

# ±250 kV YÜKSEK GERİLİM DOĞRU AKIM (YGDA) SİSTEMİ VE HOKKAIDO-HONSHU SİSTEMLER ARASI BAĞLANTIDA KULLANILAN DOĞRU AKIM DENİZALTI KABLOSU

Elektrik Mühendisliği Bölümü  
ve Denizaşırı Mühendisliği  
Bölümü, EPDC

## ÖNSÖZ

Bu broşür, Haziran 1978'de Japonya'nın Hokkaido ve Honshu adaları arasında ELECTRIC POWER DEVELOPMENT CO. Ltd. (EPDC) tarafından döşenen ve YGDA ile iletim yapacak ilk ± 250 kV DC denizaltı yağlı kablosu ile bir nötr hat için döşenen çapraz bağlı polietilen (XLPE) kablunun anahatlarını açıklamaktadır.

Yağlı kablo iletgeni 25 mm çapındaki yağ kanalı ile birlikte 600 mm<sup>2</sup> kesitedir ve 1.200 A taşıyabilmektedir.

Yağlı kablunun toplam uzunluğu 23 esnek ek ile 43 km dir ve geçtiği güzergahta maksimum derinlik 290 m dir.

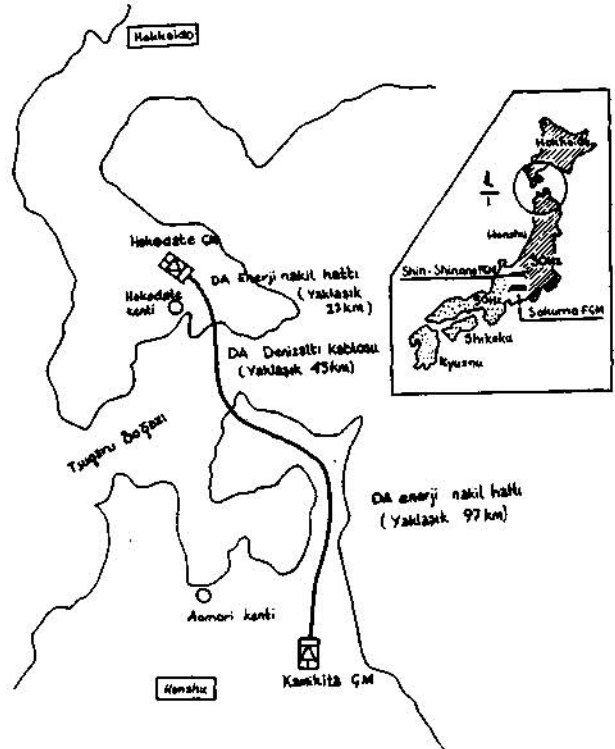
## 1. GİRİŞ

Dünyanın birçok yerinde geniş alanları besleyen güç sistemlerinin güvenilirlik ve ekonomikliğini geliştirmek amacıyla güç sistemleri arasında bağlantılar yapılmaktadır. Japonya'da da çok yüksek gerilimli sistemler arası bağlantı en ileri düzeyde gerçekleştirilmiştir. Ancak Hokkaido, Honshu, Shikoku ve Kyushu

adlı dört büyük adadan oluşan Japonya'da Hokkaido adası ana adadan (Honshu) yaklaşık 40 km genişliğindeki ve 300 m derinliğindeki Tsugaru Boğazı ile ayrıldığı için bu iki adadaki güç sistemlerinin birleştirilmesinde pek çok teknik ve ekonomik güçlükle karşılaşmıştır.

1960'ların başlangıcında yarı iletken teknolojisindeki hızlı gelişmeyle, silikon yarı-iletkenli tristörlerin kullanımı hızla artmıştır. Japonya'da 1970 yılında Sakuma Frekans çevirici merkezine ek olarak, tristörlerin gelişim ve performansını incelemek amacıyla Sakuma Tristörlü Çevirici Test Merkezi (125 kV, 77,5 MV) kuruldu. Erişilen teknoloji sonra Shin-Shinano Frekans Çevirici Merkezine uygulandı. Daha sonraları çok yüksek gerilim doğru akım kablosu geliştirildi ve Hokkaido-Honshu bağlantı projesi resmi başlangıç için hazır hale geldi.

