

Sovyet Rusyadaki Enerji Şebekelerinde Çok Yüksek Gerilimli Enerjinin Taşınması¹⁾

Yazanlar :

B. P. Lebedev
Rusyanın Enternasyonal
Enerji Konferanslarına
iştirak eden üyesi

S. S. Bokotian
Enerji Sistemleri Araştırma
ve Dizayn Enstitüsü

Çeviren :

Ahmet ALKAN
Elek. Müh.
DSİ

ÖZET :

Bu makalede, Sovyetler Birliğinde halı hazır üretilen ve üretilecek olan enerjinin taşınmasının gelişmesi teknolojik malûmat olarak açıkça takdim edilmiş olup, çok yüksek gerilimli enerji taşınmasında karşılaşılmış olan güçlükler ve enterkonnekte şebekede elde edilen başarılar açık olarak izah edilmiştir.

GİRİŞ :

Sovyetler birliğinde 1965 senesinde 507 milyar kWh enerji üretilmiş olup, santralların toplam üretim kapasitesi ide 114.000 MW'a ulaşmıştır. 35 kV. ve daha yüksek gerilimli enerji taşıma hatlarının toplam uzunluğu 312.000 km olmuştur. Mart 1966 da Avrupa Rusyası'nın enerji bağlantıları 68.000 MW artmıştır. Enerji Endüstrisinin idaresi Sovyet Rusya Enerji ve Elektirikasyon Bakanlığının eli altında toplanmıştır. Bu bakanlığa bağlı enerji % 94'ü enterkonnekteye bağlı sistemlerde üretilmiştir. Üretilen enerjinin % 77 sini termik santrallar üretmekte olup, bu santrallar üretime hakim durumdadır. Hidroelektrik santrallar toplam, enerji üretim kapasitesinin % 22 sini vermektedir. Üretilen toplam enerjinin takriben % 1 de atom santrallarında elde edilmektedir. Termik santralların % 36'sı hem ısı enerjisi, hem de elektrik enerjisi verecek şekilde teçhiz edilmişlerdir.

Geçen yıllarda çok büyük enerji santrallarının inşaaı Sovyet güç endüstrisinin gelişmesinde çok önemli bir yön teşkil etmiş olup jeneratör gruplarının güçlerinde ve çok yüksek gerilimli taşıma sistemlerinde göze çarpan artmalar olmuştur Büyük termik santralların yeni kapasiteleri 1800; 2400 ve 3600 MW dır 1950 de tesis edilmiş olan türbogeneratörlerin

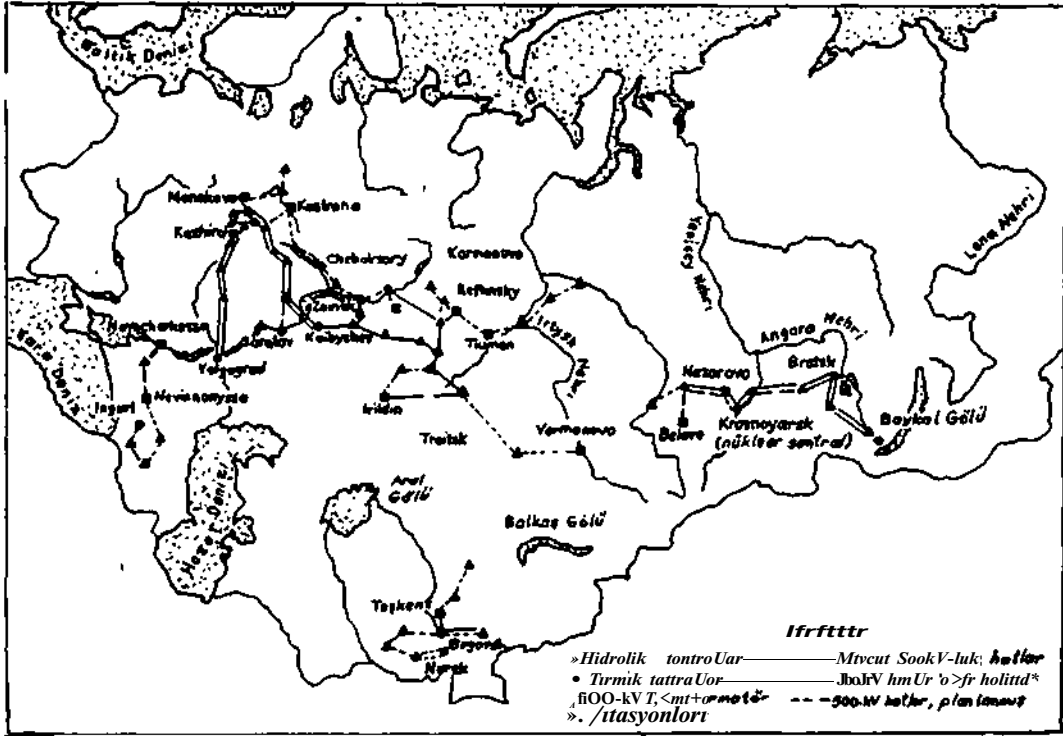
gücü 100 ilâ 150 MW arasında olmasına rağmen bugün Urallar, Donbass ve Sibirya da bulunan 12 adet termik enerji santralının herblrine ait güç 1000 MW ve daha büyüktür.

Meselâ 1965 de 15 adet 300 MW lık grup ihtiva eden ayrıca güçleri 150 - 300 MW arasında ve toplam gücü 22.000 MW olan 115 jeneratör grubu çalışmaktaydı. Şimdi Nazarovskaya'da ilk 500 MW İlk single - shaft (Tandem) jeneratörün ve Slavianskaya'da 800 MW lık eross - compaund jeneratörün tesisine devam edilmektedir.

