

Fırçasız Uyarma Sistemi*

Yazan :

T. L. DILLMAN

Çeviren :

Erdoğan ATABERK

TEK

Ö Z E T

Geçen 10 yılda, yüksek cevap verme oranları olan cihazlar aranmıştır. Şimdi yeni bir gelişme olmuş, ekonomik olarak sistem stabilitesini gerçekleştirmekte, yüksek başlangıç cevabı kullanılmaya başlanmıştır. Bugün, -fırçasız uyarma sistemi isteneni vermektedir.

S U M M A R Y

Higher response ratios have been called for in the past decade. Now there is a new development: high initial response •for use where it is an economically desirable method of achieving system stability. Today, brushless exciter response keeps up with needs.

1. GİRİŞ

Modern güç şebekelerinin stabilite limitlerini hesaplamakta, generatör uyarma sisteminin karakteristikleri, önemli bir rol oynar. Bir uyarıcı sistem, senkron generatörün uyarılması için kontrol edilen bir doğru akım verir. Uyarıcı sistem, regülatörlü ve elle kumandalı olur. Uyarıcının cevabı, belirli şartlar altında, uyarıcının çıkış gerilimindeki değişmeler oranının bir ölçüsüdür. Genel olarak, uyarıcı cevabının hızlı olması, güç sisteminin stabil kalma yeteneğine etki derecesi, daha geniş ölçüde olmaktadır. Uyarıcının cevabı; uyarıcı zaman sabitesinin, uyarıcı doyma özelliklerinin ve uyarıcı alan geriliminin bir fonksiyonudur. Zaman bakımından gecikmeler ve regülatörün özellikleri, uyarıcının cevabına dahil edilmemiş fakat uyarma sistemi cevap eğrisine dahil edilmiştir. Bu husus, fırçasız uyarma sisteminde olduğu gibi uyarıcı cevabında da incelenmelidir.

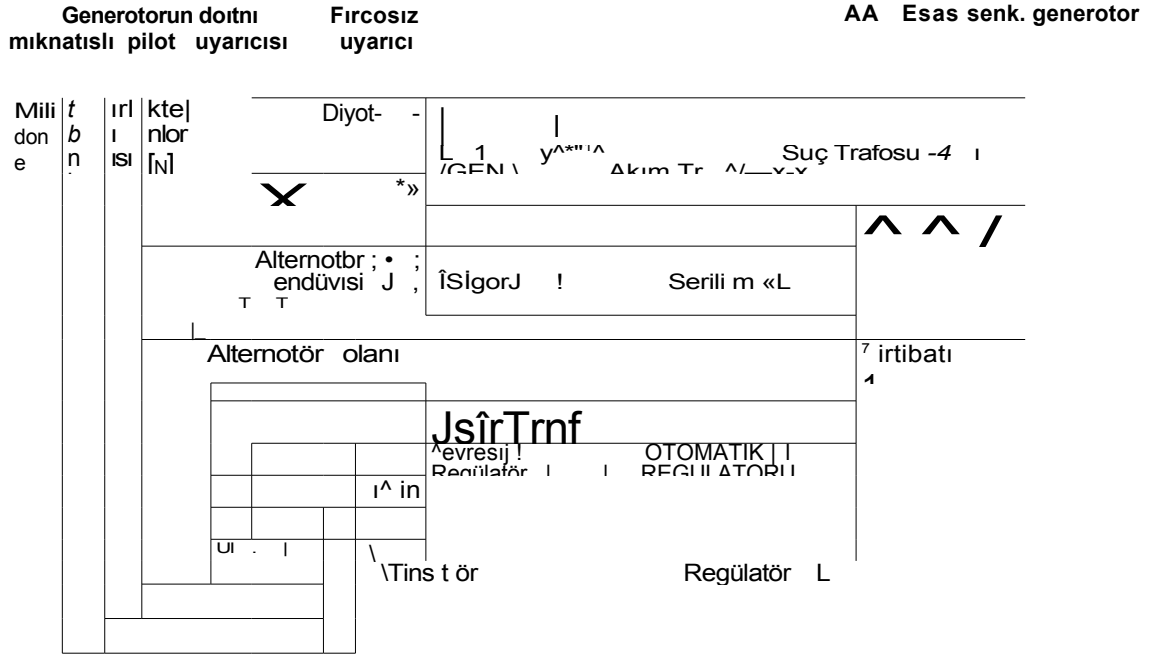
(*) Povver Engineering'ın Mart 1972 sayısından çevrilmiştir.