Hokkaido ve Honshu arasındaki yüksek gerilim doğru akım bağlantısı için temel plan (Şekil 1) 1971 Şubatında düşünüldü. İzleyen yıllarda petrol krizi ve diğer şartlar nedeniyle yapılan bazı değişiklik ve dönüşlerden sonra, Aralık 1979 da 150 MW'lık bir enerjinin taşınmaya başlanmasını öngören bir plan kabul edildi ve Haziran 1980 de kapasitenin iki misline çıkartılması ile proje tamamlandı.



Şekil a : Hokkaido - Honshu VDGA hattı

Bu YGDA hattı Hokkaido 50 Hz (2800 MW) sistemi ni, yukarıda sözü edilen iki frekans dönüşüm istasyonu aracılığıyla, Honshu'nun 50 Hz (36.300 MW) ve 60 Hz (55.000 MW) sistemleri arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır.

Bu bağlantı yedek güç bulundurabilmek, frekansı kontrol etmek, arıza anlarında acil güç yardımında bulunmak ve sistemi ulusal çapta işletmek gibi çeşitli avantajların elde edilmesini sağlamıştır.

Hokkaido-Honshu bağlantı projesinin anahatları aşağıdaki gibidir.

### 1. Kapasite ve işletmeye giriş tarihi

- Birinci Bölüm: 150 MW, 125 kV DA, 1.200 A;  
Aralık 1979  
İkinci Bölüm : 300 MW, 250 kV DA, 1.200 A;  
Haziran 1980  
Son Bölüm :600 MW, 250 kV DA, 1.200 A;  
belirlenmedi.

### 2. İletim sistemi

- Birinci ve ikinci Bölüm: Tek kutuplu DA hattı  
Son Bölüm : Çift kutuplu DA hattı

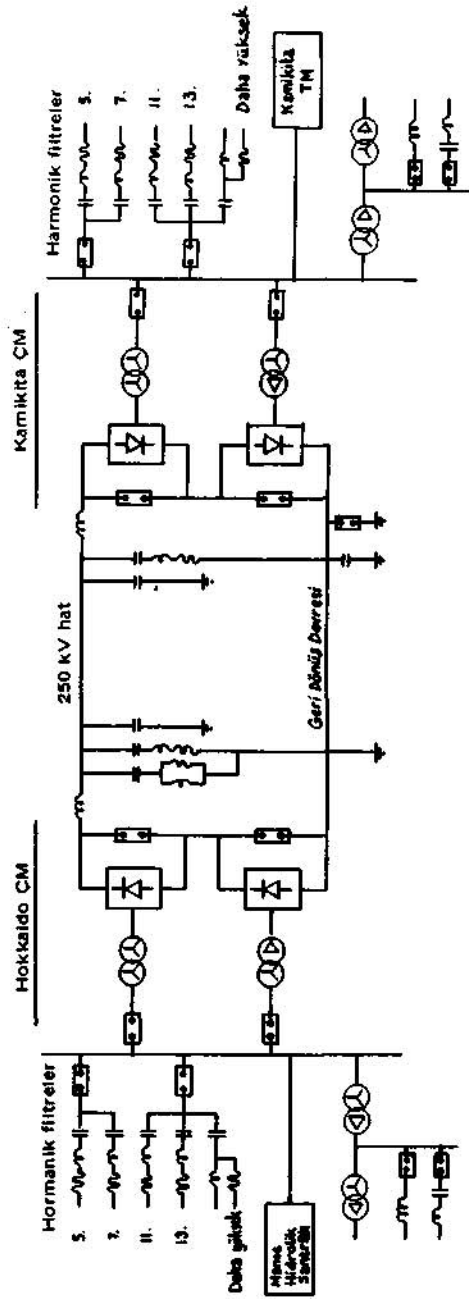
Toprak dönüşünün deniz olmasının doğurduğu gürültünün çevreye etkisini önlemek için metalik bir dönüş sisteminde karar kılınmıştır.

### 2. ÇEVİRİCİ MERKEZLERİN ANAHATLARI

Şekil 2'de çevirici merkezlerin ana devrelerinin basitleştirilmiş bir tek hat şeması verilmiştir. Çizelge I merkezdeki ana elemanların güçlerini göstermektedir.

