

Basit Yapılı 3-SSR'li Bir Şebeke Gerilim Çökmesi Üretici

Hüseyin Meşe *

Osman S. Şentürk †

Ahmet M. Hava *

* ODTÜ Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü † Aalborg University, Department of Energy Technology
İnönü Bulvarı, 06531 Ankara 9220 Aalborg Denmark

hsmese@hotmail.com

oss@iet.aau.dk

hava@metu.edu.tr

Öz- Elektrik şebekesi gerilim çökmeleri, elektrik şebekesinde kesintiden sonra en yaygın ve en yüksek maliyetli güç kalitesi sorunlarıdır. Şebekeden beslenen kritik yüklerin çökmeye hassasiyetlerinin belirlenmesi, hassas yüklerin de şartlandırıcılar ile çökmelerden korunması gerekir. Her iki süreç de laboratuvar test ve ürün geliştirme Ar-Ge ortamlarında gerilim çökmesi üreteçlerini gerektirir. Bu çalışmada, basit, ekonomik ve üstün başarılı bir gerilim çökmesi üretici geliştirilip uygulaması anlatılacaktır. Önerilen yarı-iletken röleli (SSR'li) ve varyaklı üç-faz yapı 10 kVA gücünde tasarlanıp ardından gerilim çökmesi deneyleri yapılacak, son olarak da seri etkin süzgeç gerilim şartlandırıcısı ile birlikte deney ortamında kullanımı gösterilerek etkin bir çökme üreteç yapısı olduğu ispatlanacaktır.

Anahtar sözcükler- Çökme, gerilim, güç kalitesi, seri etkin süzgeç, SSR, tristör, üreteç, varyak.

I. GİRİŞ

Tipik olarak yıldırım ve buzlanma gibi doğal nedenlerle oluşan faz-nötr kysadrevreleri ya da büyük motorların doğrudan (yol verici kullanmadan) kalkışı sırasında çekilen aşırı akımlardan kaynaklanan elektrik şebekesi gerilim çökmeleri, elektrik şebekesinde kesintiden sonra en yaygın ve en çok sorun yaratan etkiler olup, önemli maddi hasara ve iş kaybına neden olur. Özellikle kontrol devreleri gibi gerilim çökmesine duyarlı elektronik aygıtlar ve motor sürücü devreleri çökmeden dolayı devre dışı kalıp süreçlerin durmasına, arızalara ve yüksek maliyetli olan endüstriyel süreci yeniden başlatma gereksinimine neden olurlar. Motor sürücülerin de dahil olduğu elektronik yükler sınıfında, sabit güç yükleri şiddetli gerilim çökmesinde aşırı akım çekerek sigortaları attırır veya aşırı akım korumaya giderek devre dışı kalır. Sabit impedans yükleri de çekilen gücün azalması nedeniyle yükün işlevsel çalışma bölgesinin dışına sürüklenerek devre dışı kalabilir ve diğer durumdaki gibi sürecin durması nedeniyle arıza ve maddi kayıplara yol açar. Dolayısıyla elektrik şebekesindeki çökmeler çökmeye duyarlı yükler için son derece olumsuz etkiler yapar ve fabrikalarda (özellikle üretim hatlarında), altyapı tesislerinde, vb. ortamlarda her yıl milyonlarca lira zarara neden olur [1-3].

Elektrik şebekesindeki çökmelerin duyarlı yükleri olumsuz etkilemesi için ya çökmeye duyarlılığı azaltıcı iç yapısal önlemler alınır (elektronik yüklerin beslenmesinde kullanılan enerji depolama elemanı olan elektrolitik kondansatör büyük seçilir, iç yapıda gerilim denetlenir, vb.), ya da şebeke ile duyarlı yük arasında şartlandırıcılar (gerilim regülatörü, çökme düzeltici vb. aygıtlar) kullanılır [3]. Ticari ürünlerin çökmeye karşı duyarlılık düzeyleri aygıtların sınıfına bağlı olarak belli standartlara uyumlu olmalıdır. Örneğin, bilgi teknolojisi aygıtları ITIC ölçütlerine uyumlu olmalıdır [4]. Aynı biçimde, şebeke gerilimini şartlandırıcı aygıtların da şebeke gerilim çökmesini belli sınırlar içinde yüke yansıtmaması gerekir. Örneğin, kesintisiz güç kaynakları ve gerilim regülatörleri için giriş ve çıkış anma gerilimi ve değişim aralıkları standartlarla tanımlanmıştır. Ürünlerin standart onay belgelendirilmesi, ürün kabulü ve daha da önemlisi ürünlerin Ar-Ge aşamasında, hem duyarlı yük özelliği taşıyan aygıtların, hem de şartlandırıcıların şebeke gerilimi çökme koşullarında işlevselliklerini belirlemek için gerilim çökme deneylerinin yapılması zorunludur. Dolayısıyla, standart

