
ENERJİ ÜRETİM VE İLETİM ALTERNATİFLERİNDE GELİŞMELER

Doç. Dr. H. Nusret YÜKSELER

t.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi Öğr. Üyesi

ÖZET

Alışılmış enerji üretim yöntemlerinde verim sınırlamaları bugünkü koşullarda çok düşük görülmektedir. 3-Faz enerji iletim hatlarında ise bazı alternatiflerin getirilmesi gereken yetersizlikler ortaya çıkmaktadır. İncelemede bu sorunlara çözüm olanakları getiren, kısmen uygulamaya girmiş gelişen teknolojiler ele alınarak, Türkiye açısından da geniş yararları olacak etkinlikleri belirlenmektedir.

1. GİRİŞ

Aydınlatma amacı ile 1882'de kurulan ilk enerji üretim iletim sisteminden günümüze kadar bu sistemlerde sürekli gelişmeler görülmektedir. New York, Pearl Street'de kurulan bu sistem 220/110 Volt bir doğru akım sistemi iken transformatörlerin geliştirilmesi, AA makinalarının ucuz maliyette olması ve kesici problemlerindeki kolaylıklar AA sistemlerinin hızla gelişmesine neden oldu. Mevcut sistemlerdeki çok değişik frekans ve gerilimler müşterek standartlara uydurularak sistemler arasında

enterkonneksiyonlar sağladı. Kömür, gaz, su gibi birincil kaynaklarda sağlanan enerji türbin-senkron generatör düzenleriyle elektrik enerjisine dönüştürülerek tüketime sunuldu. Ancak endüstrinin hızla gelişmesi, şehirlerin hızla büyümeleri elektrik enerjisine talebi benzer hızla arttırdı. Üretimin artması planlamacıları ekonomik faktörler üzerine eğilmeye zorladı. Termik santrallarda verimin % 40'ların altında kalması bir sorun oluyordu. İletim hatlarında gittikçe daha uzun mesafelere kararlı bir enerji iletimi diğer bir sorun olmaya başlamıştı. Şu soruların cevapları için araştırmalar yoğunlaştırıldı :

- Enerji üretiminde daha ekonomik bir yöntem uygulanabilir mi? Türbin-senkron generatör elektromekanik düzenleri yerine farklı bir düzen olanağı var mıdır?

- 3-Faz'lı alternatif akımla iletim yerine farklı bir iletim sistemi kurulabilir mi? Acaba doğru akımın uzun bir süre terkedilmesi bir hata mı idi? DA'la iletim geliştirilip bir üstünlük sağlayamaz mı? Veya DA yerine 3-Faz'lıdan başka bir alternatif akım düzeni kurulamaz mı? Ekonomik olma olanağı var mı?

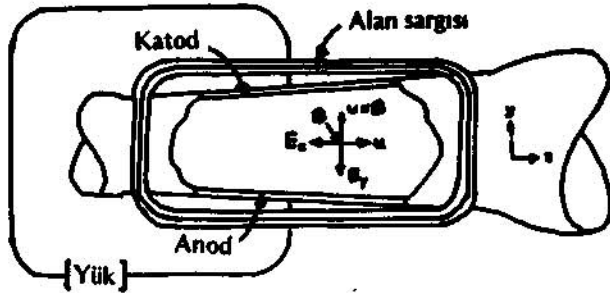
1973'de petrol krizinin getirdiği ekonomik bunalımdan da önce bu ekonomik ve önemli teknolojik yenilikler getirmesi beklenen arayışlar başladı. Bugün % 80'lere

varan verimle elektrik enerjisi üretimi, 3-Faz'lı sistemlere göre % 73'leri aşan yeni, farklı AA ile iletim ve bazı durumlarda gelişen sistem sorunlarına en uygun cevap veren DA ile iletim, kısmen gerçekleşmiş ve gelişmekte olan yöntemler olmaktadır. İncelememiz bu gelişen teknolojilere yönelmiş olup, yararları ve Ülkemize getirecekleri olanaklar üzerinde durulacaktır.

