

# **Rüzgar Türbinlerinde Kullanılan Sabit Mıknatıslı Senkron Makinanın Kübik Güç Transferine Uygun Sargı Tekniği ve Kontrol Düzenine Tasarımı ve Uygulanması**

Sabri ÇAMUR, Birol ARİFOĞLU, Tarık DURU, Ersoy BEŞER, Abdulvehhap KAZDALOĞLU

## **GİRİŞ**

Rüzgar enerjisinden elektrik enerjisi üreten sistemlerde generatör olarak senkron yada asenkron makinaların çeşitli uygulamaları mevcuttur. Bunlardan değişken hızlara en kolay adapte olan ve optimum güç transferine olanak sağlayan uygulamaların başında asenkron generatörlü uygulamalar gelmektedir. Bu sistemler genellikle büyük güçlü uygulamalarda tercih edilmekle beraber, birkaç kW'lık güçlere yönelik çalışmalar da yapılmaktadır[1].

Bu çalışmada asenkron generatörlü uygulamalara alternatif oluşturacak ve küçük güçlü rüzgar türbinlerinde tercih edilebilecek bir sistemin tanıtımı yapılacaktır.

Senkron generatörlerin rüzgar türbinlerinde kullanılmasında bazı sakıncalar oluşmaktadır.

Sabit hız, sabit frekans çalışma şekli ile şebekeye paralel bağlı çalışan senkron generatör sistemlerinde türbin hızı sabit kalmak zorunda olduğundan, değişken rüzgar hızlarındaki güç transferlerinde optimizasyon yapılamamaktadır.

Değişken Hız- Sabit frekans uygulamalarında üretilen enerji akü bankalarında depo edilmektedir. Bu sistemlerde generatörün uyarma akımına etki edilerek, akü bankası gerilimi ile generatör gerilimi uyumlu hale getirilebilir. Uyarma kayıplarının önem kazandığı küçük güçlü uygulamalarda uyarma sargılı generatörlerin kullanılması elverişli değildir.

Sabit mıknatıslı senkron generatörlerin kullanılması durumunda ise, uyarma kayıplarının olmamasına karşın, gerilim ayarının yapılamaması, farklı hızlarda aktarılan gücün optimizasyonunu engellemektedir.

Düşük hızlar için optimize edilmiş sabit mıknatıslı bir generatör sisteminde sargılar çok sarımlı ve düşük kesitli olarak tasarlandığında, yüksek hızlar için ohmik ve indüktif gerilim düşümleri büyük olduğundan, yüksek hızlarda güç transferi sınırlı kalmaktadır. Yüksek hızlar için optimize edilmiş generatörlerde de az sarımlı ve yüksek kesitli sarım uygulandığından düşük rüzgar hızları için üretilen gerilim yetersiz olduğundan bu hızlarda güç aktarımı mümkün olamamaktadır. Literatürde bu sorun için önerilen seri kompanzasyon ise, oldukça büyük kapasiteli AA kondansatörleri gerektiğinden, maliyeti ve sistem boyutlarını arttırmaktadır[2].

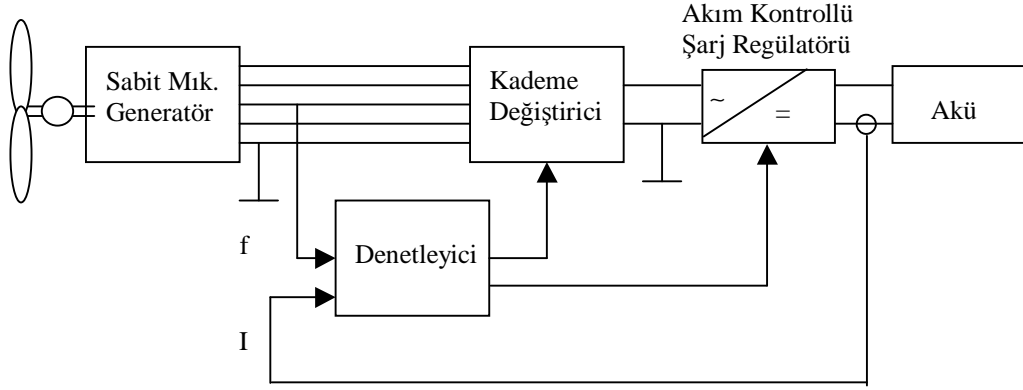
Önerilen sistemde bu sorunların aşılması için farklı bir sarım tekniği ve denetim yöntemi kullanılmıştır.

