

# Yüksek Gerilimli Doğru Akım (HVDC) Enerji Dağıtımı

Çeviren :  
Esen ERGİN  
TEK

## ÖZET

*Bu yazıda yüksek gerilim doğru akım enerji dağıtım tekniğindeki son gelişmeler özetlenmiş ve yararları, sistem bağlantıları, sistem elemanları, rezervlerin derlenmesi, uygulamadaki kolaylık ve işletme emniyeti açılarından ele alınarak açıklanmıştır*

## SUMMARY

*in this article the recent developments in High Voltage Direct Current (HVDC) transmission systems are summarized and their system connections, systems elements, pooling reserves and safety principles are discussed.*

## 1. GEÇMİŞE BtB BAKIŞ

Yaklaşık olarak yarım yüzyıldan beri enerji dağıtımında alternatif akım sistemleri tercih edilmektedir. Alternatif akımla enerji üreten makinaların basitliği ve özellikle gerilim düzeylerinde istenilen değişikliğin kolaylıkla yapılabilmesi, bu sistemlerin doğru akım sistemleri üzerinde bir üstünlük sağlamasına neden olmuştur. Böylelikle 1902 yılında Sain-Maurice ile Lausanne arasındaki 22 kV'luk ve 1906 yılında Moustiers ile Lyons arasındaki 60 kV'luk doğru akım enerji üretim hatları tarihe karışmıştır. Alternatif akım uygulanıp doğru akım ve doğru akım uygulanıp alternatif akım elde edilebilen yeni aygıtlar tasarlanabilene dek doğru akım. enerji i'etlmi hiç kimsenin ilgisini

Information Newsletter dergisinin 28/1972 sayısından çevrilmiştir.

çekmedi. 1933 ve 1950'den sonra yapılan deneyler sonucunda 1954 yılında ilk 20 MW'lık enerji dağıtım sistemi uygulandıktan sonradır ki, doğru akım enerji dağıtımını yeniden önem kazandı. Bu tarihten sonra da kapasiteleri üstel biçimde artarak birçok şebekeler tesis edildi. Günümüzde pek çoğu da tasarım halinde. Doğru akım enerji dağıtımının gelecekteki gelişmesine önemli bir baz olacağından şu ana kadarki gelişmenin ekonomik yararlarının derin bir incelemesi gerekmektedir.

## 2. UYGULAMA ALANLARI

Anlatılan gelişmelerden doğru akım enerji dağıtımının gelecekte alternatif akım enerji dağıtımının yerini alacağı sonucu çıkarılmamalıdır. Kuşkusuz alternatif akım tekniğinin, henüz iyice yerleşmemiş doğru akım tekniği üzerine bazı

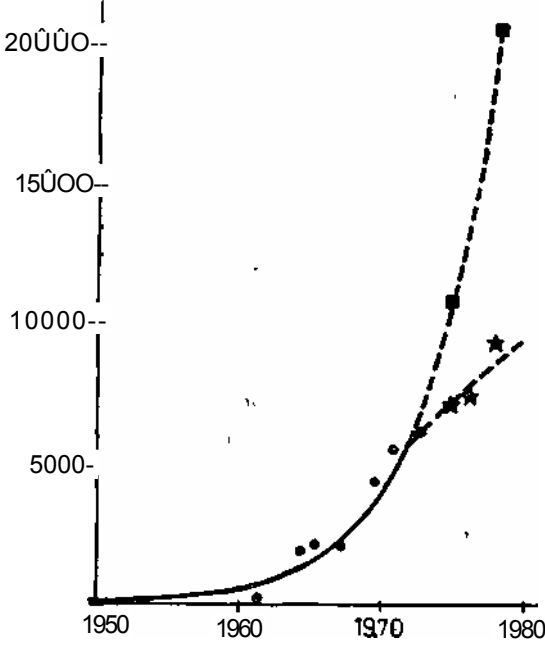
İşletmedeki doğru akım  
birleştiricileri •

Tarihler	Yer ve Birleştirici Adı	Gerilim kV	Çıkılgücü MW
1950	Sovyetler Birliği — Moskova - Kashira	200	30
1954	tsveç — Gotland Adası (1. etap)	100	20
1961	Fransa - İngiltere	200	160
1963	Sovyetler Birliği — Volgograd - Donbass	800	750
1965	Yeni Zelanda	500	600
1965	Kontı Skan — İsveç Danimarka	250	250
1965	Japonya — 50 Hz - 60 Hz Sakama	250	300
1966	İtalya — Sardunya - İtalya	200	200
1968	Kanada — Vancouver Adası (1. etap)	130	75
1970	Kanada — Vancouver Adası (2. etap)	260	155
1970	A.B.D. — Pasifik kıyıları (1. bağlantı)	800	1440
1970	İsveç — Gotland Adası (2. etap)	150	30