2. ÜRETİM KAYNAKLARINDA GELİŞMELER

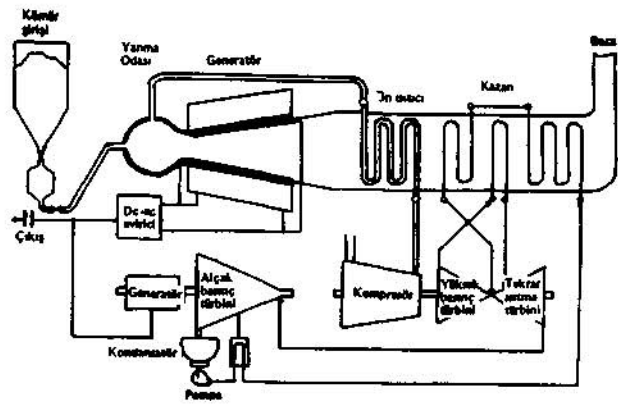
Bir termik santralde bilinen çevrimler verimi % 40'ın altında bırakıyor. Bugün için pek çok santralde bu verim % 20-30 arasındadır. Du-um araştırmaları yöntemde alternatif dönüşüm düzenlerine yöneltmiştir.

150 yılı aşkın zamandan beri bilinen yasaya göre, magnetik alanda hareket eden bir yüke kuvvet etkir. Yükün hareket ettiği ortam bu yasanın varlığı için önemli değildir. Ortam iletken olabilir, vakum olabilir, bir sıvı veya gaz olabilir. Bilinen generatörlerde yükün hareketi bakır iletken sargılardadır. İletken ortamda iletim kolaylığı senkron generatörlerle üretimi bugüne kadar alternatif-siz bırakmıştır. Elektronlar, iyonlar, nötr ve pozitif parçacıklarla oluşan bir plazma çok yüksek sıcaklıklara (2000°C - 3000°C) çıkartıldığında ve bir magnetik alan etkisinde bırakıldığında, senkron generatörün sargılarında olduğu gibi bir ortamda da bir gerilim oluşturulabilir. Bu olay magnetohidrodinamik generatörlerin esasını oluşturur. Dikdörtgen kesitli (tipik bir örnek) bir kanalın karşılıklı iki kenarına magnetik kutuplar ve diğer karşılıklı iki kenarına elektrotlar yerleştirilerek kanaldan sıcak bir plazma akışı sağlandığında, eğer elektrotlar bir dış yük devresine bağlı ise elektrik akımı oluşur. Bu tip üretim olanağı vardır ve bu generatörler MHD (Magnetohidrodinamik) adını alır (1), (2). Şekil 1'de MHD generatörün basit şemasa görülmektedir. Yüksek sıcaklıklarda



Şekil 1: MHD Generatörün şematik diyagramı

böyle bir üretim için teknolojinin geri kalışı, günümüze kadar yönteme uygulanabilme olanağı vermemiştir. Bugün ise yöntem ABD ve Rusya'da uygulanıyor. Çok yakın bir gelecekte de ticari alana gireceği bekleniyor. Kömürle çalışan, böyle bir generatörle ilgili çevrim ise Şekil 2'de görülmektedir. Yöntemin üstünlüğü veriminin