laboratuvarları, üniversite laboratuvarları ve sanayi Ar-Ge laboratuvarlarında gerilim çökme üreteçleri kullanılır. IEEE-1159 standardında tanımlandığı üzere, tipik olarak gerilim çökmeleri şebeke periyodunun 0.5-30 katı arası bir zaman aralığında, tek/üç fazlı, dengeli/dengesiz ve % 10-90 arası şiddet çökmesi derinliğinde gerçekleşir [5]. Çökme üreteçlerinin de IEEE-1159 da tanımlanan bu aralıklarda çökme üretmesi gerekir. Çökme kadar yaygın olmasa da, gerilim yükselmeleri ile de pratikte karşılaşıldığından, bazı testlerde gerilim yükselmesi deneyinin de yapılması gerekir. Tüm gerilim çökme ve yükselme üreteçlerinde aranan en temel özellikler çökme ve yükselme miktarı ve zamanının programlanabilir (ayarlanabilir) olmasıdır.

Günümüzde yaygınca kullanılan ticari gerilim çökme üreteçleri elektrik/elektronik elemanlardan oluşan, karmaşık yapıda ve yüksek maliyetli aygıtlar olup, bu aygıtlar uluslararası piyasada tekelleşmiş az sayıda firma tarafından “özel tasarım” aygıtlar olarak ve çok yüksek fiyatlarla pazarlanır. Elektronik devrelerden oluşan üreteçler genellikle kVA ve altındaki güçlerde yaygın olup boyutları küçük ancak karmaşa düzeyleri ve fiyatları çok yüksektir. Bu tür aygıtlar bilgisayar destekli ve programlanabilir özelliktedir [6], [7]. Senkron generatörden oluşan döner yapılar [8] ve varyak-tristör-kontaktörlerden oluşan statik (dunuk) basamak atlamalı yapılar [9] ise büyük güçlerde tercih edilmekte olup, çok karmaşık ve pahalıdır. [9] ve [10]'da anlatılan, tristörlerin sırt sırta bağlanmasından oluşturulan triyak yapı [yazında solid state relay, (SSR) olarak adlandırılır] ile gerçekleştirilen üreteç, çökmenin bir gerilim düzeyinden diğerine süresiz sıçraması ve en az yarım şebeke periyodu süren geçiş sürecinde de kesinti oluşması nedeniyle, gerçek çökmeyi taklitte yetersizdir. [11]'deki çökme üretici yapısında, [9] ve [10]'daki yapıda triyak yerine her iki doğrultuda da iletim ve kesimde çalışabilen ve serbestçe anahtarlanan IGBT transistörlü anahtar yapısı kullanılarak çökme geçişi istenen bir anda ve süresizlik olmadan sağlanmaktadır. Ancak IGBT anahtarların sırasında devredeki kaçak indüktanslar nedeniyle ani gerilim yükselmeleri oluşur ve bunları engellemek için ani aşırı gerilimi bastırıcı devreler (snubber) kullanılır. Ayrıca IGBT transistörleri sürmek için yalıtımlı ve karmaşık kapı sürücü devreleri gereklidir. Dolayısıyla bu üreteç karmaşası, tasarım zorluğunu ve yüksek maliyeti ifade eder.

Bu çalışmada, her laboratuvarında kolayca üretilebilecek kadar basit yapıda, ekonomik ve tüm gerekli işlevleri gösteren faz başına üç adet yarı-iletken röleli (3-SSR'li) bir gerilim çökme üretici önerilmektedir. Çalışmada, önce önerilen topolojinin çalışma ilkesi anlatılacaktır, ardından üreticinin elektrik ve elektronik devre tasarımı anlatılacaktır. Son aşamada da deneysel başarımlar doğrulaması yapılacaktır. Önce gerilim çökmesi pasif RL yük üzerinde tek-faz ve üç faz (dengeli) çökme durumları için deneysel olarak gerçekleştirilerek 3-SSR'li üreteçle istenen çökme profiline elde edilebildiği gösterilecektir. Ardından da ODTÜ Güç Elektronik Laboratuvarında Ar-Ge'si yapılan gerilim şartlandırıcısı olan seri etkin süzgecin [12] çökme düzeltimi için kullanıldığı uygulamada 3-SSR'li çökme üreticinin pratik kullanımı gösterilecektir. Bu bildirinin temel konusu olan 3-SSR'li üreteç, sözkonusu şartlandırıcının başarımlar testi aşamasında grup tarafından geliştirilmiştir (laboratuvarında kullanıma hazır

çökme üretici olmayıp, gerekli üreticinin maliyetinin yüksek olup, Ar-Ge projesini destekleyen kurumca alımın desteklenmemesi nedeniyle zorunlu olarak). Dolayısıyla, önerilen çökme üretici benzer ekonomik altyapı koşullarındaki laboratuvarlardaki uygulamalarda fayda sağlayacaktır.