Gelecekteki birleştiriciler :

Mevcut Tarihler durum	Yer ve Birleştirici Adı	Gerilim kV	Çıkış gücü MW
1973 İngiltere	-Estuary of the Thames	532	640
1973 Manitoba (Kanada)	-Nelson River (1. etap)	450	810
1972 Kanada	-Hydro - Quebec • New Brunswick	160320	
Gerçekleş- tirilmekte olan projeler	1974 Mozambik	-Cabora Bassa (1. etap)	530 960
	1976 Moza	-Cabora Bassa (2. etap)	800 1440
	mbik	-Vancouver Adası 13. etap)	260 312
	1976 (?)	-Pasifik kıyıları (2. bağlantı)	800 1440
	Kanada	-Cabora Bassa (3. etap)	1060 1920
	1978 (?) A.B.D.		
	1978 Mozambik		
Plânlanan Projeler	1975 Manitoba (Kanada)	-Nelson River (2. etap)	900 5000
	1975 Sovyetler Birliği	- Kazakistan (Ekibastuz) Merkez	1 500 6 000
	1970-1980 Sovyetler Birliği	-Merkezi Sibirya - Ural	1500 20000
	1975-1980 A.B.D. 1975-3 980	-Batı kıyılarında 3 uzun bağlantı	4000
	A.B.D.	-3 uzun doğu - batı bağlantısı	15500
	1975 ve sonrası	Japonya - Frekans değişimleri ve yurt içi bağlantı yıllık	1000
Plânlana n hatlar	İtalya - Yugoslavya		500
	İzlanda - İskoçya		500
	Avustralya - Tasmanya		1000
	Kanada	-Kuzeybatı hidroelektrik sistem	20 000-30 000
	A.B.D. - Alaska		40000
	Avustralya - Viktorya		30000 (?)
	Avrupa	— iç bağlantılar	15000(?)

Şekli 1. Enerji kapasitesinin artışı • • •



Tasan durumunda olan birleştiriciler  
Onaylanmış tasarımlar Kurulumda olan  
birleştiriciler

üstünlükleri vardır. Ama yine de aynı büyüklükteki bir alternatif akım ve doğru akım şebekesi gözönüne alındığında, doğru akım daha kazançlı olmaktadır. Doğru akım enerji dağıtımının üstünlükleri şöyle sıralanabilir:

- Periyodik olmayan bir enerji dağıtımı: Doğru akımla enerji dağıtan bir sistem aynı anda alternatif akım ile de enerji dağıtabilmektedir.
- Ayarlanabilir enerji dağıtımı : Doğru akımla birtakım aygıtlar sayesinde enerji dağıtımında ayarlama olanakları sağlanmaktadır. Bu aygıtlar esas olarak üç faz tam dalga düzeltici ve çevirici köprülerden oluşmaktadır. Bu köprülerin kollarındaki elemanlar ise elektronik olarak kontrol edilmektedir. Akım iletim süresi her periyotta altı kez ayarlanabildiğinden, herhangi bir geçici rejim anındaki enerji alışverişi de, örneğin iki devre arasında uygun bir biçimde ayarlanabilmektedir. Bu örnekte uygulamada şu yararlanmaktadır.

- Kısa devre akımları anma akımına en yakın olacak biçimde sınırlandırılabilirdiğinden, dağıtım şebekesindeki güç arızası kısa devre akımında bir artışa neden olmamaktadır.
- Enerji alışverişleri önceden programlanabilmektedir.
- İki sistem arasına yerleştirilen doğru akım birleştiricileri ile herhangi birinde ortaya çıkan arızanın diğerini etkilemesi önlenmektedir.

