gelen gerilimle şebeke geriliminin aynı rolaritelerde oldukları farz edilmiştir ve bu gerilim 1.0 pu olarak kabul edilmiştir. Fakat bazı hallerde, bilhassa açma ve kapama zamanları arasındaki vaktin az olması ve havanın çok kuru olduğu günlerde bu değerin 1.20 pu olabileceği gösterilmiştir.

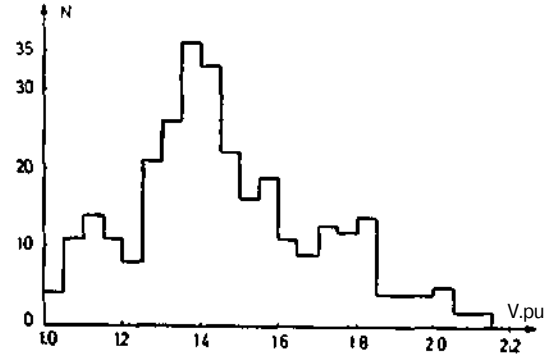
Optimal direnç seçmede en önemli faktörlerin birinde direnç üzerinde meydana gelen termik zorlanmadır. Bu işe dirençten geçen akımın karesine ve direncin devrede kalma zamanına bağlıdır. Umumiyetle direncin değeri optimal değerinden biraz daha büyük seçilerek akımın azaltılması ve böylece de termik zorlanmanın azaltılması cihetine gidilmiştir. Fakat daha evvelce de belirtildiği gibi eğrilerin optimal nokta civarında çok yayık olmalarından dolayı bu meydana gelebilecek yüksek gerilimleri fazla etkilememektedir.

Yukarıda yapılan analizde direncin kısa devrelenmesinin, sistem sürekli rejimde İken yapıldığı farz olunmuştur. Denklemlerden de anlaşılacağı gibi eğer direnç 2T vaktinden evvel kısa devre yapılırsa, yüksek gerilimleri tepe noktasının değerini düşürmede hiçbir faydası olmayacak, yalnız bu tepe noktaya erişme zamanını uzatacaktır. 2T zamanından sonra herhangi bir anda yapılan direnç kısa devreleme gerilim değerini azaltacaktır, fakat bunun maksimum olabilmesi için sistemin normal rejime girmesi lâzımdır. Aksi takdirde direnç kısa devrelemeden dolayı meydana gelen geçici gerilimler yükselecektir.

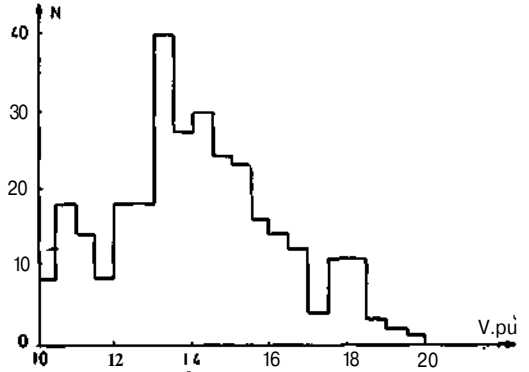
Geçici gerilimlerin tamamen yok olma zamanı, hattın karakteristik empedansına, uzunluğuna aynı baraya diğer empedanslar, hatlar ve direncin değerine bağlıdır. Son fazın kapanmasından sonra 10 ms bir zaman sistemin sürekli rejime girmesi yönünden kâfi bulunmaktadır.

Şekil 3'te 500 kV, 320 km trifaze bir hattın sonsuz bir baradan değişik direnç değerleriyle tekrar enerjilendirildiğinde meydana gelebilecek yüksek gerilimlerin İhtimaller hesabı ve Monte Karlo metodu kullanılarak bulunan histogramları gösterilmiştir [1]. Her hatta kalın yükün genliği 1,0 pu olarak kabul edilmiştir.

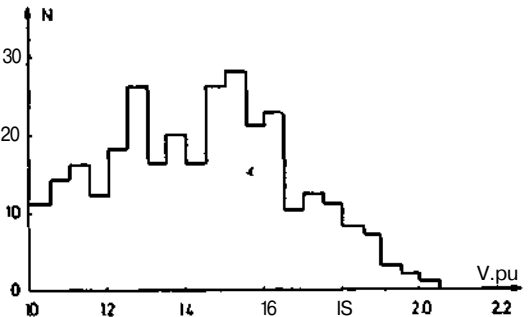
Şekillerden görüldüğü gibi gerilimler üç fazlı analizlerde daha büyük olmaktadır ki bunun sebepleri daha evvel belirtilmişti. Tine değişik



Şekü 3a. Hattm 200 f'luk dirençle kapatılmasında meydana gelen gerilimin histogramı.



Şekil 3b. Hatun 300 n'luk dirençle kapatılmasında meydana gelen gerilimin histogramı.



Şekil 3c Hattm 400 n'luk dirençle kapatılmasında meydana gelen gerilimin histogramı.

dirençlerden dolayı meydana gelen gerilimler arasında fazla fark olmamakta, fakat 300 çı kullanıldığında fen düşük değeri almaktadırlar. Diğer bir önemli nokta ise, bu hattın 50 Hz'deki karakteristik empedansının  $380 \Omega$ , civarında olduğu göz önüne alınırsa, optimal direnç değerinin tek veya üç fazlı analizlerde hemen hemen aynı kaldığı görülmektedir.

#### KAYNAK

- [1] özay, Nevzat: «Analysis of Energisation Transients of Transmtssion Lİnes», Ph.D. Thesis, University of Manchester, 1971.