Bu çalışmada, gerilim yükselmesi ile ilgili inceleme yapılmayacak ve konu ile ilgili deneysel sonuçlar kapsanmayacaktır. Ancak, geliştirilen 3-SSR'li üretici ile hiç bir yapı değişikliğine gereksinim olmaksızın gerilim yükselmesi testi gerçekleştirilebilir.

II. 3-SSR'Lİ ŞEBEKE GERİLİM ÇÖKMESİ ÜRETECİ

3-SSR'li şebeke gerilim çökmesi üretici, faz başına üç adet SSR denetimli paralel akım yolu oluşturularak tasarlanmıştır (Şekil 1). Şebeke geriliminde çökme olmadığı durumda sadece SSR_S'nin bulunduğu yol etkindir. Varyak ve SSR_V'nin birlikte bulunduğu yol ise şebeke geriliminde çökmenin modellendiği durumda etkindir. Direnç (R) ve SSR_D'nin birlikte bulunduğu yol ise diğer iki yol arasındaki geçişlerde yük akımının ve yük geriliminin sürekliliğinin sağlanması için kullanılır. SSR_S'den SSR_V'ye geçişin, [11]'deki IGBT'li yapıdan farklı olarak ani olarak yapılamamasının nedeni SSR'lerin tristör yapısından kaynaklıdır. İletimde olan bir SSR ancak akımın sıfır kestiği anda kesime geçebilir ve ardından da ilettime geçirilmek istenen SSR'nin kapısına ilettime için uyarma işareti uygulandığında ilettime geçiş ancak gerilimin sıfır noktasında gerçekleşir. Dolayısıyla SSR_S'den SSR_V'ye geçiş sürecinde oluşabilecek yük gerilimi/akımı kesintisini engellemek için ortadaki R-SSR_D kolu bulunur. Kullanılan faz başına üç adet SSR, çeşitli üreticiler tarafından tek paket halinde ve Şekil 1'deki bağlamaya çok uygun yapıda üretilmektedir [12]. Dolayısıyla kapalı kutu yaklaşımı ile kolayca bu anahtar yapısı gerçekleştirilebilir. Tek paket tek faz uygulaması için yeterli olup, üç fazlı yapıda da basitçe üç paket SSR gereklidir.

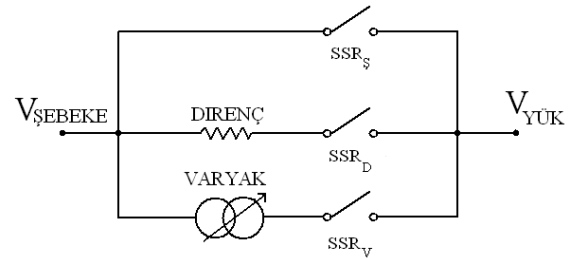
3-SSR'li devrede, üç-faz veya üç adet tek-faz varyağın çıkış gerilimi, amaçlanan dengeli veya dengesiz çökme miktarına göre ayarlanır. Direnç değeri ise olağan şebeke koşulundan çökme durumuna geçiş bölgesinde (dirençli yolun etkin olduğu geçici rejim) üreticinin çıkışında amaçlanan çökmenin oluşturulması için (1)'deki gibi anma akımına göre ayarlanabilir. Bu değerden farklı değerler gerilim çökmesinin iki adımda oluşmasına neden olur. Ayrıca, hesaplanan direnç değerinden daha küçük değer kullanıldığı durumlarda, yük güç katsayısına bağlı olarak çökme üreticinde aşırı dolaşım akımları gözlemlenebilir. Bu nedenle aşırı akımın sorun olacağı uygulamalarda sabit direnç yerine ayarlı direnç tercih edilmelidir. Bu direncin gücü ise yükün anma gücüne göre oldukça küçük seçilebilir. Zira geçiş direnci sadece geçiş süresince ve her çökme testinde en çok bir şebeke periyodu boyunca akım akıtır. Dolayısıyla, direncin boyutlandırılmasında çökme testlerinin sıklığı belirleyici olmalıdır.