2. UYARMA SİSTEMİ

Fırçasız uyarma sistemine, alternatör (yardımcı alternatör) — doğrultucudan oluşan ana uyarıcı ve daimi mıknatıslı generatörden oluşan pilot uyarıcı dahildir ve her ikisi de doğrudan doğruya senkron generatör miline bağlıdır (Şekil 1). Bu yardımcı alternatörün alanı, daimi mıknatıslı pilot generatörden temin edilir. Bu generatörün, bir grup dönen daimi mıknatısı (senkron generatör miliyle birlikte) ve sabit tri-faze endüvi sargıları vardır. Bu trifaze endüvi sargılarının çıkış gerilim frekansı 420 Hz dir ve güç amplifikatöründe, kontrollü trifaze akım tam dalga tiristör köprüleri tarafından doğrultulur. Güç amplifikatörünün kontrol edilmiş DA çıkışı, yardımcı alternatör alanının uyarılmasını sağlar. Yardımcı alternatörün dönen sargılarının (senkron generatör miliyle birlikte) trifaze çıkışı, mille birlikte dönen redresör sistemini besler. Dönen redresör sisteminin DA çıkışı ise, esas senkron generatörün alanını besler. Sigortalar, diyot arızası halinde uyarıcı sar-

gıları korumak için, dönen diyotlara seri bağlanılır. Fazla diyotlar o şekildedir ki, faz başına ümitlenmiş sayıda diyot arızalarının generatör çıkışına etkisi olmamaktadır. Arızalanmış sigortalar sistemin işleme anında meydana çıkarılır.

eğrisiyle alandaki $\hat{I}R$ düşümü arasındaki gerilim farkı ki, buna fark gerilimi denir; alan boyunca ek akım geçmesine neden olur. Şekil 3 de bir takım uyarma doyma eğrileri gösterilmiştir. Baştaki doyma eğrisinin başlangıç kısmı, kutuplar arasındaki hava aralığından do-



Şekil 1. Fırçasız ikaz sisteminde daimî mıknatıslı pilot uyarıcı, alternatör - redresör ana uyarıcı kısımları vardır. Her ikisi de doğrudan doğruya esas generatör şaftına bağlıdır.

Bu sistem, kollektörü, bilezikleri ve kömür fırçaları tamamen ortadan kaldırmıştır. Bütün güç, senkron generatör milinde doğar. Bu yüzden, sistemdeki herhangi bir arıza, uyarma kaynağını etkilemez.

3. UYARICININ KARAKTERİSTİKLERİ

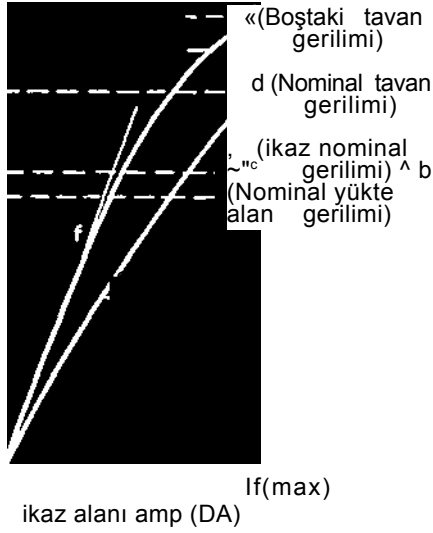
Şekil 2 tipik bir pilot uyarıcı regülasyon eğrisini gösterir. Bu eğrinin eğimi, endüvi reaksiyonunun artmasına ve endüvi akımı artmasıyla ilgili olarak $\hat{I}R$ düşümüne bağlıdır. Regülatörün aşırı yükte çalışması sırasında, uyarma alanında meydana gelen, en yüksek akım $I_f \text{ max}$, j-m alan direnç doğrultusunun ve pilot uyarma düzeltilmiş eğrisinin kesim noktasıyla belirir (k). Pilot uyarmanın çıkışı, alternatif akım olduğu için, bu eğri önce DA değerlerine çevrilmelidir. j-m doğrusu ohm kanunu kullanılarak saptanır. $E = I_f R_f$ dir. R_f işletme sıcaklığındaki toplam uyarma alanı direncidir (Şekil 2). k noktasında, alan boyunca $\hat{I}R$ düşümü, tam olarak verilen gerilime eşittir ve devre dengelenir. Bu denge noktasına ulaşılmadan önce, regülasyon