Ayrıca, Avrupa Rusyası ve Sibiryada belit başlı nehirlerin üzerinde kapasitesi 1000 MW ve daha yüksek olan bir kaç büyük Hidroelektrik santrali bulunmaktadır. Bunlar; Volga nehri üzerinde İlk yapılan 2300 MW lık Volzhskaya I ve yeni yapılan 2500 MW lık Volzhskaya II santralları, Bratsk nehri üzerinde 1000 MW lık Votklnskaya ve 3800 MW lık Bratskaya santrallarıdır. Yapım halinde bulunan diğer Hidroelektrik Santrallar Aşağı Kama üzerinde 1080 MW İlk Nizhne - Kamskaya; Nurek nehrinde 2700 MW lık Nurekskaya; 5000 MW lık Krasnoyarskaya; 4300 MW lık Ust - Hımskaya Hidroelektrik santralları ve diğerleridir. Krasnoyarskaya santralında 500 MW lık gruplar tesis edilmiş olup bunlardan ikisi bu yıl işletmeye alınmıştır.

Büyük santrallarda üretilen enerjinin taşınması için taşıma hatlarında ve enerji sistem-

(*) IEEE SPECTRUM Dercisin'n 1967 Şubat sayısından çevrilmiştir



Şekil . 1 — Avrupa ve Orta Asya Rusyasındaki termik santralleri, hidrolik santralleri mevcut ve planlanmış çok yüksek gerilimli taşıma hatlarını, 500 kV. luk transformatör istasyonlarını gösteren harita

lerini birbirine enterkonnekte bağlamak için kullanılan ana gerilim 500 kV. luk alternatif gerilimdir. Sovyetler Birliğinde geçen üç yıl zarfında her sene 10 -11 milyon kW olarak enerji santrallerinin gücü muntazaman artmıştır. 1965 de elektrik enerjisi üretimindeki artış 1964 senesinden % 11 fazladır. 1970'şeye kadar yeni üretim İmkânları ile enerji üretimi her sene 15.000 - 18.000MW artacaktır.

SOVYET RUSYA'DA ENTERKONNEKTE ŞEBEKELER:

Elektrik santralleri 90 adet bölge enerji sistemini teşkil edecek şekilde enterkonnekte şebekeye bağlanmış olup her bir bölgede çalışan üretim merkezlerinin idari, ekonomik ve işletme kontrolleri kendi bölgelerinde yapılmaktadır.

Enterkonnekte sistemin yapısı : Bölge enerji sistemleri birleşerek enterkonnekte enerji sistemini meydana getirmişlerdir. Bu sistem 10 adet bölgenin birleşmesiyle meydana gelmiş olup bu bölgeler Merkez, Aşağı Volga, Orta Volga, Ural, Güney, Kuzey Batı, Kuzey Kafkasya, Kafkaslar ötesi, Orta Asya ve Merkezi Sibirya'dır. Çok yakında Kuzey Kazakistan, Baykal ötesi ve Uzak Doğu enterkonnekte enerji sistemleri teşkil olunacaktır. Kuzey Kutbu, Kamçatka, ve Sakalin bölgelerindeki enterkonnekte sistemler esas sistemin dışında çalışan enerji sis-

temleridir. Bütün iletim merkezlerinin kontrolü Sovyet Rusya'da Enerji ve Elektrifikasyon Bakanlığının idaresindedir.

Avrupa Rusyasındaki enterkonnekte enerji sistemlerinin gelişmesi yapılaş itibarı ile daha fazla imkâna sahiptir; Meselâ Avrupa Enerji Şebekesi; Merkez, Kuzey - Batı, Güney, Ural, Volga Havzası ve Kafkasya enterkonnekte sistemini İçine almaktadır. Bu enerji şebekesi kontrolleri gönderme merkezinden yapılan primer gönderme merkezine sahiptir. Avrupa Enerji şebekesinin Üretim kapasitesi 1 Ocak 1966 da 68.500 MW'a erişmiştir.

Taşıma ve dağıtım hatları : 1966 yılının başlaması ile Rusyada çok yüksek gerilimli enerji nakil hatlarının uzunluğu (330 kV ve daha yüksek) 15.300 km. olmuştur. (Tablo 1're bakınız).

Geçen 5 yıl esnasında 35 kV ve daha yüksek olarak senede tesis olunan taşıma hatlarının uzunluğu takriben 32.000 km. olmuştur. 35 -150 kV. luk gerilimler dağıtım hatlarında kullanılmakta olup 220 kV. luk hatlar bölge enerji sistemlerinde bazı sistem hatları olarak kullanılmaktadır. Fakat büyük enerji sistemlerinde yüksek seviyeli bir enterkonneksiyonla 220 kV. luk hatların ayrıca dağıtım hatları olarak kullanılması tahkik olunmaktadır.

330 kV. ve daha yüksek gerilimli taşıma hatları elektrik enerjisinin büyük bir kısmını uzun mesafelere taşımakta olup ayrıca enterkonnekte enerji sistemlerinde baz sistem olarak kullanılmaktadır. 330 kV luk hatlar' Güney ve Kuzey - Batı kısmen de Kafkasya olarak iki enterkonnekte sistem halinde tesis edilmişlerdir. Diğer enterkonnekte enerji sistemlerinde 500 kV. luk taşıma hatları kullanılmaktadır.

ilk 500 kV. luk taşıma hattı (tik devresi Volgograd'dan Moskova'ya kurulmuştur) takriben 1000 km. uzunluğunda- olup 1959 da hizmete girmiştir. 1963-1964 de Kuibyshev - Moskova çift devreli taşıma hattı ve Kuibyshev - Ural tek devreli taşıma hattı 400 kV. ile çalışırken 500 kV. ta döndürülmüşlerdir.

Toplam 25 adet 500 kV. luk transformatör istasyonu çalışmakta olup bunlardan altısı santrallarda yükseltici transformatör olarak onyedisi indirici transformatör olarak çalışmaktadır, ve iki adet de tesis olunmaktadır.