Şekil 2: Kömür yakıtlı MHD buhar gücü çevrimi

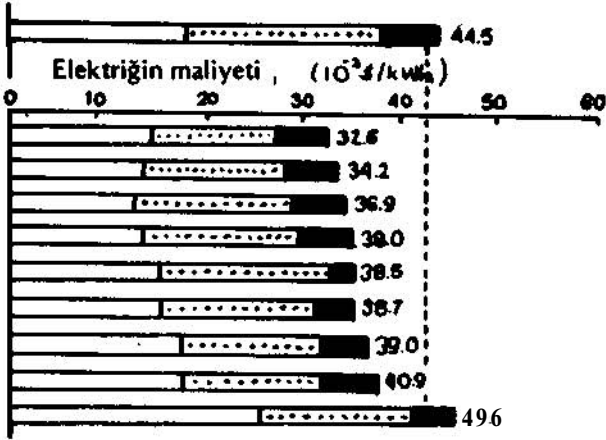
% 60'ın üstünde olması ve kombine çevrimlerle % 80 civarında verim elde edilebilmesidir. Çıkış DA olarak kullanılabilirdiği gibi AA da çevrilebilerek sistemler beslenmektedir.

Kömür yakıtlı santrallerin pek çok tipleri geliştirilmektedir. Bunlar arasında yapılan bir incelemede MHD'nin verim ve maliyet bakımından üstünlüğü ortaya konmak-

Tablo 1: Kömür Yakıtlı Gelişmiş Elektrik Santrallerinin Mukayesesi

Santral	Kademe (MWe)	Yaklaşık ISI kademesi (kj/kWh)	Verim %
Karbonat eriyikli yakıt hücreleri	635	6950	49,6
MHD	1932	7050	48,3
Potasyum üst çevrim	9 %	7650	44,4
Kombine gaz türbünü / 1649°C / Alçak Btu	640	7650	44,0
Helyum çevrimli	476	8550	39,9
Kombine gaz türbünü / 1316°C Alçak Btu	585	8550	39,6
Buhar / basınçlı akışkan yataklı / 538°C / 538°C	904	8550	39,2
Buhar / atm akışkan yataklı / 538°C / 649°C	843	9350	37,1
Buhar / atm akışkan yataklı / 538°C / 538°C	814	9700	35,8
Buhar santrali	747	10500	31,8

Tablo 2: Muhtelif Kömür Yakıtlı Enerji Santrallerinde Elektrik Maliyeti



I Kapital
 EHD Yakıt
 WM Bakım ve İşletme

Buhar Santrali (referans)

MHD

CCGT/1649C/LBtu

Buhar/AFB/538C/538C

Buhar / PFB / 538C / 538C

Buhar / AFB / 538C / 650C

MCFC

Potasyum üst çevrimli

Helyum çevrimli

AFB- Atmosferik akışkan yataklı

PFB- Basıncılı akışkan yataklı

MCFC- Karbonat eriyikli yakıt hücresi

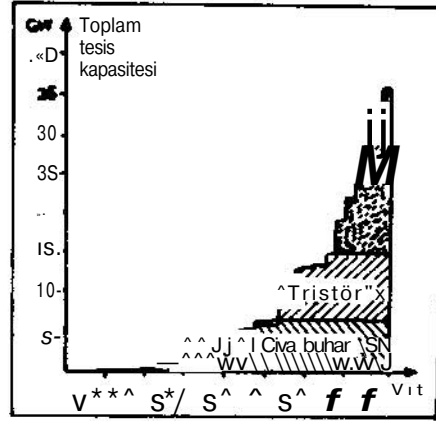
MHD- Magnetohidrodinamik

CCGT— Kombine çevrimli gaz tirbünü

tadır. Tablo 1'de kömür yakıtlı gelişmiş enerji santrallerinin mukayesesi ve Tablo 2'de ise muhtelif kömür yakıtlı enerji santrallerinde elektrik maliyeti görülmektedir.

Enerji üretiminde diğer önemli bir gelişme ise "Yakıt Hücreleri"nde görülür. Henüz küçük güçlerde, örneğin S MW'lık modül'ler şeklinde, fakat modüllerin biraraya getirilmesi ile büyüeyebilen bu üretim yönteminin bazen, çevreye etki gibi sorunları olmakla birlikte, önemli bir gelişme göstereceği beklenmektedir.