## S. UZUN MESAFE ENERJİ DAĞITIMI

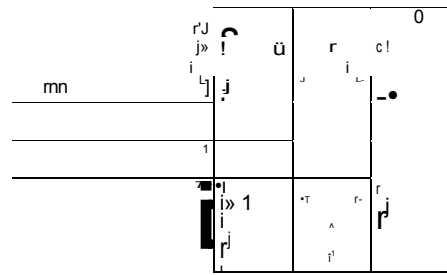
Alternatif akım sistemlerinde dağıtım uzaklığı reaktanstan ötürü lusitlanmaktadır. Bu kısıtlama, reaktans olmadığından doğru akım sistemleri için kendiliğinden yok olmaktadır. Ek olarak bu sistemlerde şebekenin kurulması kolay ve alternatif akım sistemleriyle karşılaştırıldığında da gerek havai hat gerekse yeraltı kablosu sistemi olarak daha ekonomiktir. Bununla birlikte çevirici istasyonlarına yapılan yatırım eklendiğinde toplam maliyet artmaktadır. Sadece bu öğeleri ele alıp diğer tüm üstünlükleri bir tarafa itilse bile, her iki sistem için aynı fiyata mal olacak bir uzaklık saptanması mümkündür. Bu uzaklık havai hatlarda 800 -1000 km'ye özdeş olmaktadır.

Enerji kaynağına çok uzak noktalar için pek elverişli olan bu tip tasarım ve uygulamaların örneklerine Yeni Zelçuda, İtalya, Nelson River ve Cabora Bassa'da rastlanmaktadır. Yeraltı kablolarında ise, adı geçen uzaklık 50-80 km'ye özdeş olmaktadır. Bazı durumlarda doğru akım enerji iletimi kısa uzaklıklar içinde kazançlı olmaktadır, örneğin Gotland-Vancouver arasındaki denizaltı kablo hattı uygulamasında olduğu gibi.

## 4. SİSTEM BAĞLANTILARI

İki alternatif akım sisteminin doğrudan doğruya bağlanması için bu iki sistemin aynı frekansta çalışıyor olmaları ve faz açılarının yaklaşık olarak birbirine eşit olması gereklidir. Sistem bağlantılarındaki bu iki büyük kısıtlama doğru akım için kendiliğinden yok olmaktadır.

Bu tip uygulama ile faz açıları farklı Fransız ve İngiliz örneklerinde ve frekansları farklı, (50 Hz-60 Hz) Japon örneğinde olduğu gibi enerji alışverişinde optimuma erişilerek büyük yararlar sağlanmaktadır. Herde görüleceği üzere bu tip uygulama sadece yeni kurulacak sistemlerde değil, kurulu sistem kapasitelerinde de büyük çapta ekonomiklik vaatmektedir.



Şekil Z. Gratz düzeltici köprülerinin genel diyagramı.

## 5. PUANT SAATLERİNDE ENERJİ ALIŞVERİŞİ

Puant saatleri, yöresel bazı yaşam koşulları ve iklime bağlı olarak değişir. Amerika Birleşik Devletleri'nin Pasifik kıyıları bunun tipik örneğidir. Bu tip geniş alanlardaki sistemlerde coğrafi saate bağlı olarak puant saatleri değişir. Amerika Birleşik Devletleri'nin doğu ve batı yakası arasında kurulacak bir enterkonekte sistemin % 5 ekonomi sağlayacağı hesaplanmıştır.\* Daha az saat farkının olduğu Avrupa'da bile buna benzer bir çözümün % 2 ekonomi sağlayacağı söylenebilir. Üstelik kıtalar düzeyinde, belli kapasitede bu biçimde bir enerji dağıtımı için yapılacak yatırım, şu anda kurulu olan aynı kapasitede sisteme yapılacak yatırımdan üç kat daha ucuz olacaktır.

## 6. REZERVLERİN DERLENMESİ

Puant saatlerinde, yukarıda anlatılan biçimde, yapılacak enerji alışverişinden sağlanan kazancın bir o kadarının da, kurulu kapasiteyi guruplandırarak, yani birkaç sistemi tek elden besleyerek sağlanacağı da hesaplanmıştır. Fransa Milli Elektrik Kurumu'nun (EdF) Araştırma Bölümünün yaptığı bir çalışmaya göre, rezervlerin derlenmesinden elde edilecek kazancın sistem büyüklüğüne bağlı olmadığı da anlaşılmıştır.