1966 da 13 adet transformatör istasyonu ve takriben 2000 km. 500 kV luk taşıma hattının inşasına başlanmıştır.

TABLE I
SOVYET RUSYA'DAKİ TAŞIMA
HATLARININ UZUNLUĞU

Gerilim kV.	Uzunluk bin km.	Toplamı taşımanın yüzdesi
800*	0,5 1	
500	8,0	2,8
400	0,2 J	
330	6,6	2,1
220	34,2	11,0
110-150	129,3	41,5
35	132,5	42,6

* Volgojrad-Donbass arasında plânlanmış olan DC taşıma hattıdır

500 kV. luk taşımanın gelişmesi : 500 kV. luk taşıma hatlarının gelişmesinin ilk zamanlarında taşıma kapasitesi devre başına 1000 MW olan müstakil olarak takriben 1000 km. uzunluğunda hat inşa edilmişti. Şimdi ise temayül 500 kV. tun çok daha üzerine çıkmak yönündedir. Bu şebekenin ayn kısımlarındaki yakın transformatör istasyonları arasındaki mesafeler nisbeten kısadır (300 km. ve daha az) tik başlarda olmasına rağmen 500 kV. luk taşıma hatları büyük hidroelektrik santrallarda üretilen enerjinin taşınması için temel olarak kullanılmakta olup, bu hatlar şimdi hem günlük hemde mevsimlik esaslara göre enterkonnekte sistemler arasında enerji değişimi için kullanılmaktadır.

Benzer bir gelişme metodu Güney ve Kuzey - Batı enterkonnekte sistemlerindeki 330 kV. luk hatlarda olmaktadır.

İletkenler, Akım yoğunlukları ve Şönt reaktans bobinleri: Rusyadaki çok yüksek gerilimli 500 kV. luk hatların çoğunda faz başına üç adet ACSR iletken kullanılmakta olup herbir iletkenin aliminyum kısmının kesiti 500 ranü dir. Bazı hatlar düşük yük taşıdıklarından faz basma 400 mm= lik üç adet iletken vardır, iletkenler 400 mm. kenar uzunluğunda bir eşkenar üçgenin tepelerinde olacak şekilde tertip edilmişlerdir. 330 kV. luk taşıma hatları faz başına iki adet iletkenine sahip olup herbir iletkenin aliminyum kısmının kesiti 300 veya 400 mm2. dir.

Avrupa RusyasındaK ekonomik akım yoğunluğu iletkenin aliminyum kısmı için 0,6 - 0,8 A/mm= dahilindedir, fakat Asya Rusyasında enerjinin maliyeti düşük olduğundan ekonomik akım yoğunluğu 0,8 ilâ, 1,0 A/mm*.ye kadar çıkmaktadır.

Yükseltici ve alçaltıcı transformatör istasyonlarındaki 500 kV.luk ana baralar ile ara transformatör istasyonları, ve salt sahalarındaki birleştirme şemaları 500 kV çift devreli taşıma hatları için dizayn edilmiştir.

Böylece şemalar taşıma sisteminin ayrı bölümlerindeki arızalar esnasında operasyon esnekliğini ve geçici stabllite icapları ile ilgili olarak yüksek bir taşıma kapasitesini emniyetle temin eder. Kısa 500 kV. luk radyal ve tek devreli tali hatlar normal olarak yüksek güçlü çift devreli hatlar vasıtası ile desteklenmektedir.

Şönt reaktans bobinleri, 500 kV. luk hatlarda mecburi olan düşük yükte çalışma dunımlanında reaktif güç akışlarını ve güç kayıplarını azaltma vasıtasıdır. 1000 km. uzunluğunda 500 kV. luk taşıma hattı için özgül kapasite taşınan aktif enerjinin her kilowattı için 0,7 - 0,9 kVAR'dır.

Uçta ve arada bulunan transformatör istasyonlarındaki gerilimin seviyesi ve taşımadaki güç kayıplarının azaltılması için ve dahili aşın gerilimleri azaltmak için hat boyunca yerleştirilen şönt reaktans bobinlerine özel bir ihtimam verilmektedir. Bu teçhizatın % 70 şı 500 kV. luk kısma tesis edilmiştir. Şönt reaktans bobinleri toplamının 1/3 ü kesicisiz olarak taşıma hattının sonuna, 2/3 ü devre kesicileri ile birlikte arada bulunan transformatör istasyonlarına doğrudan doğruya bağlanmıştır.

Fazla yüklü durumlarda ara transformatör istasyonlarında bulunan şönt bobinlerden bir kısmı hattın taşıma kapasitesini arttırmak ve güç kayıplarını azaltmak için açılır.

Şönt reaktans bobinleri uzun mesafeli taşıma hatları sonunda alıcı olarak kullanılmamaktadır, çünkü reaktif enerji yan yana bulunan alıcı enerji sisteminde kullanılan 500 kV luk hat kısmı ile üretilmektedir, ve bu durum alıcı transformatör istasyonlarında tesis edilmiş olan senkron kondansatörlerin kapasitesini azaltmaktadır

Yüksek taşıma kapasitesine haiz 500 kV. luk uzun mesafeli taşıma hatları (1000 km. ye kadar devre başına 750 -1000 MW) demet iletkenler kullanmakla, salt sahalarını veya ara transformatör İstasyonlarını İnşa etmekle, yüksek hızlı koruyucu teçhizatı ve devre kesicilerini kullanmakla, kondansatörler vasıtasıyla seri kompanzasyon yapmakla ve enerji hattına çeşitli otomatik cihazların tedariki ile meydana getirilmiştir.