$$R = \frac{V_{\text{çökme}}}{I_{\text{anma}}} \quad (1)$$

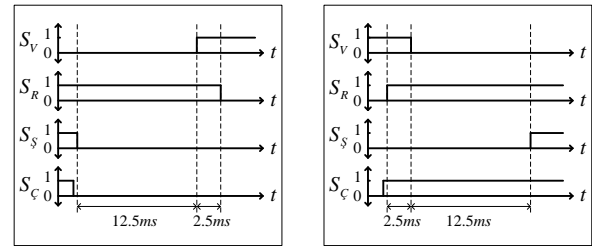
Söz konusu devrenin şebeke gerilim çökmesini üretmesi ve yeniden anma gerilimine dönüşü sağlanması için SSR kapılarının uygun mantık işaretleri ile sürülmesi gerekli olup, bu mantık işaretlerinin üretilmesi için de bir elektronik denetim devresi kullanılmaktadır. Bu devre ile çökme işareti S_C'nin durumunun değiştirilmesinden hemen sonra SSR'lara anahtarlama işaretleri (S_S, S_D, S_V) gönderilir. Bu anahtarlama işaretleri, çökme devresinin yük çıkışlarında yük geriliminin sürekliliğini sağlayacak ve

herhangi bir kısa devre durumuna neden olmayacak biçimde üretilir (Şekil 2). Olağan çalışma koşulunda (S_C=1) sadece şebeke ve direnç yolu SSR_S'nin etkindir (SSR_S ve SSR_D iletimde). Fakat beklediği üzere akım daha düşük dirençli yoldan yani sadece SSR_S'nin bulunduğu yoldan akar. Çökme başlatma işaretinin gelmesi (S_C:1→0) ile SSR_S'ye kesim işareti gönderilir. SSR_S kesime girdiği anda akım SSR_D üzerinden akmaya başlar. SSR_V'ye ise ilettime girme işareti, SSR_S'nin kesime girme işaretinden en az 10 ms sonra (yaklaşık 12.5 ms) gönderilir ki SSR_S'nin kesimi garantilensin ve varyak SSR'ler üzerinden kısa devre edilmesin. SSR_D'ye kesim işareti ise SSR_V'nin iletim işaretinden sonra (yaklaşık 2.5 ms) gönderilerek çıkış gerilimindeki herhangi bir süreksizliğin önüne geçilir.

Çökme durumundan olağan şebeke gerilimine dönüşte de söz konusu kısa devre ve çıkış gerilimi süreksizliği durumlarından kaçınmak üzere çökme işaretinin kaldırılmasından (S_C:0→1) hemen sonra öncelikle SSR_D iletime geçirilir ve bu iletim işaretinin hemen ardından (yaklaşık 2.5 ms) SSR_V'ye kesim işareti gönderilir. Bu işareten en az 10 ms (yaklaşık 12.5 ms) sonra ise SSR_S'ye iletim işareti gönderilerek herhangi bir kısa devre durumundan sakınılır.



Şekil 1. 3-SSR'li gerilim çökmesi üretici devresi (faz başına).

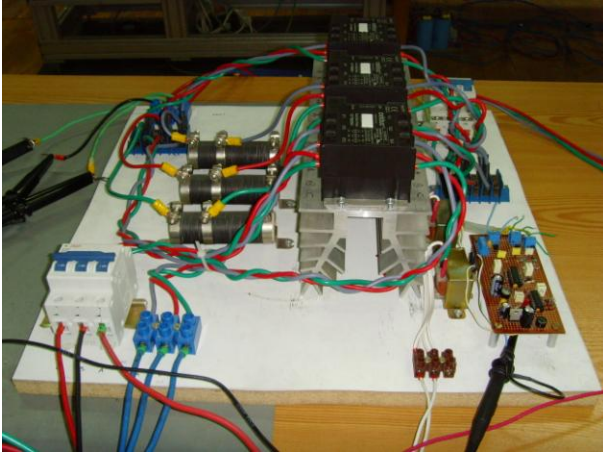


Şekil 2. Gerilim çökmesi başlatmak (sol) ve sonlandırmak (sağ) için önerilen denetim devresi mantık işaretleri.

Yukarıdan aşağıya: S_V, S_R, S_S ve S_C.