Çizelge I  
Merkezdeki Ana Elemanların Güçleri

| İçerik                    | Hakodate Çevirici Merkezi                                     |                  | Kamikita Çevirici Merkezi                                      |                  |
|---------------------------|---|------------------|--|------------------|
|                           | Güçü*   | Adet             | Güçü   | Adet             |
| Trafolar                  | 125 kV DA, 1200 A   | 12               | 125 kV DA, 1.200 A   | 12               |
| Çevirici Trafoları        | 187kV/110kV,<br>187MVA, %20 empedam                           | 2                | 275kV/110kV,<br>187MVA, %20 empedans                           | 2                |
| DA reaktörleri            | 1 H   | 1                | 1H   | 1                |
| AA harmonik filtreleri    | 5., 7., 11., 13. ve daha yüksek harmonikler (95 MVar)         | 1                | 5., 7., 11., 13. ve daha yüksek harmonikler (97 MVar)          | 1                |
| DA filtreleri             | 6. harmonik: 10 uF<br>Daha yüksek: 1,2 uF                     | 1                | 6. Harmonik: 0,3 j<F   | 1                |
| Ayrı gerilim Kondansatörü | 0,1 nF  | 1                | 1,37uF   | 1                |
| Reaktiflik Kompanzasyonu  | şönt reaktörler<br>22,5 MVar<br>şönt kapasitörler<br>224 MVar | 2 grup<br>4 grup | şönt reaktörler<br>22,5 MVar<br>şönt kapasitörler<br>22,5 MVar | 2 grup<br>4 grup |



Şekil 2 : Tek hat şeması

Hakodate merkezinin Hokkaido tarafındaki AA barası 187 kV tek devreli AA iletim hattına. Kamikita merkezinin Honshu tarafındaki ise 275 kV tek devreli AA iletim hattına bağlanmaktadır.

Bu bara gerilimleri çevirici trafoları aracılığıyla 110 kV'a indirilmektedir.

Hokkaido sistemlerinin görece küçük kapasitelerinden dolayı arabağlantının güvenilirliğini arttırmak için 150 MW'lık 6 atımlı işletme gözönüne alınmıştır. Bu nedenle, her çevirici köprü, gerekli akım kesme testlerinden geçirilerek geliştirilmiş bir AA havalı bypass kesiciyle donatılmıştır.

AA harmonik filtreleri, kapamalarda oluşacak aşırı gerilimlerin zararlı etkilerini önlemek ve de reaktif güç kompanzasyonunu sağlamak amacıyla biri 5. ve 7. diğeri 11., 13. ve daha yüksek harmonik filtreleri olarak iki ana gruba ayrılmıştır. AA harmonik filtrelerinden 6. ve daha yüksek harmonik filtreleri Hokkaido tarafından merkeze konulmuştur. Honshu tarafındaki merkeze ise, oldukça uzun enerji nakil hattının reaktif gücünü kompanze etmek için 1,37 mikroyarad'lık bir kondansatör konulmuş olduğundan ve bu kondansatör daha yüksek harmoniklere filtre görevi yapacağından, sadece 6. harmonik filtresi konulmuştur.

### 3. DA DENİZALTI KABLOSU

#### 3.1. Doğru Akım Denizaltı Yağlı Kablosunun Tasarım ve Yapısı

##### 3.1.1. Kabloların seçimi ve kablo tasarımına ilişkin temel bilgiler

Tsugaru Straits'deki kablo hattı, deniz yatağının bir çok kez incelenmesinden sonra, deniz akıntısının yavaş olduğu alan boyunca, kayalık kesimlerden ve deniz dibi derinliğinin 300 m yi geçtiği yerlerden kaçınılarak seçilmiştir. Çizelge II enerji nakil hattı ve kablo hattının ana özelliklerini göstermektedir. Güzergah uzunluğu ve kablo hattı boyunca maximum deniz derinliği sırasıyla, 43 km ve 290 m olarak seçilmiştir.

Kablo tipi tesis koşulları dikkate alınarak seçilmiş olup darbe dayanım seviyesi 750 kV'tur.

