

# ENDÜKSİYON GENERATÖRLERİNDE STATİK Var GENERATÖRLERİ KULLANARAK TERMİNAL GERİLİM DÜZENLEMESİ

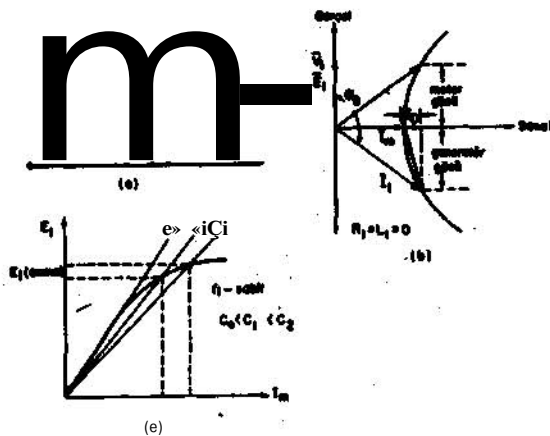
Dr. Muammer ERMiŞ  
Mustafa DAĞDELEN  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi  
Elektrik Mühendisliği Bölümü

## ÖZET

Sabit hızla sürülen endüksiyon generatörlerinde, kendinden uyarımı sağlamak ve değişen yük koşullarında terminal gerilimi belirli bir değerde sabit tutmak amaçlarıyla statik var generatörleri kullanılabilir. Sabit kapasitörler ve tiristör denetimli reaktörlerden oluşan bir statik uyarıcı kullanılarak kendinden uyarımlı endüksiyon generatörlerinin terminal gerilim düzenleme problemi deneysel olarak incelenmiştir.

## 1. GİRİŞ

Elektrik sistemine bağlı bir endüksiyon makinasının, senkron hızdan daha yüksek bir hızda döndürüldüğün-



Şekil 1. Endüksiyon makinasının  
(a) eşdeğer devresi,  
(b) vektör diagramı,  
(c) mıknatıslanma eğrisi

de generatör olarak çalışacağı bilinmektedir. Bu durumda, endüksiyon generatörü bir yandan elektrik sistemine aktif güç üretirken diğer yandan bu sistemden reaktif güç alacaktır. Endüksiyon makinalarının (motor ve generatörlerinin reaktif güç istemi, Şekil 1a da verilen eşdeğer devre gösterimindeki endüktif elemanlar göz önüne alındığında anlaşılır olmaktadır.

Ote yandan, endüksiyon makinaları elektrik sisteminin olmadığı uzak yerleşim bölgelerindeki yüklerin elektrik enerjisi gereksiniminin karşılanması amacıyla bağımsız güç kaynakları olarak da kullanılabilirler (1). Bu kullanım için asgari koşul makinanın uyarımını sağlayacak reaktif gücü dış bir kaynaktan vermektir. Bu tür bir endüksiyon makinası "Kendinden Uyarımlı Endüksiyon Generatörü" olarak adlandırılır. Endüksiyon generatörlerinde uyarımı sağlamak amacıyla "Statik Uyarıcılar" olarak adlandırılan tristörlü ve sadece kapasitif var üreten reaktif güç generatörleri kullanılabilir (2).

Belirli bir gerilimde çalışan endüksiyon generatörünün vektör diagramı Şekil 1.b. de gösterilmiştir. Görüldüğü üzere makinanın reaktif akım gereksinimi, değişmeyen ( $I_m$ ) ve üretilen aktif güç ile değişen ( $ID$ ) iki kısımdan oluşmaktadır. Diğer bir deyişle, kendinden uyarımlı bir endüksiyon generatörünün reaktif güç istemi belirli bir gerilim seviyesinde üretilen aktif güce bağlı olarak değişim gösterecektir.

Statik uyarıcı tarafından sağlanan kapasitif var in değiştirilmesiyle üretilen gerilimi denetlemek mümkündür. Sabit hızda döndürülen, yüksüz bir endüksiyon generatörünün reaktif güç isteminin stator terminaline bağlanmış kapasitörlerle sağlandığı düşünülmüş ve kapasitörlerin değerlerinin değiştirilmesiyle üretilen gerilim seviyesinin nasıl değişeceği Şekil 1.c de gösterilmiştir. Kapasitörün V-I karakteristiği ile generatörün mıknatıslanma eğrisinin kesim noktası, kararlı durum çalışma koşullarında, üretilen gerilimi simgelenmektedir. Şekil 1.c de  $C_1$  kapasitansı gerilimin anma değerine ( $E_n$ ) karşılık gelmekte; stator terminaline daha büyük bir kapasitans ( $C_2$ ) bağlanması gerilimin yükselmesine, daha küçük bir kapasitans ise düşmesine neden olmaktadır. Kendinden uyarımın olması için en az reaktif akımın değişmez kısmını ( $> m$ ) sağlamaya yetecek büyüklükte bir kapasitans gerekecektir. Bu kritik değer Şekil 1.c de  $C_0$  kapasitansı ile gösterilmiştir.