500 kV. LUK HATLAR İÇİN KORUMA CİHAZLARI :

özel öneme haiz bu cihazlar arasında uzun mesafeli taşımının stabilitesini düzeltmekte kullanılan regülâtörler ve karşı bozukluk meydana getiren otomatik sistem cihazları vardır. Uzun mesafeli taşıma hatlarına enerji veren santrallardaki hidrolik generatörlerin regülasyon alanının kuvvet tesiri, sabit durum stabilitesinde ya hattın kaynağında veya elektrik! kapalı bir noktada sabit gerilimin İcaplarına göre kabul edilen bir limite kadar artar. Sabit durum stabilite limitindeki bu tarzda meydana getirilen artma %(8-10) arasında hesap edilmiştir. Bu tesir akım regülasyonu ve frekans regülasyonu vasıtası ile meydana getirilmiştir.

Alıcı transformatör istasyonlarındaki büyük kompensatörlerin kuvvet tesirli alan regülasyonunun kullanılması ile hayli tesir elde edilmiştir. Bu tesir alıcı güç sisteminin azaltılmış eşdeğer reaktansına sahiptir.

Kuvvet tesirli alan regülâtörleri ve dayanıklı elektronik İkazlar geçici stabilitede senkron güç salınımlarının çabuk söndürülmesinde ve normal çalışma durumlarında meydana gelen tehlikeli gerilim değişim karşılıklarının ümitlenmesinde hayli düzeltme temin etmiştir.

İlk 400 kV. luk Kubyshev - Moskova hattı tamamlandığı zaman 1950 yılının ortalarında özel sistemli otomatik cihazların takdimi yapılmıştır. Tecrübe edilmiş bu hattaki on yıllık çalışma deneyi yüksek randımanlı bu cihazları ve bundan türetilen cihazların bu teçhizat için geniş bir ihtiyaca cevap verdiğini göstermiştir.

Otomatik cihazların vazifeleri : Şimdi Sovyetler Birliğinde 500 kV. luk taşıma hatları aşğıdaki hususları gerçekleyen otomatik cihazlar ile teçhiz edilmiştir.

1. Sabit durum ve geçici stabilite karışıklıklarını önler.

2. Senkronizm esnasında meydana gelen tehlikeli durumları önler.

3. Uzun mesafeli taşıma hatlarında meydana gelen sistem arızaları esnasında mahalli ve ara enerji sistemlerindeki tehlikeli güç dalgalanmalarını elimine eder.

4. Taşıma teçhizatındaki tehlikeli sabit gerilim artmalarını ve teçhizat elemanlarında meydana gelen ağırı yüklenmeyi elimine eder.

TABLO II
500 kV.LUK HATLARDA MEYDANA GELEN ARIZALAR

Seneler	Periyodun sonundaki hatların toplam uzunluğu km	Arıza kaynaklarının sayısı		
		Firtmasız	Yıldırım	Toplam
1956-58	2595	11	3	14
1959-60	3810	46	4	50
1961-62	7127	55	21	76
1963-64	8075	60	14	74
Toplam		172	42	214

Kritik aşırı yüklenmenin sebep olması ile bir arızasız hatta meydana gelen stabilite karışıklıklarını önlemek için, hem taşınan enerjiyi hemde hidrolik santraldaki bazı genaratörlerin devre harici olması ile meydana gelen yük azalmalarını kontrol eden yardımcı otomatik yük - atma teçhizatı kullanılır. Hidrolik santralin çeşitli yönlere giden enerji taşıma hatlarını beslemesi halinde veya hidrolik santral büyük bir mahalli enerji sistemine bağlanmışsa otomatik sistem yük - atma teçhizatını harekete geçirerek sistemi izole eder.

Çift devreli bir taşıma hattının ilk kısmına ait devrelerden birisinde bir arıza vuku bulduğu zaman otomatik yük - atma teçhizatı arızanın seyrine göre çalışır. (Yani, röleler harekete geçerek devre kesicilerini açtırır ve enerji arızasız devreye transfer edilir). Çift devreli taşıma hattında arıza olduğu zaman hattın ara yerlerinde bulunan noktalardaki koruma elemanları ile otomatik cihazlar birlikte çalışarak hidroelektrik santrallardaki ana baralan izole veya telekomünikasyon kanalları yolu ile bazı genaratörleri devre harici ederler.

Bu otomatik cihazlar farzlar arası kısa devre olduğu zaman (iki faz arasında ve iki fazın topraktan kısa devre olması) hem geçici stabiliteyi ve hemde sabit durum stabilitesini gerekli

hudutta (%8den küçük değildir), arızadan sonraki durumlar içinde devam ettirir. Eğer stabilite bozuklukları hâla devam ediyorsa bu hal bir asenkron durum meydana getirir, bu durumda özel otomatik cihazlar hattı açarak mahalli enerji sisteminden ve diğer taşıma hatlarından izole ederler, böylece asenkron durumun etkisinden kurtulmuş olunur. Yapılan deneyler göstermiştir ki bütün pratik durumlarda hızlı senkronlama 15 - 20 saniyede elde edilmiştir.

Düyük kapasiteli enerji sistemine alt hattın açılmasına sebep olan tehlikeli enerjitransferlerini önlemek için uzaktan kumandalı otomatik cihazlar kullanılmaktadır. Diğer otomatik teçhizat ayrıca aktif ve reaktif güç transferleri için kullanılmakta olup, aynı zamanda elektrik santralleri ile mahalli enerji sistemlerine ait ana baralardaki gerilim ve frekans için de kullanılmaktadır, ilâve olarak bu teçhizatın yukarıda adı geçen parametrelerdeki bazı genaratörleri devre harici etmesi mümkündür.

Otomatik cihazlar, tek taraflı olarak hat açılmasının sebep olduğu devamlı tehlikeli gerilim artışlarını önlemekte kullanılır, normal olarak 500 kV. luk bara gerilimleri kontrol edilemez, fakat 500 kV. luk taşıma hatlarındaki reaktif enerji akışları kontrol edilir. Bu teçhizat açılmış şönt reaktans bobinlerindeki bağlantı için, tek taraflı bağlanmış hatların açılması için, ototransformatörlerin açılması için farklı değerlerdeki zaman gecikmeleri ile kademeli olarak çalışır.