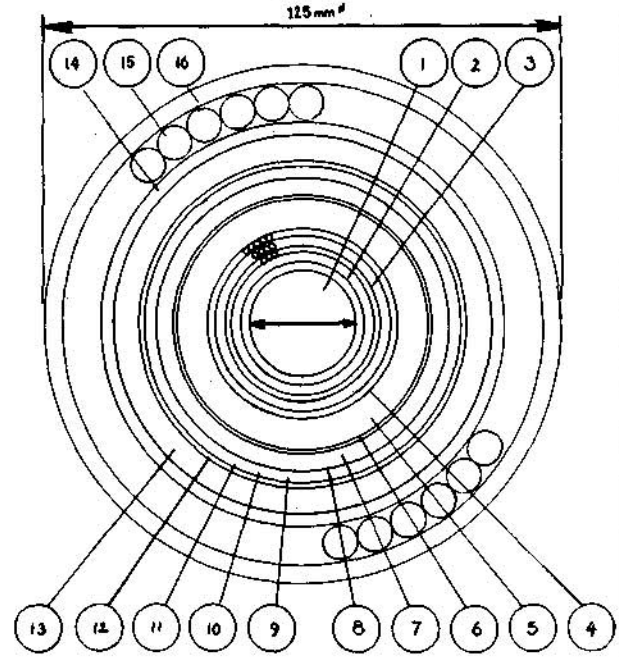
Yağlı kablo, emprenyeli kâğıt kablo, gazlı kablo ve çapraz bağlı polietilen kablo gibi çeşitli denizaltı kablolarından önce, yağlı ve emprenyeli kablolar güvenilirlikleri ve tesis sırsındaki olumlu kayıtlarından dolayı seçilmiş daha sonra da uzun vadedeki yalıtımın kararlılığı açısından yağlı kabloda karar kılınmıştır.

### Çizelge II

#### Enerji Nakil Hattı ve Kablo Hattının Ana Özellikleri

|                    |                 |  |
|--------------------|-----------------|--|
| Enerji Nakil Hattı | Toplam Uzunluk; | 124 km   |
|                    | İletim Sistemi  | : Tek kutuplu metal dönüş yöntemi  |
|                    | Ana devre       | : 810 mm <sup>2</sup> ACSR, 810 mm <sup>2</sup> ACSR/EAS   |
|                    | Dönüş devresi   | : 240 mm <sup>2</sup> EACSR, 240 mm <sup>2</sup> AS (çift)   |
| Kablo Hattı        | Toplam Uzunluk; | 43,2 km (denizaltı), 1,2 km (kara)   |
|                    | Ana Devre       | : Denizaltı: 600 mm <sup>2</sup> yağlı kablo, kurşun kılıf ile güçlendirilmiş zırh<br>Kara : 900 mm <sup>2</sup> yağlı kablo, kurşun kılıf ile güçlendirilmiş zırh |
|                    | Dönüş devresi   | : Denizaltı: 500 mm <sup>2</sup> kurşun zırh ile güçlendirilmiş XLPE kablo.<br>Kara : 1000 mm <sup>2</sup> kurşun zırh ile güçlendirilmiş XLPE kablo.              |
|                    |                 | : 1000 mm <sup>2</sup> kurşun kılıflı XLPE kablo.  |

#### 3.1.2. Doğru Akım Yağlı Denizaltı Kablolarının Geliştirilmesi, Kabloların Yapısı



Şekil 3 : ± 250 kV 600 mm<sup>2</sup> lik denizaltı kablosu

1. Merkezi yağ kanalı
2. Galvanili çelik şeritten spiral
3. Bakır iletken
4. Karbon siyahı ekran
5. Yalıtkan kağıt
6. Karbon siyahı ekran
7. Ekran
8. Kursun alaşımlı kılıf
9. Dolgu maddesi
10. Takviye edici
11. Dolgu maddesi
12. Takviye edici
13. Paslanmayı önleyici tabaka
14. Ağaç kabuğu lifi (Jüt)
15. Çelik telden zırh
16. Jüt kılıf

Şekil 3'de gösterilen yapı çeşitli elektriksel ve mekanik testlerin ve üretim denemelerinin sonucunda seçilmiştir. Geçici (Transient) yağ basıncı oynamalarını düşük bir seviyede tutmak için 25 mm'lik iç çapa sahip geniş bir yağ kanalı ve düşük bir akışkanlığa sahip yumuşak alkilbenzen yağı kabul edilmiştir. 600 mm<sup>2</sup> lik kesit, bakır kaybını ve geçici yağ basıncını düşük tutmak için seçilmiştir.