layı meydana gelen bir doğrudur. F noktasında magnetik kısımlar doymaya başlar ve eğri lineerlikten çıkar. Belirli bir alan akımında, sabit dirençli yük doyma eğrisi, baştaki eğriden daha az bir gerilimde doymaya uğrar. Nedeni, endüvi reaksiyonu, $\hat{I}R$ düşümü ve diyot komütasyonunun etkisidir. Isının etkisini gözönüne almazsak, yükte doyma eğrisinin, alan alanı $I_f \text{ max}$ ile kesiştiği nokta, uyarıcının çalışabileceği en yüksek sabit alan gerilimidir. Bu, Şekil 2 de

Pilot uyarıcı m
Amo $I_f \text{ (max)}$ $\hat{I}R$

Şekil 2. Pilot uyarıcının düzeltilmiş eğrisi, uyarıcı alanından geçirilecek olan max. akım bulmada kullanılır.

saptanan I_f max. ile aynı değerdedir. Aynı şekilde Şekil 3, uyananın a—d tavan gerilimini, a—e ise boştaki tavan gerilimini gösterir, a—b ile generatörün nominal yükteki alan gerilimi yani generatör nominal yükte çalışırken generatörün alan uçları arasında ölçülen gerilim gösterilmiştir.



Şekil 3. Uyarıcı doyma eğrisi ise, uyarıcının çalışabileceği en yüksek sabit gerilimi bulmada kullanılır^

Uyarıcı alan devresinin endüktansı P, N ve d 0. üe orantılıdır.

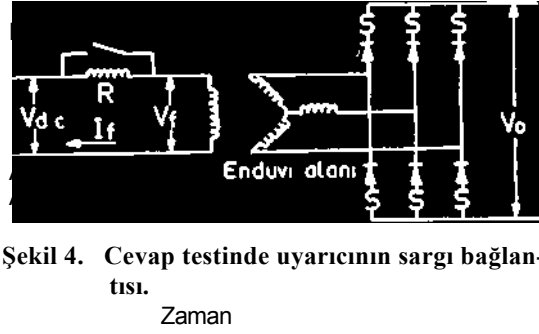
Burada; N kutup başına devir, 0 kutup başına toplam akı ve P de bütün kutuplar seri olarak bağlanmış addedilerek, kutup sayısını gösterir. Kutup başına toplam akı, veya 0, yararlı akıya, yani, hava aralığı akısı ile kaçak akıların toplamına eşittir. Böylece doyma arttıkça, alan devresi endüktansının azaldığı kolaylıkla görülebilir.

4. UYARICININ CEVAP ORANI

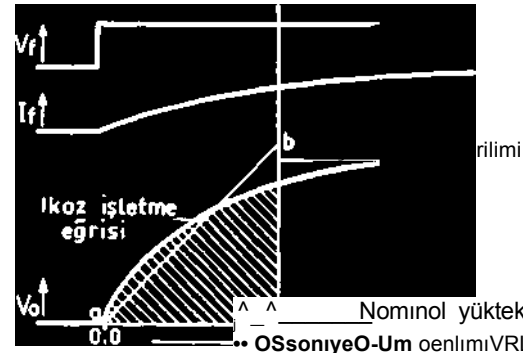
Zamana itibar edilen yöntemde, uyarıcının cevabı veya uyarıcı cevap oranı; genellikle cevap verme hızı olarak tanımlanır. Şekil 4, deneyde kullanılan uyarma devresi bağlantısını ve Şekil 5 de cevap verme oranı deneyi sırasında elde edilen tipik eğrileri gösterir. Bu deney, fabrikada aşağıdaki şekilde ve sırada yapılır:

62. Uyarıcı, nominal hızda ve yüksüz olarak, uyarılmadan çalıştırılır.
63. Sabit bir DA gerilim V_{dc} , uyarıcı alan devresine, R reostası üzerinden verilir ve bu reosta en yüksek değerinde tutulur. R reostası, tam

yük durumunda, regülatör tarafından, uyarma alan devresine uygulanacak en yüksek DA gerilimine eşit bir gerilime ayar edilerek, sabit bir DA V_{dc} gerilimi, bu R reostası üzerinden uyarma alan devresine uygulanır. Bu hal eğer regülatör devredeyse yapılı (Regülatör normal olarak uyarıcı ile denenmez).