Geliştirme getirmesi beklenen diğer bir olanak ise, simetrik 6-Faz üretim yapan generatörlerdir ki, bu sistemlerde generatöre kadar üretim safhalarında bir değişiklik beklenmiyor. MHD çıkışında da böyle bir üretim olanağı mevcuttur. Yöntemin esas önemi iletimde getirdiği yenilikler olmaktadır.



Şekil 3: YGDA'nın 1954'den sonra gelişimi

3. İLETİM ALTERNATİFLERİNDE GELİŞMELER

Bilinen 3-Fazlı iletim yöntemi karşısında en önemli gelişme gösteren iki yöntemden biri DA'la iletim, diğeri 6-Faz'la AA iletimidir.

3.1. Doğru Akımla Enerji İletimi

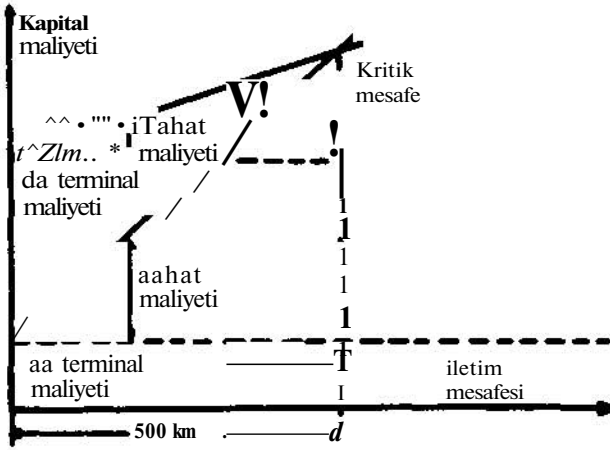
Yüksek Gerilim Doğru Akım (YGDA) enerji iletimi günümüzde gittikçe artan bir önem kazanıyor. 1954'den bu yana ve 1990'lara varan bir artış tahmini Şekil 3'de görülmektedir.

1954'de yapılan ilk YGDA hattı deniz altından kablo ve isveç ana kıtası ile Baltık Denizi'ndeki Gotland arasında 96 km. uzunluk ve 30 MW taşıma gücü için yapılmıştır. 1961 yılında İngiltere ve Fransa arasında Manş Denizi altından bir kablo ile 160 MW güç için bağlantı yapılmıştır. Bugün ise, yeni kablolarla iletilen güç 2000 MW'a çıkarılmaktadır. 1970'de ilk Kuzey Amerika YGDA iletimi 1360 km. ve 1440 MW ile gerçekleştirilmiştir. Bugün bu 2000 MW'a çıkarılmış bulunuyor. Getirdiği günlük kazanç ise, bu hat olmaması durumu ile mukayese edildiğinde, günde 1 milyon dolar civarındadır.

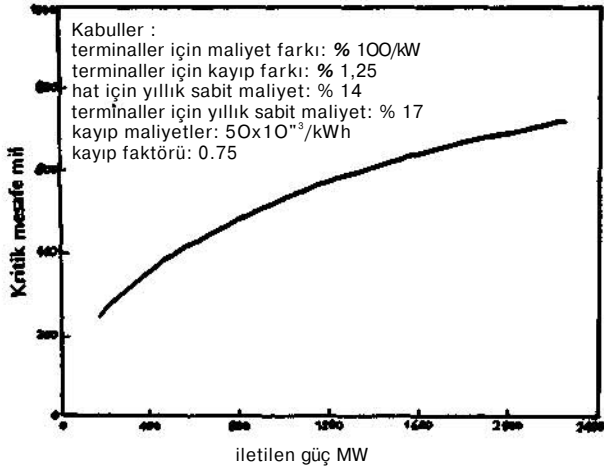
Ekonomik faktörler olarak DA sistemlerinde, DA/AA ve AA/DA dönüşümlerin yapıldığı terminal maliyetleri AA sistemlere göre oldukça yüksektir. Fakat AA hat maliyetleri DA hat maliyetlerinden daha yüksektir. Belirli bir hat uzunluğu için DA ve AA maliyetleri birbirine eşit olmaktadır ve bu kritik mesafe olarak bilinir. Kritik mesafelerin üstünde DA daha ekonomik, altında ise AA daha ekonomiktir. Tipik bir hat için durum Şekil 4'de gösterilmiştir.