Elektriksel alan şiddeti gözönünde tutularak yalıtkanın kalınlığı biraz da toleranslı olarak 14,5 mm olarak belirlenmiştir. Yalıtım malzemesi olarak yüksek geçirgenlik katsayısı ve yoğunluğa sahip olmasından dolayı mükemmel bir d.a dielektrik dayanımına ve iyonlaştırılmış su ile yıkanmış olmasından dolayı çok yüksek mekanik dayanıma sahip olan kağıt kullanılmıştır.

Kablonun kurşun kılıfı mekanik dayanımı arttırmak için normal yeraltı kablosununkinden % 20 daha kalın yapılmıştır. 3,60 MPa düzeyindeki geçici yağ basıncına ve 2,31 MPa düzeyindeki yağ basıncına karşı biri 0,1 mm diğeri 0,5 mm kalınlığında paslanmaz çelik şeritler kullanılmıştır. Boylamsal takviye için de 0,5 mm'lik paslanmaz çelik şeritler spiral halinde sarılmıştır.

Kablo güzergahının kısa bir bölümü dışında iyi durumda olması nedeniyle zırh, sadece serme sırasındaki gerilme ve mekanik yıpranmaya karşı, 8 mm çapındaki galvanizli çelik tel tek kat sarılarak yapılmıştır.

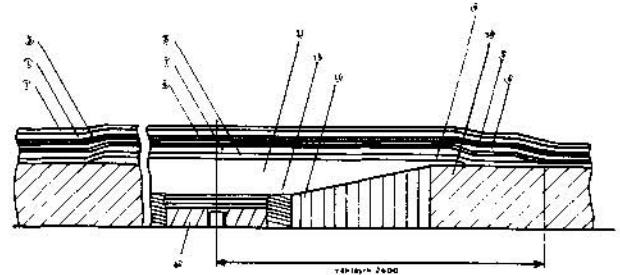
#### Esnek Fabrika Eklerinin Yapısı

Kablo ile yaklaşık aynı mekanik ve elektriksel özelliklere ve hemen hemen aynı dış çapa sahip esnek ekler geliştirilmiştir.

Fabrika eki sırasında kablonun her iki ucu yağın akmasını önlemek için dondurulmuş ve bakır iletkenin her katındaki bakır teller birbiriyle lehimlenmiştir. Kağıdın nemi emmesini önlemek için, empenye edilmiş kağıt şeritler el ile sarılmış, iletgen üzerindeki ilk kat yağ banyosunda diğer katlar yağ duşu altında yağ emdirilmiştir.

Kağıt yalıtım sonra esnek ekin kurşun kılıfı, boru halinde kurşunun iki tabaka olarak sıvanıp her iki uçtan kaynaklanmasıyla tamamlanmıştır. Koruyucu kılıf polietilen teypler sarıldıktan sonra ısıtılıp şekillendirilerek elde edilmiştir.

Esnek ekin bir kesiti Şekil 4'te gösterilmektedir.



Şekil 4 : 1250 kV yağlı denizaltı kablosunun esnek fabrika eklerinin kesiti

- 1- Jüt kılıf
- 2- Çelik telden zırh
- 3- Jüt
- 4- Paslanmayı önleyici tabaka
- 5- Takviye edici
- 6- Dolgu maddesi
- 7- Dış kurşun alaşımlı kılıf
- 8- İç kurşun alaşımlı kılıf
- 9- Ekran
- 10- Kablo yalıtkanı
- 11- Azalan yalıtkan
- 12- Elleyapılan yalıtım
- 13- Bakır iletken
- 14- Galvanizli çelik şeritten spiral

#### 3.2. Yağ Basma Sistemi

önemli ölçüdeki derinlik ve uzun mesafeler gibi yağ basma işlemini zorlaştıran koşullarla başa çıkabilmek için, doğru akım yağlı kabloları iki uca yerleştirilmiş otomatik yağ basma pompalarıyla hidrolik olarak beslenmek üzere tasarlanmıştır.