Diğer otomatik metod ise telekomünikasyon vasıtası ile Moskova - Kuibyshev taşıma hattının yüksüz olarak uzaktan kumanda etme metodudur, bu şöyle olur; Paralel bağlanmış statik kondansatörlerden sırası ile bir kısmının açılması sonucu seri kondansatörler aşırı olarak yüklenir. Bu tarz otomatik frekans kontrollü açma ve otomatik frekans cevap vermeli tekrar kapama olarak bilhassa önem kazanmıştır. Bu teçhizat Rusya'daki bütün enerji sistemlerinde kullanılmakta olup, ani güç kayıpları ve frekansta tehlikeli bir düşmenin sebep olduğu arızaların önlenmesine hizmet etmektedir.

Müşteri güç ihtiyaçlarının hesap edilmesi: Otomatik frekans kontrol teçhizatı vasıtası ile izole edilebilen muhtelif müşterilerin kullandığı enerji miktarı her bir enerji sistemi için hesap edilmiştir. Bu tahmin işi olağan hadiselerin meydana getireceği tesirler dahil edilmekten yapılmıştır, meselâ frekans ve gerilim artması gibi bu durumlar altında santrallerin veya izole edilmiş kısımlarda bulunan ayrı enerji sistemlerinin ve genaratörlerin aşırı yüklenmesine sebep olan İzolasyonlu alanların bozulması neticesinde açma yani devre harici olması icab eder. Enerji is-

temlerinin çalışma durumlarına bağlı olarak farklı şekilde tadil edilmiş frekans kontrollü otomatik teçhizat kullanılır. Bu teçhizatlar farklı frekanslara ayarlanmış veya farklı zaman gecikmeli olarak genel bir frekansa ayarlanmış yüksek bir hızla açan cihazları ihtiva etmekte olup, şebekenin ayrı kısımlarındaki mahalli arızadan elimine etmek için özel otomatik cihazları da ihtiva etmektedir.

Yapılan tecrübeler göstermiştir ki enterkonekte sistemlerin gelişmesi ile 500 kV. luk şebekelerin kurulması neticesinde otomatik teçhizatın yardımı olmadan sistem arızalarının hızlı olarak elimine edilmesi veya önlenmesi pratik olarak çözümlenememiştir.

Taşıma kapasitesinin önemi : Güvenilir bir enterkonekte sistemin gelişmesi için birinci şart çok yüksek gerilimli taşıma hatlarının meydana getirdiği sistemin taşıma kapasitesidir. Sovyetler Birliğinde bu hayati durum hem plânlama safhasında olan hem de çalışmakta olan şebekelerde nazarı itibara alınmıştır. Avrupa Enerji Şebekesinde birbirine bağlı olarak ayrı bir enterkonekte sistem meydana getiren 330 ve 500 kV. luk taşıma hatlarının kapasitesi küçük enerji sistemlerinin toplam kapasitesinden % (30-60-100) değişiktir.

500 kV.LUK TAŞIMA HATLARININ KONSTRÜKSİYON DETAYI'UTI

400 kV. luk ilk taşıma hattı için H - şekilli kendinden destekli askılı pylonlar kullanılmış olup, bu pylonlarda iletkenler yatay olarak asılmıştır. Fakat 1965 de gergili çelik kablolar vasıtası ile desteklenen H-şekilli olarak yapılmış yeni bir 500 kV. luk pylon şekli plânlanmıştır. 1957 -1958 senelerinde yapı çeliğinden tasarruf maksadıyla betonarme olarak yapılmış askı direkleri dizayn edilmişti.

Yapımda karşılaşılan bazı zorluklar: Bir çok hallerde 500 kV. luk hatlarda otomatik açma olmuştur. Bu arızalar buz yükünden dolayı olup, bunun neticesinde iletkenler ve çelik kablolar (toprak iletkenleri) boşlukta aşırı olarak sarkarlar; bu durum pilyonda bulunan iletkenler ve çelik teller arasındaki yatay ve düşey açıklıkları kifayetsiz duruma sokmaktadır. Bu duruma, iletkenler ve toprak telleri arasında bulunan açıklıkları yatay olarak 2,4 — 4,5 m. düşey olarak 11 m. kadar artırmak suretiyle çare bulunmuştur.

500 kV. luk hatlarla çalışırken hat teçhizatının dizaynında bazı düzeltmeler yapılmıştır. Bilhassa askı ve gergi izalatörlerinin asılması ile açma kapasitesi arttırılmış ve sıkıştırıcıların sırtlı tutma kuvveti düzeltilmiştir.

Demet iletkenleri pilona daha emniyetli ve iyi bir şekilde bağlamak için her faza alt iletken ayrı bir traverse bağlanmıştır, ve bağlayıcılar hem yatay hem dikey olacak şekilde asılmışlardır. Rusyada 1956 -1964 yılları arasında 500 kV.luk hatlar için elde edilen işletme neticeleri Tablo II de verilmiştir. Daha fazla malûmat vermek için bu tablo ayrıca 500 kV.luk ve geçici olarak kullanılan 220 ve 400 kV.luk hatlar hakkında bilgileri ihtiva etmektedir. Tablo III fiziki durumları ve tipik 330-500 kV.luk taşıma hatlarının maliyetlerini vermektedir.

Yıldırım arızaları ve neticeleri : Sovyetler Birliğinde ki 500 kV. luk hatlarda meydana gelen yıldırım arızaları çok nadirdir; çünkü:

1. Taşıma hattının güzergâhı boyunca senede yalnız 20 - 25 fırtınalı gün vardır.

5. İzalatör zincirinin izolasyonu seviyesi ark atlamaları için kifayettir.

İlave olarak Rusyada ki 500 kV.luk hatlarda meydana gelen yıldırım arızaları anlatıldığı üzere nadirdir.

500 kV.luk hatlara otomatik tekrar kapama 1961-1962 yıllarında girmiştir.