## **SİSTEMİN TANITIMI**

Şekil 1.'de önerilen sistemin prensip şeması verilmiştir. Bu sistem rüzgar türbini, kübik güç transferine uygun sargı tekniği uygulanmış sabit mıknatıslı senkron generatör, sistemin kontrolünü sağlayan denetleyici birimi, generatörün uygun güç transferini

sağlayan kademe değiştirici ünite, akü şarjını denetlemek için kullanılan akım kontrollü şarj regülatörü ve akü bankasından oluşmaktadır.

Bu sistemde enerji üretimine başlayabilmek için rüzgar giriş gücünün türbin dönüş hızını belirli bir değerin üzerine çıkartmış olması gerekir. Bu durumda denetleyici uygun çıkış gerilimini sağlayan kademe değiştiriciyi birinci kademeye getirecektir.

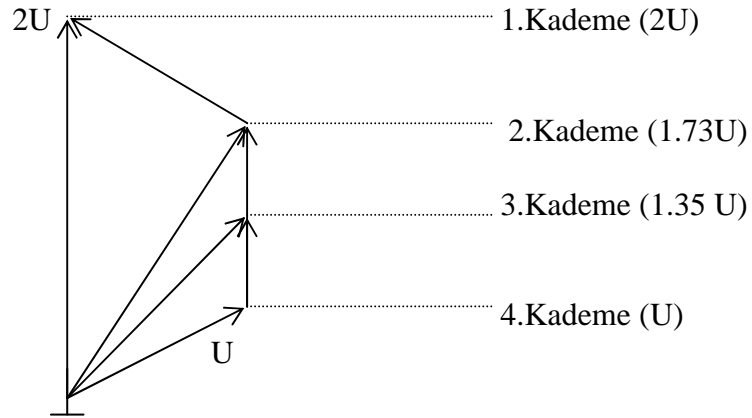


şekil 1. Sistemin Blok Diyagramı

Birinci kademede üretilen gerilim bir faz geriliminin iki katı (2Ufaz) olup, akım kontrollü şarj regülatörü akımı depo edilen gücü bir birimlik güç olacak şekilde denetler (şekil 2). Sistem giriş gücünün depo edilen güçten daha büyük olması durumunda pervane hızı artmaya devam edecektir. Bu artış ikinci kademeye geçmek için gerekli olan hıza ulaştığında denetleyici sistemi ikinci kademeye (1.73Ufaz) geçirecek, bu aralıkta depo edilen güç 1.51 birim güce yükseltilecektir. Giriş gücünün depo edilen güçten büyük olmaya devam etmesi durumunda, türbin hızlanmaya devam edecek, türbin hızı üçüncü kademeye geçiş hızına ulaştığında, denetleyici sistemi üçüncü kademeye (1.35Ufaz) geçirecek ve bu aralıkta sistemden çekilebilecek güç sınırı 3 birim güce yükseltilecektir. Halen giriş gücünün depo edilen güçten büyük olması durumunda, türbin daha da hızlanarak dördüncü kademe hız sınırına ulaştığında, denetleyici sistemi dördüncü kademeye (1Ufaz) geçirecektir. Bu kademede, sistemde depo edilecek güç 8 birim güce arttırılacaktır. Bu durumda depo edilmesine müsaade edilen 8 birimlik gücün türbin giriş gücünden büyük olması durumunda, pervane hızı yavaşlamaya başlayacak, sistem üçüncü kademeye geri dönecek, bu kademede depo edilen gücün küçük kalması durumunda ise tekrar bir üst kademeye geçerek, bu şekilde türbin giriş gücünden maksimum istifadeyi sağlayacak kademeyi otomatik olarak bulacaktır. Burada dikkat edilirse türbin hızı birinci kademe baz değerine göre iki katına çıktığında, sistem dördüncü kademeye geçmekte güç ise birinci kademeye göre sekiz kat artmaktadır. Anlaşıldığı üzere hız iki katına çıktığında depo edilen güç sekiz katına çıkmaktadır.