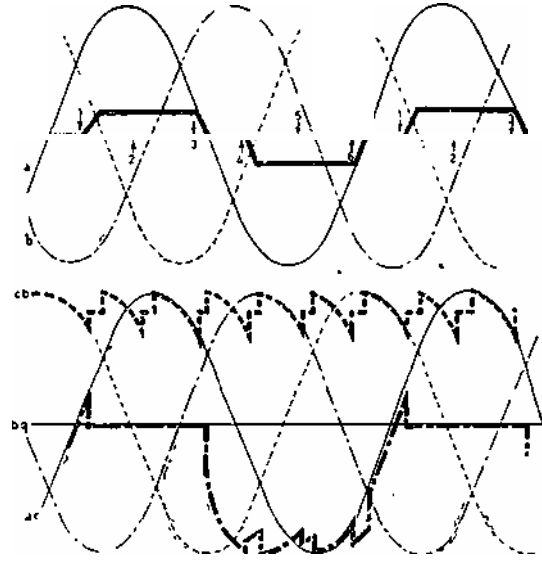
Amaç, ister puant saatlerinde enerji alışverişini sağlamak, ister rezervleri derlemek olsun, alternatif akımla çalışan sistemleri birleştirme tasarımı o biçimde olmalıdır ki, birleştirici şebekede ya da sistemin herhangi bir yanında ortaya çıkabilecek arızalarda sistemin kararlılığı güvence altına alınsın. Bu durum enterkonekte sistemi oluşturan sistemlerin kısa-devre enerjisini o düzeye yükseltmektedir ki, hiç birinin kesme kapasitesi bunu kesmeye tam anlamıyla yetmemektedir. Kısacası, sistemin herhangi bir yanındaki anıza tüm sistemde hissedilmektedir. Bu güçlükler, birleştirici şebeke doğru akımla çalıştığı anda ortadan kalkmaktadır. Şöyleki; doğru akım sistemleri periyodik olmadığından sistemin herhangi yanındaki kararsızlığa ilgisiz kaldığından ve çok hızlı bir biçimde ayarlanabildiğinden, anıza anında transfer olan enerji müsaadesi edilebilir düzeyden yukarı çıkamamaktadır.

Görüldüğü gibi yüksek gerilim doğru akım sistemleri, gelecekteki gelişmeler, özellikle CIGRE'nin 1970 yılı tartışmalarında sözü edilen Fransa ve İngiltere arasındaki birleştirici şebekeyle enerjinin derlenmesi için büyük olanaklar sağlamaktadır.

\* Federal Enerji Komisyonu'nun yaptığı bir araştırmaya göre.

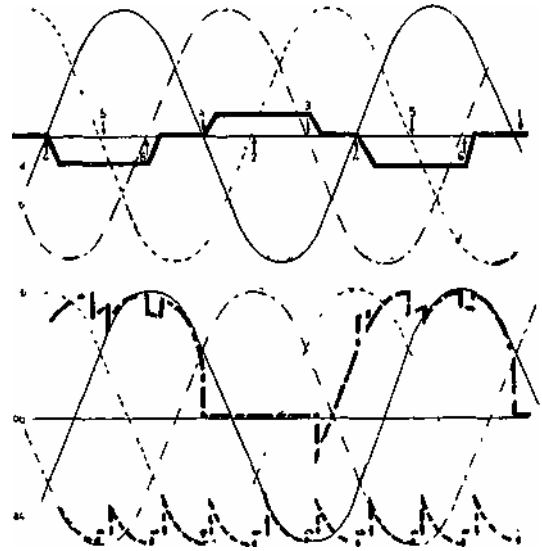
## 7. İŞLETME KOLAYLIĞI

Buraya kadarki gözlemlerden doğru akım sistem birleştiricilerinin, sistemin işletmesinde büyük kolaylıklar sağladığı anlaşılmaktadır. Su güne



Şekil 3. Çevirici köprülerin doğrultucu olarak kullanılması»  $\alpha = 15^\circ$  :

----- Bir fazdaki akım  
----- Köprü çıkış gerilimi  
-.-.-. Birinci kolun uçlarındaki gerilim



Şekil 4. Çevirici köprülerin Invertör olarak kullanılması»  $p = 30^\circ$  :

----- Bir fazdaki akım -  
----- Köprü çıkış gerilimi  
-.-.-. 1. kolun uçlarındaki gerilim

kadar bu kolaylıkların ancak bir bölümü bilinmekteydi. Hiç olmazsa enerji akışının, özellikle arıza anında, çok hızlı ayarlanabilmesi çevirici istasyonlardaki sistem işletmecilerine sonsuz serbestlik sağlamaktadır.