III. GERİLİM ÇÖKMESİ ÜRETECİNİN GERÇEKLENMESİ

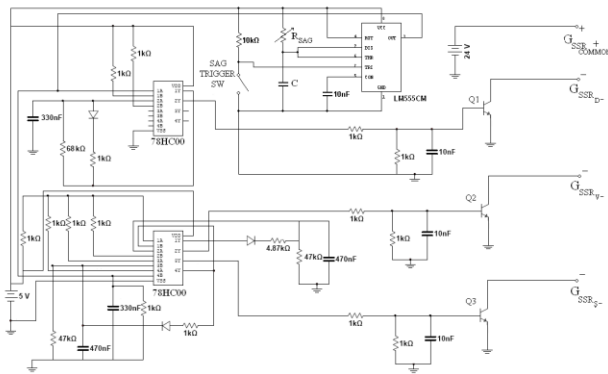
Laboratuvar ortamında gerçekleştirilen şebeke gerilim çökmesi üreticinin güç devresi (varyak hariç) ve denetim devresi Şekil 3'te görülmektedir. Güç ve elektronik denetim devrelerinde kullanılan malzemelerin listesi Çizelge 1'de verilmiştir. Gerçeklenen denetim devresinin şeması Şekil 4'te görülmektedir. Söz konusu denetim devresi malzemeleri hemen her laboratuvarda bulunabilecek nitelikte olup önerilen basit analog/sayısal elektronik devre ile gerilim çökme üretici güç devresi başarıyla denetlenebilmektedir. Bu elektronik devrede çökme süresi 555 tümeşik devresi ile belirlenmektedir. Çökmeye giriş ve çökmeden çıkış için gerekli zamanlamalar ise direnç, kondansatör ve diyot devreleri ile ayarlanmaktadır. NAND kapılar ise işaretlerde yüklenme (loading) kaynaklı oluşabilecek bozulmalardan kaçınmak için tampon (buffer) olarak kullanılmıştır.



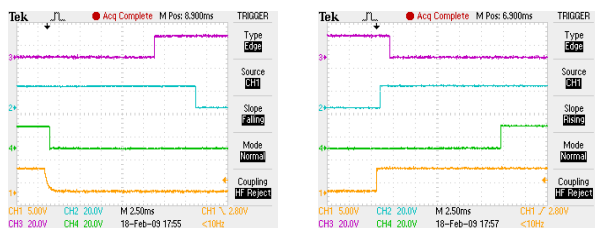
Şekil 3. Şebeke gerilim çökmesi üreticinin güç ve denetim devreleri.

ÇİZELGE I
GERİLİM ÇÖKME ÜRETECİNİN MALZEME LİSTESİ

Malzeme	Özellik	Adet
SSR	Celduc SVT868394 520V 50A	3
Direnç	Porselen üzerine krom nikel sarğılı 10 Ω	3
3-faz varyak	Varsan 380V (giriş) 435V (çıkış) 26A	1
Soğutucu	170AS 300mm	1
Otomat	400V 40A	2
Diyot	1N4001	3
Zamanlayıcı	555	1
BJT	2N2222	3
NAND kapı	74HC00	2



Şekil 4. Denetim devresinin şeması.



Şekil 5. Gerilim çökmesi başlangıcında (sol) ve sonunda (sağ) denetim devresi anahtarlama işaretleri: S_V (mor), S_R (mavi), S_S (yeşil) ve S_C (sarı).

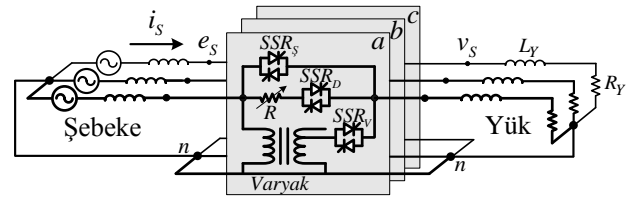
IV. DENEYSEL SONUÇLAR

Gerçeklenmesi anlatılan gerilim çökme üretici ile laboratuvar ortamında yapılan deneylerle elde edilen sonuçlar bu kısımda RL yük ve seri etkin süzgeç uygulamalarında anlatılacaktır. Denetim devresinin ürettiği

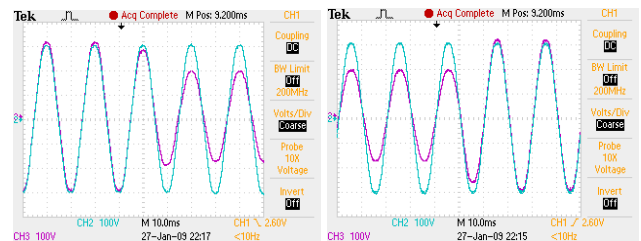
çökme başlatma işareti S_C ve SSR ateşleme işaretleri S_S , S_D , S_V Şekil 5'te verilmiş olup kuramsal olarak önerilen zamanlamaya uygunluk göstermektedir.