$(n4K/n1K)^3 = P4K/P1K$  , 1. Kademedeki : n1K: Türbin hızı , P1K: Türbin gücü  
4. Kademedeki : n4K: Türbin hızı , P4K: Türbin gücü

Diğer bir değişle; generatör frekansı ölçülür, ölçülen değer devir sayısı ile orantılı bir büyüklüktür. Bu devir sayısı için generatörün üreteceği gerilim belirli olduğundan uygun kademe seçilerek akü devresine bağlantı sağlanır. Her kademe için çekilebilecek akım değeri kübik güç aktarımına uygun olarak belirlenmiştir. Bu kademe için aküye aktarılan güce rağmen, türbin hızlanıyor ise bir üst güç kademesine geçilir. Bu durumda da türbin hızlanmaya devam ederse daha yüksek güç aktarılan kademeye geçilir. Türbinin hız artışı sona erene kadar bu değişlik devam etmektedir. Türbin hızının düşmesi durumunda ise, daha düşük güç aktarılan kademeye geçilir. Bu şekilde her rüzgar hız durumu için generatör çıkış gerilimi akü gerilimine uygun hale getirilmiş olur.



Şekil 2. Elde edilen gerilim kademeleri

$U \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 30^\circ + U/2 \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 90^\circ + U/2 \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 90^\circ + U \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 120^\circ$	; 1. Kademe Fazör ifadesi
$U \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 30^\circ + U/2 \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 90^\circ + U/2 \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 90^\circ$	; 2. Kademe Fazör ifadesi
$U \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 30^\circ + U/2 \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 90^\circ$	; 3. Kademe Fazör ifadesi
$U \begin{matrix} \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \\ \lfloor \end{matrix} 30^\circ$	; 4. Kademe Fazör ifadesi

	4. Kademe	3. Kademe	2. Kademe	1. Kademe
1 kademeye göre normalize edilmiş değerler	$1U/2U=0,5$	$1,35U/2U=0,675$	$1,73U/2U=0,865$	$2U/2U=1$
1 kademeye göre gerçek değerler	6V	8,1V	10,37V	12V
2 kademeye göre gerçek değerler	6,93V	9,36V	12V	13,87V
3 kademeye göre gerçek değerler	8,865V	12V	15,37V	17,77V
4 kademeye göre gerçek değerler	12V	16,2V	20,76V	24V

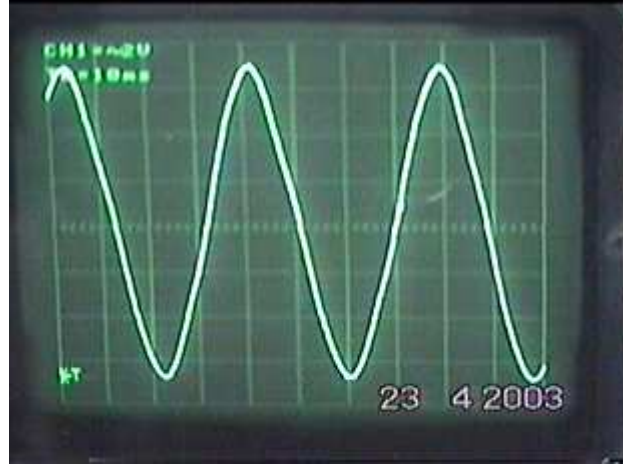
$U_f = 0,127 \cdot f$  ; Frekansa bağılı bir faz sargısında endüklenen gerilim ifadesi  
Üretime geçme frekansı; 1 kademeye göre gerçek değer(  $U_f$  )=  $6V = 0,127 \cdot f$   
'ifadesinden,  
 $f = 48\text{Hz}$ .'dir. Benzer şekilde diğer kademelere göre üretime geçme frekansları:  
2.Kademe için  $f = 55\text{Hz}$ .  
3.Kademe için  $f = 70\text{Hz}$   
4.Kademe için  $f = 95\text{Hz}$  olarak belirlenir.