Bu açıdan bakılırsa New Brunswick ve Hydro CJuebec'deki şebekele<sup>1</sup> doğru akım birleştiricileriyle birbirine bağlanınca, yeni sistemin kararlılığının çok üst düzeyde olacağı umulmaktadır

## 8. İŞLETME EMNİYETİ

Doğru akımı enerji iK-tımının uygulamasının en önemli özelliği puant saatlerinde ve arıza anlarında sistemin zorunlu olarak enerji alışverişine itilmesidir. Günümüz sistemlerinde her iki durumda da sistemin düzenli olarak işletilmesi için ek enerjiye gereksinim vardır, işte doğru akım enerji iletiminin işletme emniyeti açısından da alternatif akım, enerji iletimine üstünlük sağlamanın nedeni budur

## 9. TEKNİK

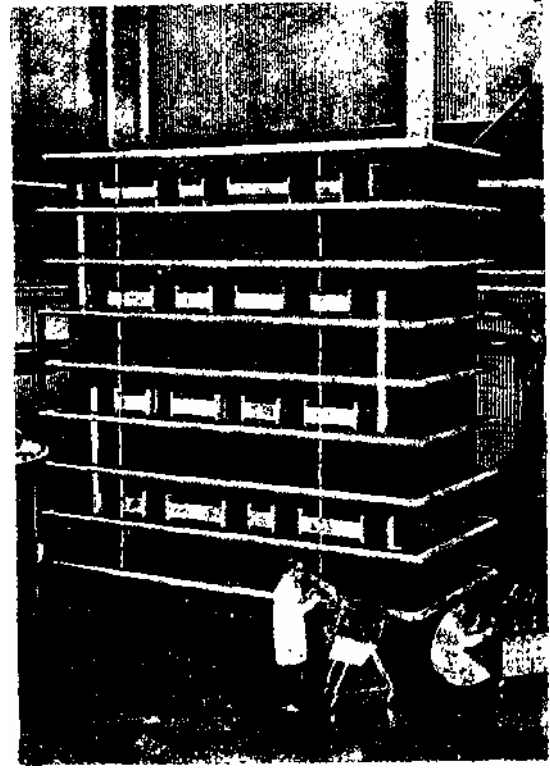
Yüksek düzeyde enerji iletimine olanak sağlayan çevirici gereçlerin ana elemanı Şekil 2'de görülen düzeltici köprüdür.

Alternatif akım dalgaları harmoniklennin süzü<sup>1</sup>mesinin ana işlemlerden biri olduğu söylenebilir. Harmoniklerin etkilerini azaltmak için ikili 6-faz sistemden oluşmuş iki köprü kullanmaya yönelmiştir. Üç fazın her birindeki tristörlerin iletim süreleri eş tutularak, karakteristikleri belli olmayan harmoniklerin etkisi de önlenmiştir.

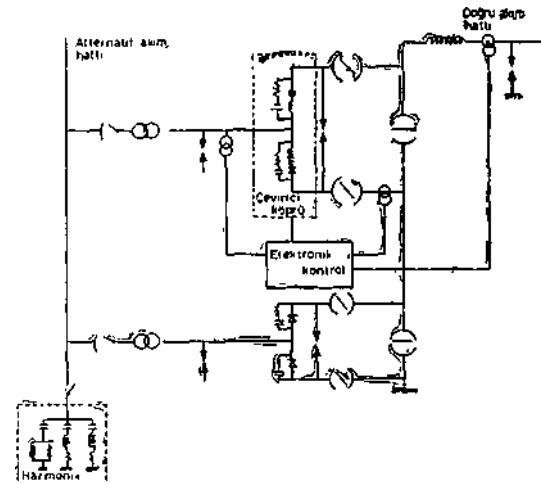
Çevirici istasyonların kurulmasında üzerinde önemle durulan diğer bir öğede, açma-kapamalardan ötürü ortaya çıkan zararlı dalga ve osilasyonların önlenmesidir.

## 10. ÇEVİRİCİ KÖPRÜNÜN ELEMANLARI

Bir valf gibi, alternatif olarak akıma yol açıp kapama işlemi iki tür aygıtla yapılır : Cıva buharlı tüpler ve tristörler. Cıva buharlı tüpler bilinen dayanıklılığı nedeniyle hemen hemen günümüze kadar kurulmuş tüm Sistemlerde yer alır.