Yukarıda sıralanan ilkeler doğrultusunda, kapasitif var üretimi denetlenebilir bir statik uyarıcının kullanılmasıyla:

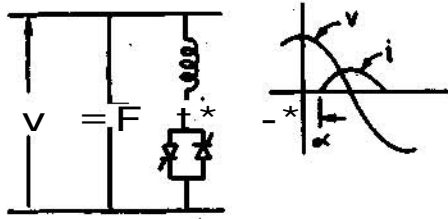
1. endüksiyon generatörünün uyarımı
2. yükün reaktif güç isteminin karşılanması
3. terminal geriliminin düzenlenmesi (belirli bir değerde sabit tutulması)

değişen yük koşullarında (yükün aktif ve reaktif güç isteminde değişimler) sağlanabilecektir. Böylece; endüksiyon generatörü, statik uyarıcı ve yükten oluşan sistem, kendi içinde reaktif ve aktif güç dengesini

kurarak, istenilen gerilim seviyesinde üretimde bulunabilen bağımsız bir güç kaynağı olarak çalışacaktır.

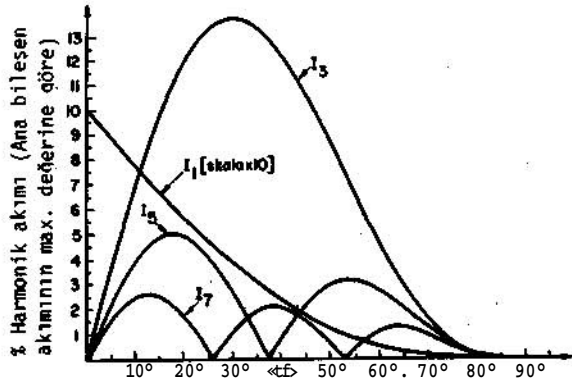
### M. TERMİNAL GERİLİMİN SABİT KAPASİTÖRLER VE TİRİSTÖR DENETİMLİ REAKTÖRLER İLE DÜZENLENMESİ

Bu çalışmada endüksiyon generatörünün uyarımı ve terminal gerilim düzenlemesi, değişen yük koşullarında, bir statik uyarıcı ile sağlanmıştır. Statik uyarıcı olarak stator sargılarına paralel bağlanmış sabit kapasitör ve tristör denetimli reaktör grupları kullanılmıştır. Bu tip bir reaktif güç generatörünün tek faz gösterimi Şekil 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Sabit kapasitörler ve tristör denetimli reaktörlerden oluşan reaktif güç kompensatörünün tek faz gösterimi.

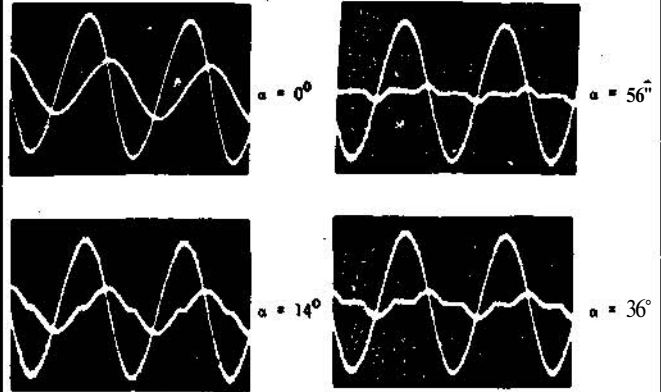
Belirli bir gerilim seviyesinde kapasitör grubu sabit reaktif güç üretiminde bulunacak; üretilen kapasitif var m bir kısmı hem uyarımı hem de terminal gerilim düzenlemesini sağlamak için endüksiyon generatörüne kullanılacak, geriye kalan kısım ise tristör denetimli reaktif güç istemi yük koşullarına bağlı olarak değiştiğinden, terminal gerilimin belirli bir değerinde sabit tutulması tristörlerin ateşleme açılarını değiştirerek sağlanabilecektir.



