

Fotovoltaik Güç Santrallerinin Elektrik Şebekesine Harmonik Etkisinin Modellenmesi ve Analizi

Modeling and Analysis of Harmonic Effect of Photovoltaic Power Plants on the Electricity Network

Halil İbrahim AYDINÖZ¹ 

¹Güneş Enerjisi Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, Türkiye
halil.ibrahim.aydinoz@gmail.com

Öz

Şebekeye entegre edilmiş fotovoltaik (fv) elektrik güç sistemindeki varlığı her geçen gün artmaktadır. Bu artışla beraber fv güç santrallerinin şebekeye etkisi üzerine incelemenin önemi artmaktadır. Bu incelemeler neticesinde fv sistemlerden dolayı oluşan çeşitli sorunların azaltılması, başarımların analizlerinin yapılması ve sisteme verdiği güç kalitesindeki değerleri iyileştirmeyi hedeflemektedir. Bu çalışmada harmonik sorunu incelenmiştir. Elektrik güç sistemlerinin her aşamasında harmonik seviyesinin minimum olacak şekilde sistemlerin yer alması enerji verimliliğini yükseltecek ve bununla beraber ekonomik olarak pozitif yönlü iyileşmelere sebep olacaktır. Bu analizde elektrik güç şebekesine entegre edilmiş fv güç sisteminin şebekede senkron olması süreci ve fv sistemde eviriciden kaynaklı harmonikleri incelemek için Matlab/Simulink programı ile şebeke modellenmesi yapılmıştır. Yapılan modelleme işleminde harmonikleri uygun standartlara getirmek için LCL (endüktans-kapasitör-endüktans) pasif filtresi modellenip kullanılmıştır. Yapılan çalışmada şebekeye entegre edilmiş fv sistemin daha etkin çalışması ve şebekeye verdiği harmonikleri minimum seviyeye indirmek için uygun filtre önerileri geliştirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Enterkonnekte Şebeke, Yenilenebilir Enerji, Güneş Enerjisi, Harmonikler, Güç Kalitesi, Filtre Sistemleri

Abstract

Its presence in the photovoltaic electric power system integrated into the grid increases every passing day. With this increase, it pushes the investigation on the effect of photovoltaic power plants to the grid. As a result of these examinations, it aims to reduce various problems caused by photovoltaic systems, to perform performance analyzes and to improve the power quality values given to the system. In this study, harmonic problem is examined. Including systems with minimum harmonic level at each stage of the electrical power systems will increase energy efficiency and will result in economically positive improvements. In this analysis, network modeling was performed with Matlab / Simulink program to examine the synchronization process of the photovoltaic power system integrated in the electrical power network and the harmonics originating from the inverter in the photovoltaic system. LCL (inductance-capacitor-inductance) passive filter has been modeled and used to bring harmonics to appropriate standards in the modeling process.

Keywords: Interconnected Network, Renewable Energy, Solar Energy, Harmonics, Power Quality, Filter System

1. Giriş

Güç kalitesi terimi, bir elektrik bileşenin amacına uygun kullanımında belirlenen ömründe herhangi bir kayba uğramadan aktif kalabilmesi için elektrik kıstasları olarak tanımlanabilir [1].

Güç kalitesi kavramı günümüzde bir çok araştırmaya konu olmuştur. Araştırmalar özellikle kaliteyi etkileyen unsurlar üzerine odaklanmıştır. Güç kalitesinde çözümler üretmeden önce olayın kaynağını ve nedenlerini bilmek büyük önem teşkil etmektedir. Güç kalitesi kavramında ilk olarak akım ve gerilim dalga formunun ideal sinüs olmaması olarak gösterilebilir. Bu dalga yapısı elektrik güç sistemlerinde gürültülere ve elektriksel kirliliğe sebep olmaktadır. Dalga yapısının istenen sinüs biçimde olamaması en büyük sebebi orta gerilim şebekesindeki non-liner yüklerin varlığıdır. Güç kalitesi sorunlarında ilk olarak gerilim yükselmesi, kesinti ve çökmesi, doğru akım (DA) yapının varlığı, transiyet durumlar ve harmonikler olarak sıralanabilir. Bu güç kalitesizlikleri hassas yüklerin servis harici olmasına trafo ve motorların enerji kaybına sebebiyet vermektedir. Bunların neticesinde elektrik güç sistemini olumsuz etkilemektedir. Bundan kaynaklı olarak bu tür bozukluklara sebeplerinin bilinmesi gereken koruma önlemlerin alınması büyük önem teşkil etmektedir [2].