Kritik mesafe gücü de bağımlıdır. Şekil 5'de ise kritik mesafenin iletilen güçle bağıntısı görülmektedir.

Doğru Akım hatlarının AA hatlarına göre diğer önemli üstünlükleri şöylece belirlenebilir :



Şekil 4: Alternatif ve doğru akımlar için iletim maliyetlerinin karşılaştırılması



Şekil 5: Kritik mesafe - Güç bağıntısı

a) Endüktans probleminin olmayışı. Uzun mesafelere AA ile büyük güçler iletilmek istendiğinde hattın endüktansı önemli sorunlar çıkarır. Verimli bir güç iletimi için AA hatlarında örneğin seri kapasitörlerle kompanzasyon yapmak gerekir.

b) DA kablolarında yüklem akımları ve dielektrik kayıpları olmadığından, aynı kesitli AA kablolarına göre daha fazla güç taşınabilir. Denizaltı kabloları için kritik mesafe 40 km. civarındadır. DA hatlarının maliyeti aynı güçte AA kabloların 2/3'ü kadardır.

c) DA hatları ile AA hatlarının başaramayacağı hizmetler yapılabilir. Örneğin komşu ve asenkron durumlu sistemler ancak DA hatları ile ekonomik ve güvenilir şekilde

bağlantılı hale getirilebilir. DA ile herhangi bir düzeyde enerji asenkron olarak iletilebilir. AA ile enerji sistemlerinin bağlantısında taşınan güç, güç açısı ile bağıntılıdır. Bu, farklı yapıdaki sistemler bağlantısında sorunlar çıkarır, örneğin su gücüne dayalı sistemlerde termik santralli sistemler arasındaki bağlar gibi. Su gücüne dayalı santrallerde frekans değişimi termiklere göre daha fazladır. Diğer bir örnek ITAIPU santralının Paraguay tarafında frekans 50 Hz, Brezilya'da ise 60 Hz'dir. Bağlantı Sao Paula'ya 7600 kV DA hattı ile yapılmakta ve böylece farklı frekanslı sistemler bağlanmaktadır. İngiltere-Fransa arasındaki hat, Kuzey Fransa'daki nükleer santrallerin ürettiği elektriği, fuel-oil kullanılan santrallerin beslediği Londra çevresine verebilecek ve böylece büyük ekonomi sağlanacaktır.

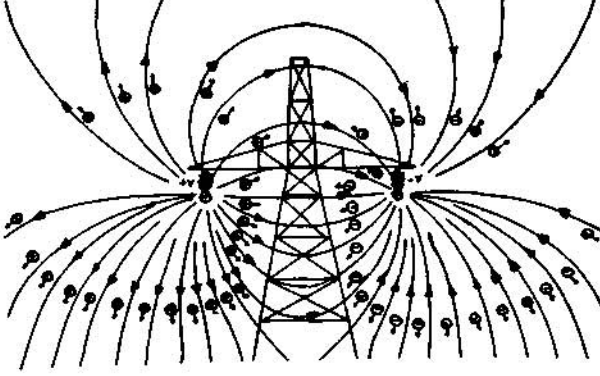
d) DA hatlarında nisbeten daha küçük direk gereksinimi vardır. Çevreye uygunluk ve güzergâh gerekleri yönünden koşullar daha uygundur.