Şekil 4. Cevap testinde uyarıcının sargı bağlantısı.



Şekli 5. Cevap oranı testi sırasında alınan tipik eğriler.

64. Uyarma, DA çıkış gerilimi, V_0 , uyarma alanına seri olarak bağlanan R reostasıyla, generatörün nominal yükteki, V_{RL} , alan gerilimine eşit olacak şekilde ayarlanır.
65. Uyarma devresine seri olarak bağlanan ve başlangıç durumu yukarıda açıklanan R reosta, ani olarak kısa devre edilir. Alan akımı I_f ve çıkış gerilimi V_0 , stabil tavan değerlerine yükseltilir. Uyarma artış eğrisinin en son stabil değeri, boştaki tavan gerilimini verir. Bu deney süresince alan gerilimi V_p , alan akımı I_f ve çıkış gerilimi V_0 , duyarlı osilograf üzerine kaydedilir.

Cevap, a—b doğrusu çizilerek hesaplanır, a—b doğrusu cevap olarak kabul edilir ve abc üçgeninin alanı, çıkış gerilimi V_0 eğrisinin altındaki taralı alana eşittir (a—c sıfırdan 0,5 saniyeye kadar uzanır). Bu işlemin benzerleri 2. yarı periyodlar (aralıklar) için yapılır. Uyarıcının cevabı (cb) geriliminin 0,5 saniyeye olan bölü-

müne veya 2 (cb) V/sn ye eşittir ve doğrultu-

lan ikinci yarım aralık (periyod) gerilimi, gerilim değişimi ortalamasını gösterir. Cevap oranı, uyarıcı cevabının nominal yükte alan gerilimine veya 2 (cb) nin V^{\wedge} ye bölümüne eşittir. Tarifin formüle edildiği andaki, sistemin ortalama gücünün, doğal elektromekanik salınımları, 1. yan aralığa (periyoda) rastladığından, 2. yarı aralık (periyod) seçilmiştir.

Gerçekte, çizilen eğrinin eğimi başlangıç noktasındaki gerilimin değerine bakmaksızın verilen herhangi bir gerilimdeki eğimine eşittir (Yani, Aynı ünite, 450 ve 500 V luk, başlangıç gerilimini haiz iki eğri, 500 V un üzerinde çakışır). Böylece, verilen bir uyarmanın cevabı, generatörün nominal yükte alan gerilimindeki herhangi bir değişme ile değişebileceği görülmektedir. Çünkü generatörün nominal yükte alan gerilimindeki herhangi bir değişimi ile a—b cevap doğrusunun başlangıç noktası ve eğimi değişmiş olmaktadır. Nominal yükte alan gerilimi yükseldikçe, diğer parametrelerin değişmediği farzedilirse, uyarıcı cevabı ve cevap oranı azalır. Aynı zamanda, belirli bir nominal yükte alan gerilimi için, cevap oram, uyarıcı zaman sabitesinin ve boştaki tavan geriliminin bir fonksiyonudur. Sonuçta, boştaki tavan gerilimi, alternatörün doyma özellikleri (yani boştaki doyma eğrisi) ile ve uyarıcı alan uçlarındaki gerilimin genliği ile belirlenir.

5. UYARICI ZAMAN SABİTESİNİN KÜÇÜLTÜLMESİ

Uyarıcı zaman sabitesi şöyle küçültülür:

66. Ana kutup magnetik akısını taşıyan bütün alternatör bağlantılarını haddeden geçirerek.
Haddeden geçirme, girdap endüksiyon akılarını çok miktarda azaltır. Lenz kanununa göre ise bu endüksiyon akıları ana kutup akı değişikliklerine karşıdır.
67. Kutup başlığında söndürücü sargılan çıkararak ve ana kutup saplamalarını, ana kutup göbek saçından yalıtılarak. Bu şekilde, ana kutup akısındaki kısa devreler ortadan kaldırılmış olur.
68. Endüktansı azaltacak yönde bütün devreleri gerekli şekilde tasarımıyarak.

Genel olarak, enerji sistemi üzerinde, uyarıcıların cevap oranları ne kadar yüksek olursa, o sistemin geçici kararlılığı (stabilitesi) da o oranda iyi olur.