Dünya'da çeşitli yenilenebilir enerji kaynaklarından elektrik enerjisi üretilmektedir. Bu kaynaklar; rüzgar, güneş, hidroelektrik, jeotermal, biyokütle olmak üzere söylenebilir. Bu enerji kaynağı türleri arasında en hızlı gelişme gösteren enerji türü güneş enerji kaynaklarından fv güç sistemleridir. Günümüzde ticari kaynaklı veya elektrik gücünün yetmediği yerlerde şebekeye entegreli fv güç sistemlerinin kullanımını yaygınlaştırmıştır.

Fv güç sistemleri şebeke bağlantılı (on-grid) ve şebeke bağlantısız (off-grid) olacak şekilde 2 yapıya ayrılmaktadır. Şebeke bağlantısız sistemler, şebeke bağlantısının olmadığı veya uzak yerleşim yerlerinde evsel veya ticari amaçlı kullanılmaktadır. Şebeke entegreli sistemler ise şebekeye beraber paralel çalışmada şebekeye direkt enerji aktarmaktadır. Bu tip güç sistemleri bir evirici yardımı ile doğru akım alternatif akıma dönüştürülür [16-17].

Şebeke bağlantılı güç sistemleri yapılarında şebekeye bağlanması için öncelikle senkronizasyonu sağlaması gerekmektedir. Senkronizasyonun gerçekleşmediği zamanda büyük sirkülasyon akımları oluşarak eviriciye zarar verebilir. Sistemin şebekeye senkron olabilmesi için önemle dikkat edilmesi gerek senkron olma anıdır. Senkron olma durumunda şebekeye paralel olacak fv sistemin şebeke fazları üst üste gelmesiyle tamamen gerçekleşir. Şebeke entegreli fv sistemin senkronluğu sağlaması yalnızca yeterli değildir. Bununla beraber fv sistemdeki evirici kaynaklı harmoniklerin azaltılması elzem olmaktadır. Elektrik bileşenlerinde akım ve gerilimin harmonik yönünden standartlar içerisinde olmamasında sistem verimli olmaz. Eğer fv sistemler uygun filtre yapıları eklenip harmonikler azaltılmazsa çeşitli yönlerde zararlar oluşur [3].

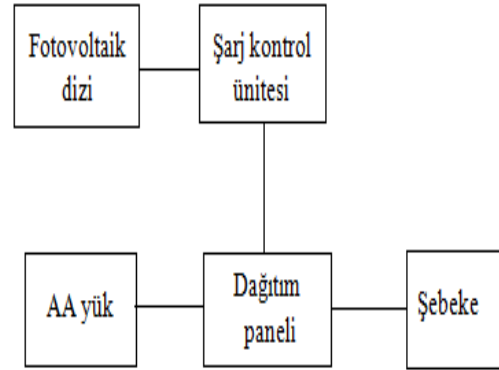
Bu çalışmada şebeke bağlantılı FV güç sistemlerinin şebekeye entegrasyonu 2. Bölümde incelenmiştir. Bu kısımda şebekeye bağlanma limitleri ve gerilim seviyeleri anlatılmıştır. 3. Bölümde güç kalitesi ve harmonikler ele alınmış olup bu parametrenin uluslararası limit değerleri bu kısımda belirtilmiştir. 4. Bölümde ise yapılan benzetim çalışması gösterilmiştir elde edilen grafikler burada verilmiştir. 5. Bölümde önceki bölümde elde edilen sonuçlar tartışılıp incelenmiştir. Son olarak sonuç kısmında çalışmanın

çıkartılmasının etkileri ve literatüre katkıları belirtilmiştir. Bu belirlenen etkilerin fv güç santrallerine ilerde ele alınacak önlemler ve güç sistemlerinde verimli çalışmanın önemleri ortaya konulmuştur.

2. Şebeke Bağlantılı FV Güç Sistemleri

Şebeke bağlantılı fv güç sistemleri güneş panelleri, akü grupları ve solar kontrol sistemleriyle beraber fv güç sistemini oluşturmaktadır. Şebekeye senkron olan fv güç sistemlerine evirici ekipmanı ilave edilerek akü grubunun çıkışındaki doğru akım istenen genlikteki ve frekans değerleri alternatif akıma dönüştürülür. Fv güç sistemleri önceki belirtilen bileşenlerden fazla olarak sigorta, topraklama elemanları, aşırı akım koruma röleleri ve sistem daha optimum çalışabilmesi için maksimum güç noktası (MNG) cihazları özellikle sistemde olması gerekir [4].