A. RL Yük Uygulamasında Alınan Sonuçlar

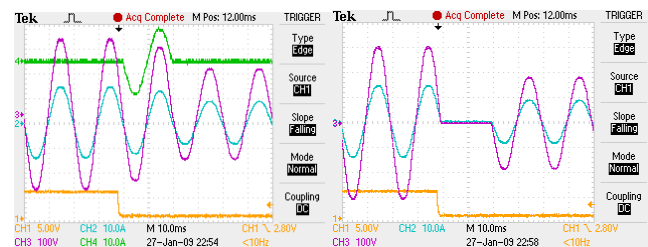
Sadece 21 Ω 'luk üç-faz direnç yükün bulunduğu Şekil 6'daki test devresinde %30'luk gerilim çökmesi başlangıcı ve sonlandırılmasının başarıyla gerçekleştirildiği tek-faz çökme üretici giriş ve çıkış gerilim dalga şekilleri ile Şekil 7'de gösterilmiştir. Şekil 8'de ise çökme durumuna geçiş esnasında yük geriliminin ve yük akımının sürekliliğinin SSR_D ve dirençli yol üzerinden sağlandığı görülmektedir. Ayrıca bu şekilde SSR_D'nin etkin olduğu geçiş süresince yük geriliminde SSR_D'ye seri bağlı direnç dolayısıyla bir gerilim düşümü (yaklaşık %5) gözlenmektedir. Bu geçici gerilim çökme değerin %30'dan düşük oluşu, seri direnç değerinin (1)'de önerilen değerden düşük kullanıldığını gösterir. Şekil 9'da ise aynı sonuçlar 16'şar Ω 'luk direnç ve indüktans ile tekrar edilmiş ve dirençli SSR yolunun devre çıkışındaki sürekliliğe katkısı ispatlanmıştır. Bu şekilde ayrıca, SSR_D üzerinden geçen aşırı akım, direnç değeri ile sınırlanabileceği için direnç değeri seçiminin güç faktörünün birden farklı olduğu uygulamalarda daha önemli olduğunu ortaya koymaktadır. Şekil 10'da ise gerilim çökmesi üreticinin üç-faz gerilim dalga şekilleri; tüm bir çökme olayı, çökmeye giriş ve çökmeden çıkış esnasında gösterilmiş olup devrenin S_C komutuyla üç-faz gerilim çökmesi üretimini kanıtlamaktadır.



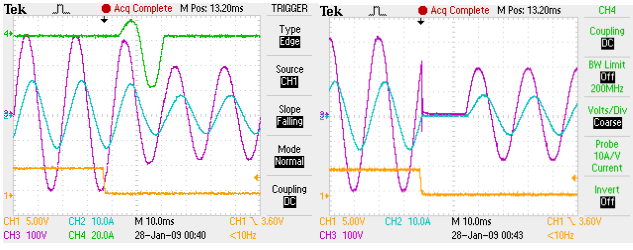
Şekil 6. Gerilim çökme üreticinin 3-faz RL yüküne uygulama devresi.



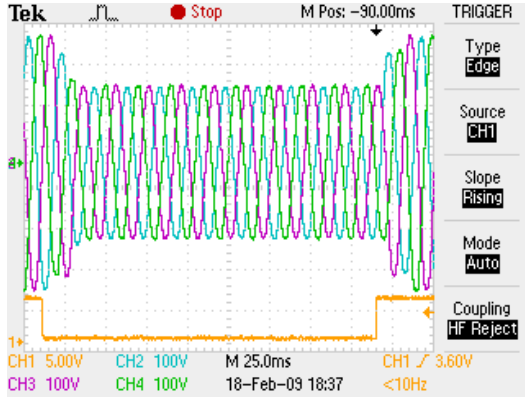
Şekil 7. 21 Ω 'luk direnç yükte %30'luk şebeke gerilim çökmesi başlangıcında (sol) ve sonunda (sağ) çökme üretici giriş (mavi) ve çıkış (mor) gerilim dalga şekilleri (100V/div, 10ms/div).



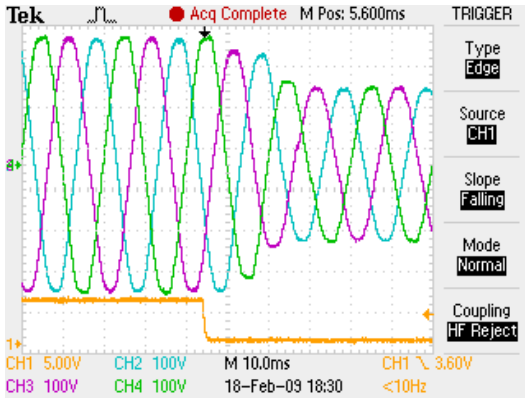
Şekil 8. 21 Ω 'luk direnç yükte %30'luk şebeke gerilim çökmesi başlangıcında SSR_D'li (sol) ve SSR_D'siz (sağ) durumlar için çökme üretici çıkış gerilimi (mor, 100V/div), çıkış akımı (mavi, 10A/div), SSR_D akımı (yeşil, 10A/div) ve S_C (sarı, 5V/div) dalga şekilleri (zaman eksenini: 10ms/div).