Mahzurları ise :

a) Kesiciler en önemli sorundur. Genellikle DA iletiminde iki terminalli sistemler kullanılır. Gelişen teknolojinin 4 veya daha fazla terminalli sistemlere olanak vereceği görülüyor. Oysa AA'da sorun basittir. SF6 veya vakumlu kesiciler güvenilir olanaklar sağlıyor. AA'da akım periyodik olarak sıfır değerinden geçmekte ve bu durum kesme kolaylığı sağlamaktadır.

b) DA hatlarının yaratabileceği düşünülen bazı sağlık sorunları. YGDA hatları civarında elektrik alan şiddeti benzer YGAA hatları civarındakinden daha büyüktür, örneğin 500 kV AA hatlarının altında toprak düzeyinde alan şiddeti 9 kV/mm iken 500 kV DA hatlarının altında 30 kV/m olmaktadır. Bunlar Kuzey Dekota ile Minnesota arasındaki hatlarda ölçülmüştür. Bununla beraber yapılan sınırlı incelemeler, gerek bitkilere ve gerekse canlılara elektrik ve magnetik alanların AA ve DA'da bir değerine göre daha tehlikeli olabileceğini göstermemiştir. Diğer bir nokta, YGDA hatlarının statik magnetik alanları yakın objeler üzerinde bir gerilim endüklemez. Bununla beraber AA ve DA hatlarının elektrik karakteristiklerinin arasındaki önemli bir fark hava-iyon konsantrasyonlarında ve hatlar civarındaki iyon akımlarında görülür. Sağlık için sorun olabileceği düşünülen YGDA hatlar civarında hava-iyon konsantrasyonunun fazla oluşudur. Bununla beraber bu konuya yeter açıklık getirecek deneyler henüz yapılamamıştır, iletim gerilimleri mertebesinde gerilim uygulanan hatlar civarında elektrik alan şiddeti havanın delinme geriliminden daha yüksektir ve bu hat civarında iyonizasyona neden olur. AA hatlarında bu sorun değildir, çünkü periyodun farklı yarılarında alan ters olduğundan iyonlar uzaklaşamaz. Halbuki DA'da oluşan iyonlar uzaklaşabilir. YGDA hatlarında iyon-

ların % 80'i hatların ters yüklü ($\bar{+}$) olması nedeniyle birbirini nötrleştirdiği belirlenmiştir. Geri kalanları rüzgârla uzaklaşmaktadır (Şekil 6). Bu uzaklaşmanın bir mil civarında olduğu görülmüştür. Yağmur ve rutubet de iyonlaşmayı arttırmaktadır. Bununla beraber zararlı etkileri görülmemiştir. Buna rağmen tartışmalar ve YGDA hat inşasına çevre sakinleri tarafından itirazlar olmaktadır.



Şekil 6: Hatlarda iyonizasyon

3.2. 6-Faz AA İle İletim

Konu diğerlerine göre oldukça yenidir (3), (4), (5), (6), (7), (8). 6-Faz üretim için yeni generatör tipleri geliştirilmektedir. Bu tip iletim ile ilgili şu kritikler yapılmaktadır :

- Güç iletim Kapasitesi. Eğer iki adet 3-Faz AA hattı 6-Faz'a dönüştürülecek olursa, güç iletim kapasitesi % 73,2 artmaktadır.
- Faz-Toprak, Faz-Faz Gerilimleri. Faz-Faz gerilimleri küçülmekte ve 6-Faz için Faz-Faz gerilimi ile Faz-Toprak gerilimi eşit olmaktadır.
- iletken Açıklıkları. İletken açıklıkları küçültülebilir. Buna rağmen rüzgâr ve buz yükü, arıza akımları sınır getirebilmektedir.
- Darbe - empedans Yüğü. Artmaktadır.
- Temel Yük. Faz adedi ile doğrusal artar.
- Pozitif-dizi darbe empedansı, endüktif reaktans ve X_0 / X_1 oranı. Üç fazlı sisteme göre daha büyüktür.
- Transpozisyon. Güçlük çıkarır. Tek transpozisyon olanağı bütün iletken düzenini hat boyunca döndürerek elde edilebilir.
- Elektrik Alanı. Maksimum yüzey elektrik alanı azalmakta, fakat maksimum toprak elektrik alanı yükselmektedir.
- Radyo ve Ses Gürültüleri. 6-Faz sistemi daha iyi durumdadır.
- Arıza Aşırı Gerilimleri. Nisbeten biraz daha fazladır,
- Açma Kapama Darbeleri. Faz-toprak darbeleri arası

fark % 4'den az. Faz-Faz darbeleri önemli.