Şekil 3. Tristör denetimli reaktörün harmonik akımlarının  $\alpha$  ya göre değişimi

Şekil 3 den görüleceği üzere; tristörlerin ateşleme açılarının değiştirilmesiyle reaktörlerden geçen ana bileşen akımı, dolayısıyla belirli bir gerilim seviyesinde reaktörlerin endüktif var üretimi değiştirilebilecektir. Örneğin, ateşleme açısı ( $\alpha$ ) sıfır olduğunda ters koşut bağlanmış tristörler kısa devre olacak ve endüktif var üretimi en büyük değerine ulaşacaktır; öte yandan ateşleme açısının  $90^\circ$  olduğu durumda tristörler açık devre gibi davranacak, böylece endüktif var üretimi sıfırlanacaktır. Ateşleme açısı  $\alpha$ , gerilim dalga şeklinin tepesi referans alınarak tanımlanmıştır (Şekil 2). Kapasitörlerin kapasitif var üretimi sabit olduğundan, ateşleme açısının sıfıra ayarlanması statik uyarıcının kapasitif var üretiminin en küçük değerine,  $90^\circ$  ye ayarlanması ise en büyük değerine ulaşmasına neden olacaktır. Belirli bir yük direncinde, statik uyarıcının kapasitif var üretiminin artmasının gerilim yükselmesine neden olacağı unutulmamalıdır.

Bir tristör denetimli reaktör grubu gerçekleştirilmiş ve tristörlerin değişik ateşleme açıları için reaktörlerin gerilim ve akım dalga biçimleri Şekil 4 de verilmiştir.

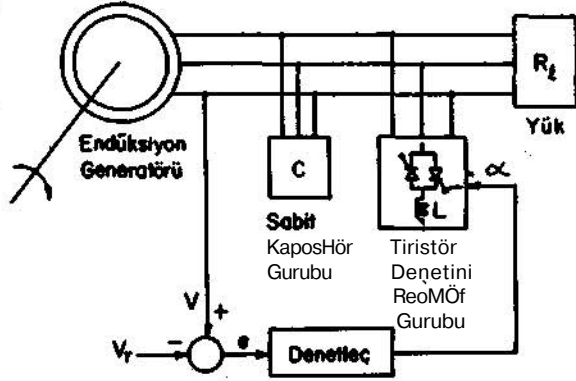


Şekil 4. Değişik ateşleme açıları  $\alpha$ , in reaktörlerin gerilim ve akım dalga şekilleri.

Şekil 3 den anlaşılacağı üzere, tristör denetimli reaktörler tek numaralı harmonik (1, 3, 5, 7, 9, 11, ...) üreteceklerdir. Harmoniklerin hem generatör hem de yük üzerinde olumsuz etkilerinin olacağı açıktır. Bu olumsuzluklar, uygun süzgeç düzenleri ile ve/veya statik uyarıcının bağlantı biçiminin değiştirilmesiyle önemli oranda giderilebilir, örneğin, kapasitör gruplarının Y biçimi yerine A bağlanmasıyla üç ve dokuzuncu harmonik akım bileşenlerinin A bağlı kapasitör grubunda dolaşması sağlanarak endüksiyon generatörü ve yüke yansımaları önlenecektir. Benzer bir biçimde; reaktörlerin Y yerine A bağlanmasıyla ateşleme açısının denetim aralığı  $0-30^\circ$  den  $0-90^\circ$  ye genişletilebilecektir. Bu çalışmada kapasitör ve reaktörler grupları yukarıda vurgulanan amaçlar doğrultusunda A biçiminde bağlanışlardır.

### III. TEST SONUÇLARI

İncelenen sistemin şematik gösterimi Şekil 5 de verilmiştir.

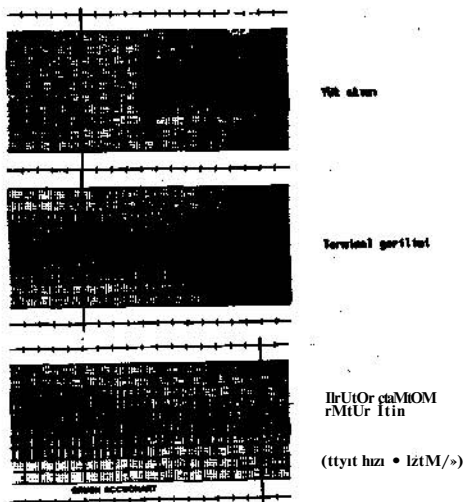


Şekil 5. İncelenen sistemin şematik gösterimi.