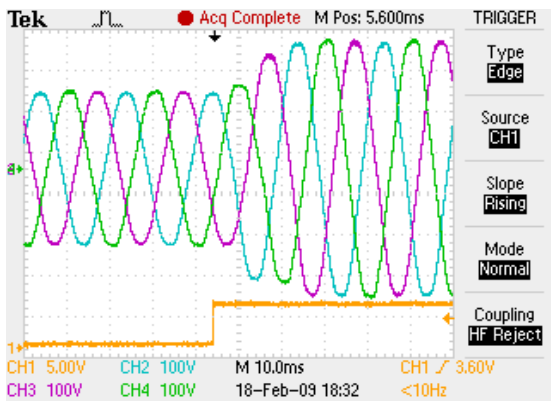
Şekil 9. $16+16j \Omega$ 'luk RL yükte %30'luk şebeke gerilim çökmesi başlangıcında SSR_Dli (sol) ve SSR_Dsiz (sağ) durumlar için çökme üretici çıkış gerilimi (mor, 100V/div), çıkış akımı (mavi, 10A/div), SSR_D akımı (yeşil, 20A/div) ve S_C (sarı, 5V/div) dalga şekilleri (zaman eksenini: 10ms/div).



(a)



(b)



(c)

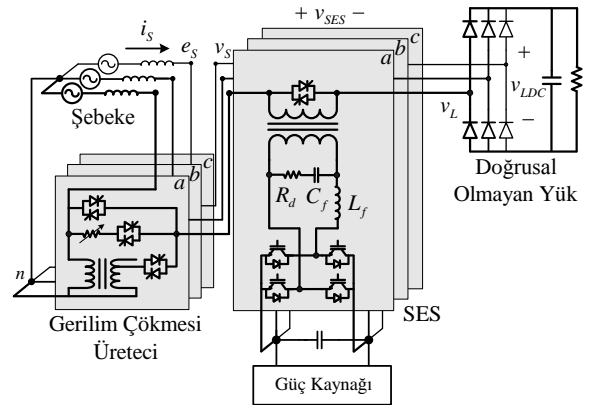
Şekil 10. $16+16j \Omega$ 'luk RL yükte %30'luk şebeke gerilim çökmesi modelleyen çökme üreticinin çıkış üç-faz gerilim dalga şekilleri (100V/div) ve S_C (sarı, 5V/div) dalga şekli. (a): Çökme/düzelme. (b): ayrıntılı gösterimle sadece çökme. (c): ayrıntılı gösterimle sadece düzelme.

B. Seri Etkin Süzgeç Uygulamasında Alınan Sonuçlar

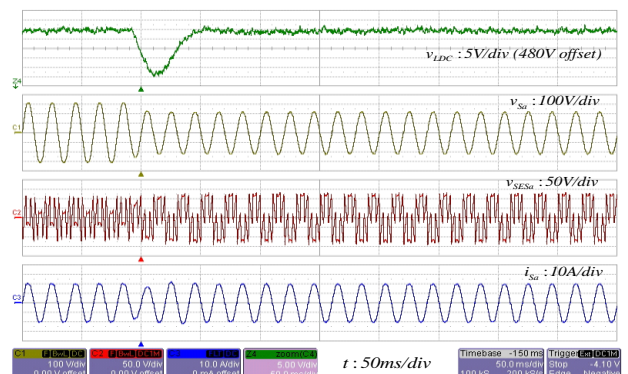
Seri etkin süzgeç (SES), gerilim kaynağı türü harmonik üreten diyotlu doğrultucu yükler Şekil 11'deki gibi uygulanır ve hem yük gerilimi harmonik yalıtımı sağlar, hem de yük gerilimi temel bileşen büyüklüğünü şebeke gerilimi çökmelerine karşı düzeltir [13]. Şebeke gerilim çökme üretici SES şartlandırıcısının laboratuvar ortamında yük gerilimi düzeltim başarımının gözlenmesinde başarıyla kullanılmıştır. Gerilim çökme üreticinin Çizelge II'de parametreleri verilen SES devresine uygulanması ile SES'in şebeke gerilimi çökmelerine karşı tepkisi Şekil 12'de görülmektedir. Şekilde görüldüğü gibi yük DC bara gerilimi (v_{LDC}), gerilim çökmesi üreticinin modellediği şebeke gerilimindeki (v_S) dengeli %30'luk çökmeye karşın SES'in sağladığı düzeltim gerilimi (v_{SES}) ile en çok %5'lik bir çökmeye maruz kalmaktadır ve 50 ms içerisinde bu şebeke gerilimi çökmesinin düzeltimi tamamlanmaktadır.