Bir sistemin geçici kararlılığı (stabilitesi), enerji sisteminde ani ve geniş bir arızayı takiben, senkronizasyonda kalarak, ayarlanmış bir değerde hat gerilimini yeniden düzeltebilme yeteneğidir. Böyle bir bozukluk sistemdeki anıza ile, büyük bir yükün aniden devre dışı olmasıyla, generatör yükünün atılması veya üretim gücü-

nün ani bir değişikliğe uğramasıyla meydana gelebilir.

Halen ABD de işleyen ve hidrolik olmayan ünitelerin çoğunun uyarıcı cevap oranları 0,5 dir ve nominal tavan gerilimleri, nominal uyarıcı geriliminin % 30 ile % 120 si arasındadır (Hidrolik ünitelerin, genellikle uzun enerji nakil hatlarından dolayı yüksek cevap oranları vardır). Bununla birlikte, son on yılda işletmeler için, yeni ünitelerin daha yüksek cevap oranlı yapılması yaygın hale gelmemiştir. Sistem kararlılığı (stabilite) çalışmaları ise, bunun, geçici sistem kararlılığını meydana getirmede ekonomik yönden, önemli bir etken olduğunu göstermektedir. Fırçasız uyarıcılar, genel olarak 2,0 a kadar garantili cevap oranlarıyla kullanılmaktadır.

6. YÜK ALTINDA UYARICI CEVABI

Mevcut IEEE tarifleri ile saptanmamış olmasına rağmen, yükte cevap oranları, yüksüz cevap oranı ile aynı şekilde 'Saptanır. Yalnız, uyarıcı, genellikle 75°C deki generatör alan direncine eşit değerde omik bir direnç ile yüklenir. Uyarıcının daima, yüklü halde, yüksüz haldekinden daha düşük bir cevap oranı vardır. Zira, nominal yükteki tavan gerilimi, yüksüz tavan geriliminden daha azdır. Böylece a—b cevap doğrusu eğimi, yüksüz halde çizilen eğriden daima daha fazladır. Yük altında, garantili cevap oranı 2,0 olan fırçasız uyarıcılar halen kullanılmaktadır. Haliyle, bu ünitelerin, yüksüz durumda 2,0 dan daha yüksek cevap oranları vardır.

7. YÜKSEK BAŞLANGIÇ CEVABI

Geçmiş yıllarda, yüksek cevap özellikleri olan, uyarma sistemlerine karşı büyük gerek duyulmaktaydı, örneğin, bir generatörün, yüksek hat empedans bileşenli, uzun enerji nakil hatları varsa —ki bu empedans bir anıza anında sistemdeki generatörler arasında, geniş faz açılmasının doğmasını gerektirebilir— çok hızlı cevabın sistem kararlılığını elde etmede, ekonomik bakımdan oldukça olumlu bir yol olabileceği, sistem çarşmaları sayesinde öğrenilmiş bulunmaktadır.

Hızlı cevap oranı tarifi çerçevesinde düşünecek olursak, eğer cevap verme, 1,5 saniyelik uzun bir süreyi kapsıyorsa, bunun uygun bir şekil olmadığı açıkça gözükür. Bu nedenle, yüksek başlangıç cevaplı uyarma sistemi için enerji üretimi komisyonu, IEEE uyarma sistemleri alt komisyonunun, senkron makineler için uyarma sistem tarifleri başlıklı raporunda, yeni bir tanımlama teklif edilmiştir (IEEE Güç Cihazları ve Sistemleri Bölümü, cilt PAS-88, No. 8 Ağustos 69). Böyle bir sistem mutlaka, 0,1 saniyede veya daha az bir zamanda nominal tavan geri-

limir.in % 95 e ulaşma olanağına sahip olmalıdır. 6000 KW lık fırçasız bir uyarma sistemi 0,016 saniyede, nominal tavan geriliminin % 95 ine ulaşan bir olanakta yapılmış ve denenmiştir. Bu olanağa küçük zaman sabitli uyarıcı ile elde edilen, yüksek alan gerilimi sayesinde ulaşılır.