Honshu tarafındakinden daha düşük bir değere ayarlanmış bulunan Hokkaido tarafındaki yağ basıncının işletme değeri 1.67 MPa ile 2.26 MPa arasındadır. Her iki merkezdeki yağ rezervuarının kapasitesi 23 ki dir. Bu miktarın 12 kl'si son aşamada biri yedek olmak üzere 3 adet olacak kablonun normal işletmedeki yağ gereksinmesi olup kalan miktarı ise sıcaklığa bağlı yağ hacim değişmelerini, sızıntı ve osilasyonu kompanze etmek ve boşaltma için gerekli hava boşluğu olarak düşünülmüştür.

Yağ basma pompalarının her birinin akış hızı 50 l/dakika'dır.

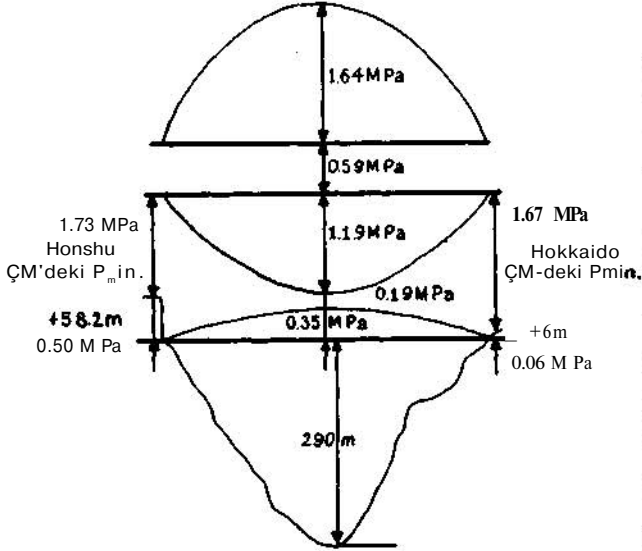
Yağın ve kablonun elastikiyeti de dikkate alınarak boşta ve tam yükteki geçici basınç rejimi kuramsal olarak hesaplanmıştır. Bilgisayarla yapılan çalışmanın sonuçlarına göre, kablo güzergahının orta noktasında maksimum geçici basınç değişimi boşta 1,19 MPa, yükte ise 1,64 MPa dır.

Bu durumda normal işletme koşullarında ve boştaki basıncı 1,67 MPa olan Hokkaido'dakine göre yaklaşık 0,186 MPa'lık bir basınç fazlalığı olmaktadır.

Kabloda önemli ölçüde yağ sızıntısına neden olacak bir arıza durumunda pompalama donanımındaki petrol akış hızı 20 l/saat'ten daha az olmak üzere sınırlandırılabilir.

Hokadate çevirici merkezindeki bakım ekibi her iki uçta bulunan pompa istasyonlarındaki, kablo yağ basıncı, yağ akış hızı, rezervuardaki yağ hacmi, pompaların çalışıp çalışmadığı gibi, işletme koşullarına ilişkin bilgileri bir UHF sistemi ile sürekli izlemektedir.

Yağlı denizaltı kablosunun hidrolik tasarım ilkeleri Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5 : Hidrolik tasarım ilkeleri

- 1,64 MPa : Kapama anındaki geçici basınç rejiminde basıncın maksimum değişimi
- 0,59 MPa : Çalışma basıncının değişim aralığı
- 1,19 MPa : Açma anındaki geçici basınç rejiminde basıncın maksimum değişimi
- 0,35 MPa : Yağ ve suyun özgül ağırlığına bağlı olarak ortaya çıkan basınç farkı
- 2 90 M : Maksimum su derinliği