750 kV.luk ÇOK YÜKSEK GERİLİMLİ HATLAR

5 yıllık periyot esnasında enterkonnekte sistemlerinin kapasitesi % (150 - 200) artmıştır. Böylece şebekenin uzunluğuna, yük yoğunluğuna ve yükün büyümesine bağlı olarak 15 - 20 yıllık periyotta 330 kV.luk şebekenin gerilim taşıma kapasitesi tamamen istifade edilecek duruma gelecektir. Hesaplanmış olan 500 kV.luk

T

TABLO III

330 ve 500 kV.LUK HATLARIN MALİYETLERİ VE DURUMLARI

Açıklama	330 kV	500 kV
Taşınan efektif güç, MW	300-350	900-920
Hattın km sinin maliyeti, bin dolar	22-33	33-38,5
Pilonlar ve tesisler için kullanılan çelik miktarı, ton/km.	8-20	12-24
km başına kullanılan ACSR iletkenler, ton	7-11	13-16
400 km lik hatta kW başına yatırılan sermaye, dolar	6,6-9,9	3,9-4,4
100 km nin üstünde 1 kWh m taşıma maliyeti, dolar	0,000 22-0,000 33	0,00017
Senede 100 km başına düşen arızaların spesifik sayısı	1,0-1,5	0,6
Dizayn dahili aşırı gerilim seviyesi (nominal gerilimle çarpı lir)	2,7	2,5

TABLO IV

750 kV.LUK HATTIN MALİYETLERİ VE KARAKTERİSTİKLERİ

Hattın km. in maliyeti, bin dolar	44-55
Pilonlar ve tesisatlar için kullanılan çelik miktarı, ton/km	35-40
km başına kullanılan ACSR iletkenleri, ton	25-30
100 km. lik hatta kW başına yatırılan sermaye, dolar/kV	2,2
100 km nin üstünde 1 kWh m taşıma maliyeti, dolar	0,000 044-0,000 055
Taşıma randımanı, %	91-92
Dizayn dahili aşırı gerilim seviyesi (nominal gerilimle çarpılır)	2,1
Pilon tipi	H-ŞekUli, gergili, çelik
Pilon yüksekliği metre ,	30
Travers uzunluğu, metre	3,5

2. Tek devreli H-şelulh püonların yüksekliği 30 m den fazla değildir.
3. 20-30 derecelik koruyucu faz açılı iki adet toprak teli hattın boyunca kullanılmaktadır.
4. Pilonun topraklama direncinin değerleri düşüktür (normal olarak 5 ohm dan daha az)

şebekenin gerilim kapasitesi 20 - 25 yıl içinde tahakkuk ettirilecektir. Bu kritik zaman periyodu geçerken taşıma hatları sisteminin taşıma kapasitesi kâfi gelmeyecek ve tehlikeli sistem arızaları artacaktır. Böylece var olan yüksek taşıma kapasiteli şebekelerle birlikte süper gerilimli yem şebekelere ihtiyaç duyulacaktır.

Şimdiki halde Güney enterkonnekte sistemi için 750 kV.luk bir şebeke plânlama durumun-

da olup, büyük hidrolik santrallardan veya bir grup büyük termik santraldan 1000 km. ye kadar olan uzun mesafelere 2500-3000 MW.lık enerjiyi taşımak için çok yüksek gerilimli bu hatlar kullanılabilir. Bu gibi taşıma şemaları 1970 den sonra tahakkuk ettirilebilecektir.

Tecrübe taşıma hattı : 750 kV.iuk hatların inşasını kolaylaştırmak için taşıma kapasitesi 1250 MW olan 750 kV. luk bir tecrübe ve endüstriyel hattı 90 km» olarak Konakova — Moskova arasında yapılmıştır. Her faz 4 iletkenli olup, iletkenlere kenarı 60 cm. olan bir kare demet şekli verilmiştir. Her devrenin efektif kapasitesi 2200 - 2500 MW dır. Dört iletken den her birinin kesiti 600 mm² dir. Bu kesit Merkezi Avrupa Rusyasına hakim olan iklim şartlarındaki 20-25 kW/km kayıpların dkkate alınması ile meydana çıkan ortalama[^] yıllık kayıplara göre hesap edilmiştir.

Tablo IV tipik bir 750 kV.iuk hattın uygun olan bazı fiziki ve ekonomik karakteristiklerini vermektedir.

Bir enterkonnekte sistemin kurulmasında karşılaşılan problemler : Avrupa Rusyası, Kuzey Kazakistan ve Merkezi Sibirya gibi büyük

Urallar ve Avrupa Rusyasına taşınacaktır.

2. Urallar ve Avrupa Rusyasında termik santralların inşası ile Sibiryadan demiryolu ile kömür taşınacak ve mahalli derin kömür ocaklarından kömür çıkarılması artacaktır.

Bu İki alternatifte ait kıyaslama neticeleri 1980 senesi hedef alınarak tablo V de gösterilmiştir. Bu tablodan ilk alternatifin avantajları görülmektedir, çünkü küçük bir yatırım kapitali ve yıllık işletme sarfiyatı azdır.

Uzun mesafeli taşımanın teknikleri: Teorik ac taşıma teknikleri çok uzun mesafeli taşıma hattına tatbik edilemez ve bundan dolayı bu durum kompanse edilmiştir veya rezonanslı taşıma hattı kullanılmaktadır. Bu durum İlave teçhizat gerektirmektedir; meselâ şönt reaktans bobinleri, statik kondansatörler, senkron kompanseörler gibi. Bu ilave teçhizatda toplam maliyet hayli artmaktadır.