Uyarıcının, küçük zaman sabitinin ve yüksek alan geriliminin önemi, devre kapatıldıktan sonraki zamanda Şekil 4 deki alan devresi gibi basit bir endüktif devrenin analizi ile anlaşılabilir.

$$\frac{di}{dt}$$

t = 0 da i = I₀ başlangıç durumunda i yi bulmak için,

$$i = \frac{V}{L} e^{-\frac{Rt}{L}} + I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$$

yazılır. Burada p uyarıcı zaman sabitidir.

Yukardaki denklemin zamana göre differansiyelini alırsak,

$$\frac{di}{dt} = \frac{V_{dc} - I_0 R_f - p}{L} - \frac{R}{L} i$$

t = 0 + iken

$$\frac{di}{dt} = \frac{\text{yüksek gerilim}}{L}$$

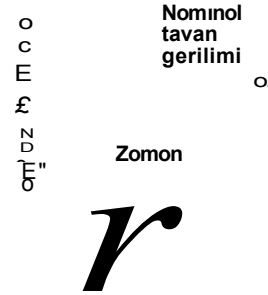
sonucu elde edilir.

Böylece, alan gerilimindeki ani artışı doğuran, uyarıcı alan akımının, başlangıç değerindeki artış hızı, regülatör tarafından hasıl edilecek yüksek gerilimle doğru orantılı ve alan devresinin endüktansı ile de ters orantılı olduğu görülür. Alan akımının yüksek başlangıç değerindeki kolay değişimi, güç sisteminin dinamik kararlılığını arttıracak olan, uyarma sistemlerine, ek kontrol sistemi konmasını kolaylaştırır. Küçük genlikli, uzun vadeli sistem bozukluklarında, hat gerilimini, ayarlanmış bir değerde sabit tutabilme yeteneği, sistemin sahip olduğu dinamik kararlılığının (stabilitesinin) bir ölçüsüdür. Doğal olarak, yüksek başlangıç cevaplı uyarıcının tavan gerilimi, kısa zamanda güç sisteminin geçici kararlılığını düzeltir.

8. CEVAP ÜZERİNE BİRKAÇ SÖZ

ideal uyarma sistemi, sıfır anında nominal tavan gerilimini doğurabilire yeteneğine sahip olan sistemdir ve nominal tavan gerilimi yete-

ri kadar yüksek bir gerilimi sağlayabilecek düzdeyde olmalıdır ki, böylece generatör alan akımında olacak herhangi bir değişiklik, önemsiz bir zaman aralığında gerçekleşebilsin. Bu ideal sistemin yüksek nominal tavan gerilimi, generatör alan devresinin oldukça yüksek endüktansını yenmek için gereklidir (Şekil 6). Pratikte böyle bir sistem birçok proje sorunlarını ortaya çıkarır, ideale, biraz önce üzerinde durulan yüksek başlangıç cevaplı sistemle yaklaşılır. Bununla birlikte, Şekil 6 dan da görüleceği gibi, hızlı cevaplı uyarıcının tek amacı; generatör hava aralığı magnetik akısını sağlayan, generatör alan akımı olduğundan, generatör alan akımındaki hızlı değişimleri sağlayabilmektir. Regülatörden gelen işarete göre, generatör alan akımındaki değişmelerin hızı, generatör alan zaman sabitinin ve uyarma sistemi karakteristiklerinin bir fonksiyonudur. Bu zaman sabitiyse, sadece generatorün magnetik özelliklerinin bir fonksiyonu olmayıp, aynı zamanda, generatorün bağlı olduğu sistem empedansını da bir fonksiyonudur. Böylece kararlılık çalışmaları yapılırken, bütün sistem karakteristiklerini, döner sistemin ataletini, kesici açma zamanlarını, türbin buhar valflarının özelliklerini ve regülatörün özelliklerini v.b. gözönüne almalıdır.



Şekil 6. İdeal ikaz sisteminde cevap eğrileri yüksek nominal tavan gerilimi hemen hemen sıfır anında generatör alan akımındaki ani değişmelerle elde edilir.

Normal olarak uyarıcı, regülatör ve generatör tek bir ünite halinde bir araya getirilip denenebilir. Bununla birlikte, uyarıcı geriliminin değişme hızını inceleyen yöntemler, güç sistemlerinin geçici performansını saptamakta, ileri adımlar atılmasını sağlamıştır.

Bugüne dek, fırçasız uyarıcılar, şebeke gereksinmelerini yeterli derecede karşılamakta ve gelecekte de, bu gerçeğin devam edeceğine inanılmaktadır.