Resim 1. Hava soğutmalı trlstör düzeneği



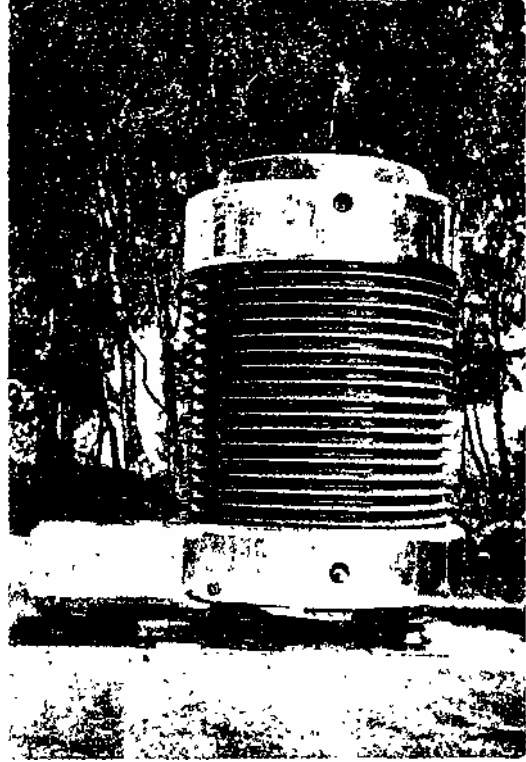
Şekil 5. Bir çevirici istasyonun şematik diyagramı.

Günümüzde ise bütün dikkatler, aşırı akını ve gerilimlerden ötürü işletmedeki kısa ömürlerine rağmen, tristörlere çevrilmiştir. Aslında bunların narinliği tesiste gösterilecek duyarlılıkla tamamen ortadan kalkabilir. Tristörlerin civa buharlı tüplere karşı üstünlükleri aşağıda gösterilen nedenlerden ötürü açıktır :

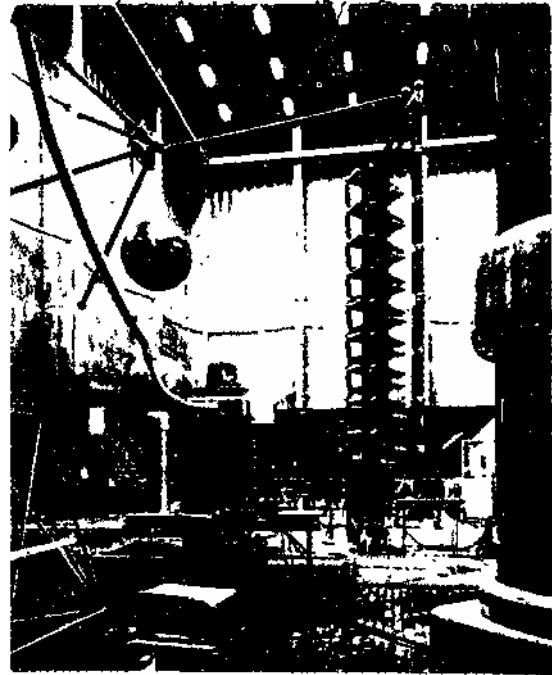
- Çalışmadaki ısı değişikliklerine karşı çok da yanıklı olduğundan, ayrıca ısılarının regüle edilmesine hiç gerek kalmamaktadır.
- Bakımları için özel aletlere hiç gerek yoktur.
- Boyutlarının çok küçük olması, zararlı radyo dalgaları üretmesine engel olmaktadır.
- Çok sayıda birbirine benzer devrelerin olması aynı işi görecektir türlü büyüklükte düzenekler kurulmasına olanak sağlamaktadır.

— Tristör köprülerinin civa buharlı köprüler üzerine diğer üstünlüklerinden biride, geriye doğru ark olmasının yâni, geçici olarak her iki yöne kontrolsüz iletme tehlikesinin olmayışdır. Bu özellik aslında çok önemlidir. Çünkü, enerji dağıtımındaki anormal değişiklikler, transformatörler üzerine uygulanan anormal gerilimler gibi serviste görülen büyük güçlükler, bu geriye doğru ark oluşmasının doğal bir sonucudur

özellikleri ve uygulamaları basit olarak anlatılan tristörlü çevirici istasyonlar artık yaygınlaşmaya başlamıştır Bunlar kuruluş biçimlerine göre iki ayrı sınıfa ayrılmaktadırlar • Yağ içine veya açık havaya kuruluş. Bu işi yapan günümüz firmaları ise genellikle açık havaya kurulanları tercih etmektedirler. Çünkü, bunlar onarım ve bakımı daha kolay olduğundan, daha esneklerdir. Kuşkusuz bunların da havaya karşı korunmaları yapılmaktadır. Tristör devreleri metal muhafazalar içine konarak aynı zamanda radyo frekans karışımları da önlenmektedir.



Resim Z. Yağlı soğutmalı tristör düzeneginin öntipli



Resim S. Yüksek gerilim deneyleri yapılmakta olan bir yağ soğutmalı tristör düzenegi