750 -1000 MW taşıma kapasiteleri olan 500 kV.iuk tek devreli taşıma hatlarının taşıma kapasiteleri bütün Rusya'ya ait olan Enerji Şebekesi için kâfi gelmemektedir. Eğer ara enerji

TABLO V
DEĞİŞİK GÜÇ ŞEMALARININ KIYASLANMASI

Alternatif	Alıcının sonunda		Tesis edilmiş termik elektrik santrallarının kapasitesi milyon kW	Yatırılan* toplam kapital, milyar dolar	Yıllık işletme maliyetleri, milyon dolar	Alıcının sonundaki enerji maliyeti dolar
	Enerji, milyar kWh	Gtç, bin MIV				
1. Doğu bölgelerinden enerjinin taşınması	225,2	31,7	37,9	5,31	515	0,0013
2. Mahalli ve Asya kömürlerinin kullanılması ile termik santralların inşası	225,2	31,7	33,3	5,58	1027	0,0046
* Yakıtın çıkarılması, santralların inşası, taşıma hatları ve yeniden inşa olunan demir yolları dahildir.						

ekonomik alanları İçine alan enterkonnekte enerji sistemlerinin bağlanma işi 500 kV.iuk hatlarla 1970 yılına kadar bitirileceği tahmin edilmektedir, veya aynı durum Avrupa Rusyasında bulunan derin kömür damarlarının işlenmesi çok pahalıya mal olduğundan dolayı da olacaktır. Böylece hem teknolojik hem de ekonomik görüş noktalarından iki alternatif mütalâa edilmiştir.

1. Kahverenkli kömürden ucuz yakıt kullanmakla Sibirya ve Kuzey Kazakistanda büyük termik elektrik santralları inşa edilecek ve enerji çok büyük kapasiteli olarak çok yüksek gerilimli hatlarla

sistemi bağlantılarının taşıma kapasitesinin değerleri düşükse (küçük enterkonnekte sistemlerinin toplam kapasitesinin % 15 i) bu bir baz olarak alınmalıdır ve bu değer kâfi olmıyan bir durum olarak dikkate alınmıştır. Bundan sonra 1975 e kadar Kuzey Kazakistan sistemi ve Batıyı besleyen Avrupa Şebekesi arasında aynı zamanda hem Kuzey Kazakistan hem de Merkezi Sibirya arasındaki bağlantıların minimum taşıma kapasitesi herbirine ait olmak üzere 3000 MW dan aşağı olmıyacaktır. Avrupa Şebekesi ve Merkezi Sibirya sistemi arasındaki ara bağlantılarının taşıma kapasitesi 6000 - 9000 MW arasında olacaktır.

Yüksek gerilimlerin lüzumu : Avrupa şebekesi, Kazakistan, Merkezi Sibiryaya ve daha sonra Orta Asya'ya ait enterkonnekte şebekeler için yukarıda izah edildiği üzere 500 kV ve daha yüksek gerilimli taşıma hatlarının lüzumlu olduğu aşikâr olarak görülmektedir. Bundan dolayı Rusya'daki R ve D enstitüleri 750 ve 1000 - 1100 kV.luk ac taşıma hatlarının aynı zamanda bütün Rusya enterkonnekte şebekesini meydana getirmek için 1500 - 200 kV.luk de hatlarının imkânlarını araştırmaktadır. Doğu - Batı yönünde de taşınması ve Kuzey - Güney yönünde ac taşınması gibi kombine bir çözümün imkânları ayrıca dikkate alınmıştır. Bu alternatif çözüm Rusyada doğudan batıya elektrik enerjisi akış gerçeği ile öğrenilebilmiştir.

Fosil yakıt kaynakları : Rusyadaki elektrik üretimi 1970 e kadar 830 - 850 milyar kWh olarak plânlanmış olup, 1975 ve 1980 yılları içinde bu değer takriben 1450 - 2400 milyar kWh olarak hesaplanmıştır.

Avrupa Rusyasında tabii gaz ve petrolün bulunmasıyla yakıt tüketimi % 70 artacaktır.

TABLO VI

KRASNOYARSK'TAN URALLARA KAHAR OLAN ÇOK YÜKSEK GERİLİMLİ ENERJİ TAŞINMASINA AİT EKONOMİK MALİYET MUKAYESESİ

Taşımanın tipi	Yatırılan kapital, milyon dolar olarak	Senelik maliyet, milyon dolar olarak
1500 kV de Alternatif akım :	253	22,9
100-kV rezonanslı taşıma	281	28,2
1000-kV kompanse edilmiş taşıma	410	38,9

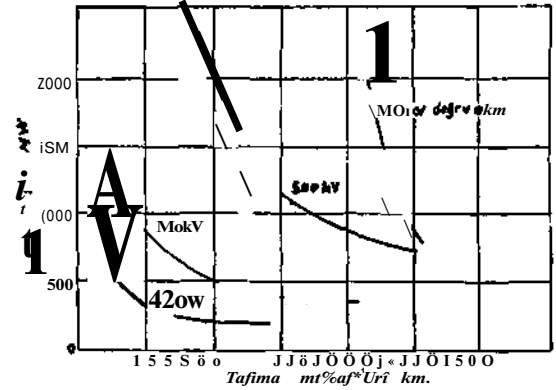
TABLO VH

KAZAKİSTAN'DAN TOMBOVA YAPILAN ÇOK YÜKSEK GERİLİMLİ TAŞIMA HATTINA AİT EKONOMİK MALİYET MUKAYESESİ

Taşımanın tipi	Yatırılan kapital, milyon dolar olarak	Senelik maliyet, milyon dolar olarak
1500 kV de Alternatif akım :	275	24,3
100-kV rezonanslı taşıma	334	34,9
1000-kV kompanse edilmiş taşıma	517	49,5

Fakat bu dengede ekonomik bir problem 1970 den itibaren 10 yıl içinde zuhur edecektir, çünkü Merkezi Sibiryaya ve Kuzey Kazaklıstandaki açık maden ocaklarından elde edilen kullanılması ucuz fakat taşınamayan kahve renkli kömürü (kanal kömürü) ihtiva eden Avrupa Rusyasının yakıt dengesi takriben % 30 bozulursa bu durum zuhur edecek yüksek gerilimli de taşıma hatlarında en başta olarak stabilite sınırları yoktur fakat bu hatlar düşük dahili aşırı gerilimlere sahiptir. Taşıma kapasitesi devre başına 10.000 - 20 000 MW olan 2000 - 4000 km.-lik uzun mesafeli taşıma hatlarının inşaatı için bir ortam mevcuttur

2000 km.lık Krasnoyarsk - Urallar ve 2500 km.lık Kuzey Kazakistan - Tambov uzun mesafeli taşıma hatları için de ve ac taşınmasının dizayn ve ekonomik karakteristiklerine ait bir kıyaslama çok yüksek gerilimli de taşınmasının ekonomik avantajlarını göstermektedir. (Tablo VI, VH ve şekil 2 ye bakınız.)