Kendinden uyarımlı endüksiyon generatörünün stator terminallerinden alınan gerilim sinyali (V) referans sinyali (V<sub>r</sub>) ile karşılaştırılmakta, üretilen hata sinyali (e) bir denetleç tarafından işlenerek tiristörlerin ateşleme açıları değiştirilmektedir. Bu denetim düzeni ile sistemin terminal gerilimi, değişen yük koşullarında, anma değerinde (V<sub>n</sub> = 220 Volt/faz) başarılı bir biçimde sabit tutulabilmektedir.

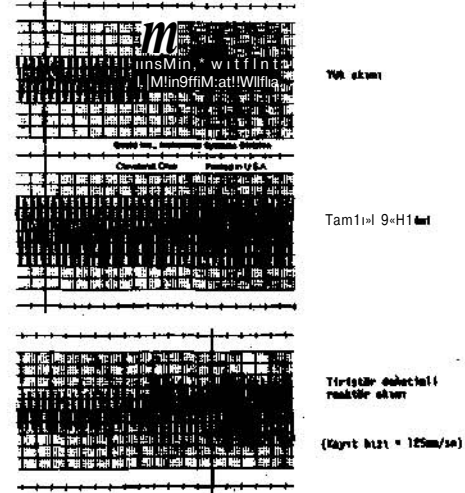
Bu sistemin başarımını sınamak amacıyla en büyük yük değişimleri uygulanmış ve yük gerilimi ile akımındaki değişimler kaydedilmiştir.

En zor çalışma koşullarından ilki, kendinden uyarımlı endüksiyon generatörüne yüksüz çalışırken birden tam yük uygulanmasıdır. Bu geçici durum için; yük akımı, terminal gerilim ve reaktör akımına ilişkin kayıtlar Şekil 6 da verilmiştir.



Şekil 6. Yüksüz çalışırken aniden yük alma durumu

En zor çalışma koşullarından ikincisini, tam yükte çalışan generatörün aniden yüksüz kalma durumu oluşturur. Bu geçici durum için, gerilim ve akım dalga biçimlerinin kayıtları Şekil 7 de verilmiştir.



Şekil 7. Yükte çalışan sistemin aniden yüksüz kalma durumu

Bu şekillerden görüleceği üzere, sabit kapasitör ve tiristör denetimli reaktör gruplarından oluşan statik uyarıcı kendinden uyarımlı bir endüksiyon generatörünün, değişen yük koşulları altında terminal gerilimini başarılı bir biçimde düzenlemektedir. Geçici çalışma koşullarında terminal gerilim ve yük akımındaki değişimler kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Endüksiyon generatörünün birden tam yük aldığı durumda; yük akımında gözlenen değişimler kullanılan direnç tipi yükün özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Sabit hızlı bir motor tarafından sürülen kendinden uyarımlı endüksiyon generatörünün çıkış sıklığındaki değişimlerin, değişen yük koşullarında, kabul edilebilir sınırlar (50 ± 0.5 Hz) içerisinde kaldığı gözlenmiştir.

### IV. SONUÇ

Sabit kapasitörler ve tiristör denetimli reaktörlerden oluşan statik uyarıcı endüksiyon generatörünün terminal gerilim düzenlemesini gerçekleştirebilecektir.

Bu tip statik reaktif güç kompanzatorleri var istemi çok hızlı değişen yüklerin ark ocakları, hadde makinaları) kompanse edilmesinde de kullanılabilir. Bir diğer uygulama alanını ise iletim hatlarındaki gerilim düzenlemesi ve kararlılığının artırılması oluşturmaktadır.

### KAYNAKÇA

- (1) Ermiş, M., "Modelling and Analysis of a Wind Turbine Driven Self Excited Induction Generator". Ph. D. thesis, M.E.T.U. Elec. Eng. Dept., April 1982.
- (2) Dağdelen, M., "Terminal Voltage Regulation of a Self Excited Induction Generator by means of a Static Exciter", M. Sc. thesis, M.E.T.U. Elec. Eng. Dept., February 1982.