ÇİZELGE II
SES DEVRESİ PARAMETRELERİ

Parametre	Şebeke faz-nötr gerilimi (50 Hz)	220 V _{rms}
L_S	Şebeke indüktansı	200 μ H
C_L	Yük kondansatörü	2.2 mF
R_L	Yük direnci (10 kW)	24 Ω
N	Trafo sarm oranı	2.5
V_{DC}	SES evircisinin DC bara gerilimi	500 V
L_f	Kıpırtı süzgeç indüktansı	2.2 mH
C_f	Kıpırtı süzgeç kondansatörü	2.0 μ F
R_d	Kıpırtı süzgeç direnci	5.6 Ω
f_{PWM}	PWM frekansı	20 kHz



Şekil 11. Şebeke gerilim çökme üreticinin SES devresi için uygulanması.



Şekil 12. Gerilim çökme üreticinin oluşturduğu %30'luk gerilim çökmesinin SES devresi ile düzeltimi. Yukarıdan aşağıya: Yük DC bara gerilimi (v_{LDC} , 5V/div), şebeke faz gerilimi ($v_{S\alpha}$, 100V/div), SES faz gerilimi ($v_{SES\alpha}$, 50V/div) ve şebeke faz akımı ($i_{SES\alpha}$, 10V/div).

VI. SONUÇ

Bu çalışmada eğitim, araştırma, geliştirme ve standart laboratuvar ortamlarında kullanım amaçlı bir gerilim çökme üretici geliştirilmiştir. Faz başına üç adet SSR'den oluşan anahtar takımı, varyak ve geçiş direncinden oluşan 3-SSR'li üreteç, üretim ve uygulama kolaylığı, ekonomikliği ve gerçek çökmeyi taklit edebilmesi bakımından diğer çökme üreteçlerinden üstündür. Tek fazlı veya çok fazlı uygulanabilir nitelikte olup, dengeli veya dengesiz çökme programlanabilir. Çökme miktarı varyak ile, çökme süresi de elektronik devre ile programlanır. Direnç elemanı ile de çökme dinamiği denetlenir. 3-SSR'li üreticinin başarımı, tasarlanıp üretilen çökme üretici devresinin RL yük ve seri etkin süzgeç uygulamasında 10 kVA güç düzeyinde denenerek ispatlanmıştır.

3-SSR'li gerilim çökme üreticinin elektronik devreleri mikrodeneteciler gibi yapılar kullanılarak esnek programlanabilir hale getirilebilir. Bundan da öte, varyak ve direnç değerleri dc motor kullanılarak (dc motor denetimli varyaklı gerilim regülatörleri gibi) otomatik olarak değiştirilip, tüm çökme deneyi otomatikleştirilebilir.

KAYNAKÇA

- [1] R.C. Dugan, M.F. McGranaghan, S. Santoso, H.W. Beaty, *Electrical power systems quality*, McGraw-Hill, 2nd edition, 2002.
- [2] M. F. McGranaghan, D. R. Mueller, and M. J. Samotyj: "Voltage sags in industrial systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 29, no. 2, pp. 397-403, 1993.
- [3] W.E. Brumsickle, R.S. Schneider, G.A. Luckjiff, D.M. Divan, and M.F. McGranaghan, "Dynamic sag correctors: cost-effective industrial power line conditioning," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 37, no. 1, pp. 212-217, Jan./Feb. 2001.
- [4] Information Technology Industry Council (ITIC), 1250 Eye Street NW Suite 200, Washington DC, (<http://www.itic.org>).
- [5] IEEE Std. 1159-1992, "IEEE recommended practice for monitoring electric power quality."
- [6] Power Standards Lab., The Industrial Power Corrupter, (<http://www.powerstandards.com/saggen.htm>).
- [7] California Instruments, Inc. Programmable AC Sources, (<http://www.californiainstruments.com>).
- [8] E.R. Collins, R.L. Morgan, "A three-phase sag generator for testing industrial equipment," *IEEE Trans. Power Delivery*, vol. 11, pp. 526-532, Jan. 1996.
- [9] EPRI Solutions, Voltage Sag Generator, Porto Sag (<http://www.eprisolutions.com>).
- [10] Y. Ma and G.G. Karady, "A single-phase voltage sag generator for testing electrical equipments," *IEEE-PES T&D 2008 Conf. Rec.*, pp. 1-5, April 2008.
- [11] T. Jimichi, H. Fujita, and H. Akagi, "Design and experimentation of a dynamic voltage restorer capable of significantly reducing an energy-storage element," *Ind. Applicat. Conf. IAS*, vol.2, pp. 896-903, October 2005.
- [12] SVT868394, Celduc, Three Phase Solid State Relay datasheet (www.celduc.com).
- [13] O. S. Senturk and A. Hava, "High performance harmonic isolation and load voltage regulation of the three-phase series active filter utilizing the waveform reconstruction method," *IEEE IAS Annual Meeting '08*, pp. 1-8, Oct. 2008.