ŞEKİL 2. 220 kV. ve daha yüksek, gerilimler için taşınan güce karşılık olan taşıma mesafeleri

Bazı dizayn karakteristikleri :

Aşağıdaki dizayn ve ekonomik karakteristikleri ile \approx 750 kV.luk doğru akım kullanılmasına dayanan Kazakistan - Tambov arasındaki taşıma için dizayn çalışmaları yapılmaktadır.

- 1 Alıcının sonundaki güç — 5250 MW
2. Alıcının sonundaki enerji — 37,5 milyar kWh/yıl
- 3 Yakıtın çıkarılmasını ve taşınmasını, Kazaklıstanda termik elektrik santrallerinin inşaatını, de taşıma hatlarını ve 500 kV. luk ac alıcı şebekesini içine alan maliyet kapitali — 928 milyon dolar.

4. İşletme ve bakım maliyetleri 87 milyon dolar, yıl basma

5. Tambov alıcı istasyonundaki enerji maliyeti 0,23 dolar kWh başına

± 400 kV. de, 750 MW ve 473 km. uzunluğundaki Volgograd — Donbass taşıma hattının ilk işletme periyodunda değerli tecrübeler elde edilmiş olup, bu tecrübeler neticesinde Kazakistan — Tambov projesinde de büyük önemli ilerleme elde edilmiştir. Düşük gerilimli hatta ait ilk istasyon 1962 de ve sonra 1963 — 1964 de işletmeye alınmış olup, taşıma kapasitesi ve elde edilen gerilim tam istenildiği gibi dizayn değerlerine uymaktadır. Bu periyot müddetinde enerji hattı unipolar ve bipolar olarak farklı durumlar altında çalışmaktadır.

Tecrübe neticeleri: Tecrübe ve neticeleri, tecrübe işletmesinin ilk periyodunda elde edilmiş olup, de taşıma sisteminin gayet uygun olduğu tamamen ispat edilmiştir. Bu sistem dizayn veya operasyonel işlemlerde herhangi bir büyük tadilatla ihtiyaç göstermemiştir.

900 amper'c kadar toprak arızasında işletmeye uzun müddet devam edileceği ispat edilmiştir. Ayrıca Merkez ve Güney sistemlerinin asenkron olarak çalışması hem de taşıma hattındaki güç akışının regülasyonunu hem de enterkonnekte bağlanmış güç sistemlerindeki frekans ve gerilim seviyelerinin bağımsızlığını yani hesaba alınmayacağını göstermiş olup, bu durum Volgograd — Donbass taşıma hattında başarılmıştır.

Tecrübe, işletmesi ve çalışmaları, hattı ve istasyonları kâfi miktarda yüksek gerilim izolasyon seviyelerine sahip olan Volgograd — Donbass hattında yapılmıştır. İlaveten kabul edilmiş olan sistemin dahili aşırı gerilimlerden korunması, ayrı konverter gruplarının sıra ile bağlanması neticesi taşımanın birleştirilip şemalanması, ayrıca uygun bir hesapla ortaya çık-

mış olan otomatik cihaz ve koruyucuların kullanılması gibi deneyler yapılmıştır, de taşıma hattındaki taşıyıcı akım kanallarının çok fazla mesafelerle iş yapması, kominikasyon teçhizatı ile göndermede hiç bir güçlük karşılaşılmaması ile ilgilidir.

İşletmeye alındığı zamandan bugüne kadar Volgograd — Donbass de taşıma hattının tecrübe işletmesinde şu neticeler elde edilmiştir; bir havai hattın başlıca teorik, karakteristikleri ve özellikleri, yüksek kapasiteli taşıma hattı, ve bu hususları gerçekliyen temel bilim, teknoloji, doğru olarak yapılmış dizayn çözümleri. Bu taşıma hattı başlangıçta endüstriyel yükler için servise alındığından üzerinde durulmalıdır.

Böylece Volgograd — Donbass hattında bir araya toplanan tecrübeler Sibirya ve Kuzey Kazakstandan Urallara, Avrupa Rusyasına çok yüksek gerilimli veya yüksek kapasiteli taşıma hatlarının planlanmasını mümkün kılmaktadır.

Bu makale 26 - 28 Nisan 1966 da Şikago da yapılan Amerikan Enerji Konferansında basılan notlara dayanmaktadır.

BİBLİYOGRAFYA

Collected arteles. 500-kV Long-Distance Transmission Lines (m Russian). Moscoto: Energia, 1964.

Akopyan, A. A., et al., «Internal overvoltages in 500-KV long-distance transmission lines and, measures lor their limiting,» CIGRE, 1962 Session, Rept. 405.

Akopyan, A. A., et al, «750-HV ezperlmental and commercial transmission line Konakovo-Mos-OOV, CIGRE, 1964 Session, Rept. 413. Session, Rept. 416.

Levitov, V. I., et al., «Operational experience on 500-kV networks in the U.S.S.R.», CIGRE, 1966

Venikov, V. A, et al, «Boost regluation in transmission systems %n the U.S.S.R.», CIGRE, 1960 Session, Rept. 325.