Kullanılan senkron generatör 12 kutuplu olup, 36 oluklu bir statoru vardır. Uygulanan sarım tekniği ile, dört farklı gerilim elde edilebilecek şekilde sargı uçları makinanın dışına çıkarılmıştır (Şekil 3). Sargılardan elde edilebilecek gerilimler, herhangi bir sargının gerilimi  $U$  olmak üzere  $U$ ,  $1,35U$ ,  $1,73U$ ,  $2U$  şeklindedir. Bu gerilimlere ait fazör diyagramı şekil 2.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Dört farklı gerilim elde edilebilecek şekilde sargı uçları makinanın dışına çıkarılmış, 36 oluklu senkron generatör statoru.

Dört farklı gerilim elde edilebilecek şekilde, sargı uçları stator dışına çıkarılmış sabit mıknatıslı senkron generatör prototipinin laboratuvar ortamında 250 devir/dakika hızla tahrik edildiği ve kademe değiştirici ünitenin ikinci kademedeki sabitlendiği durumda üretilen gerilimin osiloskoptaki görüntüsü şekil 4 de verilmiştir. Elde edilen gerilimin değeri, generatörün bir fazından elde edilen gerilimin 1.73 katı olup, gerilim dalga şekli sinüs formatındadır.



Şekil 4. İkinci kademe, 250 Dev./Dak. da elde edilen gerilimin osilaskop görüntüsü.

Şekil 5 de yapılan prototipin resmi görülmektedir. Bu prototip 20m/s rüzgar hızında 600W güç verebilecek şekilde dizayn edilmiştir.



Şekil 5. Sabit mıknatıslı senkron generatör ve türbin tasarımı yapılan prototipin fotoğrafı

## SONUÇLAR

Düşük devirlerde istenilen gerilime ulaşabilmek için sarım sayısının fazla olma gereği vardır. Aynı sarım sayısı yüksek hızlarda kullanıldığında ise frekansın yükselmesi sebebi ile senkron reaktansın katlanarak artmasına sebep olduğundan, sistemden yüksek güç çekilemez. Sistemden yüksek güç çekmek için ise generatörün senkron reaktansını düşürmek, dolayısıyla sarım sayısını düşürmek gerekir, bunun sonucunda ise düşük devirlerde istenilen gerilime ulaşamamaktadır. Bizim önerdiğimiz sistemdeki sargı tekniği uygulandığında ise yüksek hızlarda da düşük hızlarda da senkron reaktans çok

değişmemektedir. Aynı zamanda düşük hızlarda da istenen gerilim seviyelerine ulaşılabilir.

Bu çalışma ile kübik güç transferine olanak sağlayan, 600 VA. Gücünde, sabit mıknatıslı bir senkron generatör ve türbin prototipi üretilmiştir.

#### KAYNAKLAR

[1]- “Değişken Hız Sabit Frekans Yöntemi ile Rüzgar Enerjisinden Elektrik Enerjisi Üretimi Uygulaması ”; S.Çamur, B.Arifoğlu, Z.Bilgin, T.Duru; Elektrik Mühendisliği 9.Ulusal Kongresi Eylül 2001, sf 166-170

[2]-“A Peak Power Tracker for Small Wind Turbines in Battery Charging Applications”;De Broe A.M.,DrouilhetS., GevorgianV.; IEEE Trans. On Energy Conversion, Vol.14, No.4, December 1999, pp 1630-1635