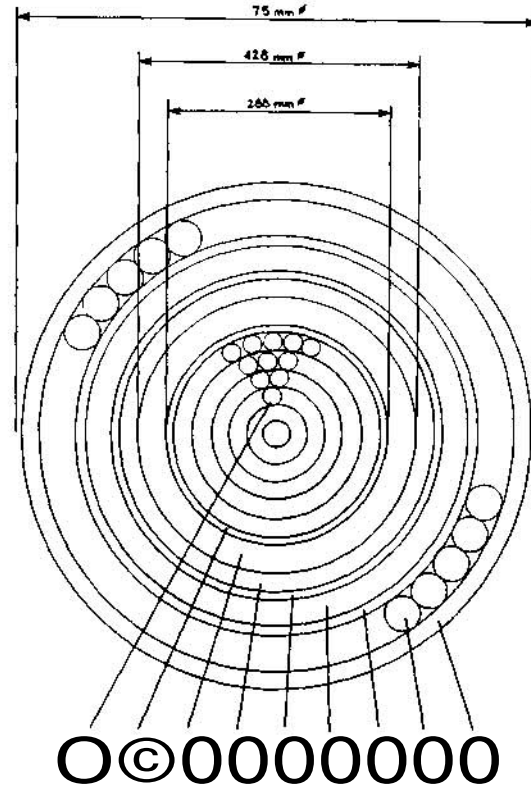
### 3.3. XLPE YALITKANLI GERİ DÖNÜŞ KABLOSU

#### 3.3.1. Gereksinimler

Beklenen aşırı gerilimleri sınırlamak ve de sistem stabilitesini sağlamak için devrenin bir ucu çevirici merkezde doğrudan topraklanmış olduğundan, sistemin geri dönüş devresinin kararlı durum DA gerilimi, yani, 1200 A'lık anma akımının doğurduğu gerilim düşümü, oldukça düşük yaklaşık 4,5 kV'dir. Ote yandan aşırı gerilimler gözardı edilemez. Ana devredeki bir toprak arızasında dönüş kablosunda alternatif dalga biçiminde 100 kV'luk bir aşırı gerilim beklenmektedir ve prafudurlar da yaklaşık 170 kV'luk yıldırım aşırı gerilimini yutacak biçimde seçilmiştir. Bu nedenle dönüş kablosunun yalıtım seviyesi sistem aşırı gerilimlerine göre tasarlanmıştır.

#### 3.3.2. Kablo ve esnek eklein yapısı

Kablo ve ekleme elektriki ve mekanik geliştirme testlerinin iki kez uygulanmasından sonra, kablo yapısının Şekil 6'da gösterildiği gibi olmasına karar verilmiştir.



Şekil 6: 500 mm<sup>2</sup> lik çapraz bağlı polietilen denizaltı kablosu

- 1-Bakır iletken
- 2-iç yarı-iletken tabaka
- 3-Yalıtım (XLPE)
- 4- Dış yarı-iletken tabaka
- 5- Kurşun alaşımli kılıf
- 6- Paslanmayı önleyici tabaka
- 7- Pamuk şerit
- 8- Çelik telden zırh
- 9-Jüt dış kılıf

Ana devrenin yağlı kablosunda olduğu gibi bu kablunun eklelerinin de kablunun kendisi çapında ve aynı zamanda kendisi kadar güvenilir ve esnek olması gerekmektedir. İletgenin üç kata sarılmış her bir damarı, ana kablunun esnek ekleleri için geliştirilmiş aynı teknikle, birbirine kaynaklanmıştır.

Ekin iç iletken, yalıtkan ve dış yarı-iletken şeritlerin elle sarılmasının ardından plastik döküm işi ısıtıcılarla yapılmaktadır. Daha sonra ek bir kurşun boru ile kaplanmakta ve her iki yanı kablunun kurşun kılıfı ile kaynaklanmaktadır. Paslanmayı önleyici tabaka polietilen şeritlerin elle sarılmasından sonra ısıtılarak şekillendirilmektedir.

#### 3.3.3. Kablonun ve Esnek Eklelerin Kalitesi

Kablunun yalıtımının XLPE'nin gerilim-zaman karakteristiğine bağlı olduğu anlaşıldığından, yalıtım seviyesi işletmede karşılaşılabilecek varsayılan sayıda aşırı gerilimin ordanda uygulanması yerine, bilinen AA dayanım gerilimin uygulanması ile hesaplanmıştır. Bu nedenle AA dayanım testleri, darbe dayanım ve DA dayanım testleriyle birlikte uygulanmaktadır.