- Kesicide Açma Gerilimleri. Nisbeten az.
- Yıldırım Darbeleri. % 20 daha az.
- Terminal Yalıtım Düzeyleri. Biraz daha yüksek.

Bu sonuçlar 6-Faz sistemlerinin üstünlükler gösterdiğini belirlemektedir. Ancak geniş bir şekilde uygulama alanına sokmadan önce deneme hatlarında birçok istatistik bilgiler kazanılması gerekli görülmektedir.

4. SONUÇ

Gelişen düzenler gerek enerji üretiminde ve gerekse iletiminde önemli yenilikler getirmektedir.

MHD yöntem, verimi % 80'lere çıkararak temel üretimi için alternatifsiz kalacağı görülmektedir.

DA ile enerji iletiminin AA ile iletimle başarılamayacak üstünlükleri vardır ve örneğin asenkron bağlantılar gibi durumlarda zorunlu ve ekonomiktir.

6-Faz sistemleri 3-Faz sistemlere göre önemli üstünlüklerle uygulamaya girecek görünümündedir.

MHD yöntemler ticari alana girince Ülkemiz için önemli yararlar sağlayacak, aynı miktar birincil kaynaklarla iki mislini aşan elektrik enerjisi üretimi mümkün olacaktır. Ekonomi, verim ve çalışma üstünlükleri ile bilhassa temel üretim olarak her türlü üretim için ideal bir şekil ile uygulama alanına girecektir.

Ülkemizde de DA bağlantıları önemli ekonomi sağlayacaktır. Bilhassa adalarla bağlantılarda (40 km'den uzak) uygun görülüyor.

6-Faz sistemleri kesinlik kazanınca Ülkemizde de elektromekanik imalat sanayiinde önemli etkileri olacaktır.

KAYNAKLAR

- H. Nusret YÜKSELER: "Enerji Sistemlerinin Ekonomisinde Görünüm", Kaynak Dergisi, Sayı 28, 17-20 Ekim 1984.
- H. Nusret YÜKSELER, "Elektrik Enerjisi Üretim Yöntemlerinde Gelişmeler", Elektrik Mühendisliği Dergisi, 54-59, Cilt 28, Sayı 1 295, 1983/4.
- H.C Barnes and L.O. Barthold, High phase order power transmission, Electro. (24) (1973) 139-153.
- J.R. Stewart and D.D. Wilson, High phase order transmission a feasibility analysis, Part I - Steady state considerations, IEEE Trans., PAS-97 (1978) 2300-2307.
- J.R. Stewart and D.D. Wilson, High phase order transmission a feasibility analysis, Part II - O/n voltages and insulation, IEEE Trans., PAS-97 (1978) 2308-2317.
- S.S. Venkata, N.B. Bhatt and W.C. Guyker, Six phase (multi phase) power transmission systems: concept and reliability aspects, Presented at the IEEE Summer Power Meeting, Portland Oregon, 18-23 July 1978.
- W.C. Fuyker, W.M. Booth, M.A. Jansen, S.S. Venkata, E.J. S tane k and N.B. Bhatt, 138 kV six phase transmission system feasibility, Presenter at the 1978 American Power Conference, Chicago, Illinois, April 24-28, 1978.
- N.B. Bhatt, S.S. Venkata, W.C. Guyker and W.H. Booth, six phase (multi phase) power transmission. Fault analysis, IEEE Trans., PAS-96 (1977) 758-767.