Dünya çapında bahsedilen fv güç sistemleri 2000'li yılların başında şebeke entegreli fv güç sistemleri yaygınlaşmıştır. FV güç santrallerinde elektrik şebekesine bağlantı noktasında kurulu gücüne göre farklılık göstermektedir. Kurulu güç 50 MW'a kadar olan sistemde 34,5 kV dağıtım şebekesine 50 MW üzerindeki güçler ise 154 kV veya 400 kV gerilim seviyende iletim hattı şebekesine bağlanmaktadır. Şekil 1'de fv güç santrali sistemi gösterilmiştir.



Şekil 1. Şebeke bağlantılı fv sistem yapısı [5]

Bağlanacak şebekedeki gerilim seviyesi belirlendikten sonra sistem direkt olarak şebekeye entegre olabilmesi için bazı senkron olma şartları gerekmektedir. Bu şartlar;

- FV sistem terminal voltajı ile şebekenin voltajının genlikleri uygun olmalıdır. Şebeke gerilimi nominal gerilimin $\pm 10\%$ limitleri içinde olmalıdır.
- FV sistem çalışma frekansı ile şebeke frekansı aynı olmalıdır.
- FV sistem ile şebeke sistemi faz sıralamaları aynı olmalıdır.
- FV güç sistemi şebekeye vereceği güç minimum kurulu üretim sınırlarının altında olmalıdır.

Bu şartlar yerine getirildiğinde şebekeye entegre sağlanabilir. Belirtilen şartlardan bir veya bir kaçının olmaması durumunda

entegrasyon sağlanamaz ve bunun sonucu olarak daevirici sistemleri zarar görür.

2.1. Şebekeye Bağlı FV Sistemlerin Avantajları ve Dezavantajları

Fv güç sistemlerinin elektrik şebekesine bağlı olmasının pozitif ve negatif yönleri bulunmaktadır. Belirlenen lokasyona tesis edilecek santralin fizibil olabilmesi için aşağıda belirtilen durumlar bakıp karar verilmelidir.

2.1.1. Şebekeye Bağlı Sistemlerin Avantajları;

- Elektrik enerjisi ve şebeke sistemine direkt verildiği için batarya gruplarına ihtiyaç yoktur.
- Elektrik güç sistemindeki iletimden kaynaklı kayıplar azaltılmış olur.
- Kullanımında fazla kalan enerji bağlı olduğu şebekeye verilir.
- Farklı güç seviyelerinde kurulum uygunluğa vardır.
- Herhangi bir arıza yaşandığında fv sistemi yeterince beslenmediğinde elektrik şebeke sistemi otomatik olarak devreye girer[6].

2.1.2. Şebeke Bağlı Sisteminin Dezavantajları

- Fv güç sisteminin yeterli olmadığı yerde elektrik güç sistemindeki bir kesinti durumunda sistem enerjisiz kalacaktır.
- Güç faktörü, harmonik ve gerilim yükselmesi ve düşmesi gibi güç kalitesi parametrelerinde fv güç sistemleri daha hassas tepkiler oluşturmaktadır.
- Fv güç sisteminin hava durumuna bağlı olduğunda kötü hava durumu koşullarında sisteme güç vermeyeceğinden tüketiciler ya enerjisiz kalacak veya ekstra jeneratör ihtiyaç duyulacaktır [6].

3. Güç Kalitesi

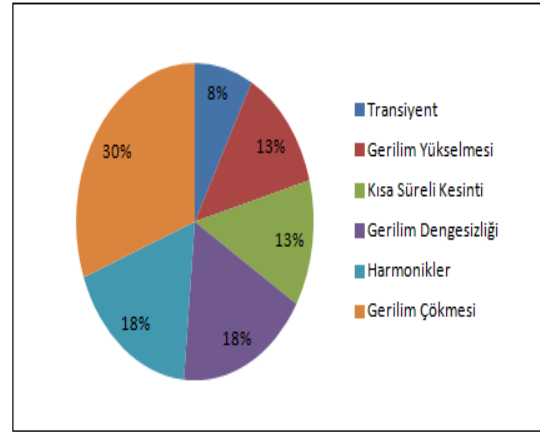
Güç kalitesi için yapılan çeşitli tanımlar içerisinde kamusal elektrik yapılarının güç kalitesi tanımı güvenilirlik olarak tanımlanmaktadır. Elektrik cihazlarının üreticileri ise güç kaynağı karakteristiği cihazların doğru ve sorunsuz görev yapmasının yeterli olmasına bakarak güç kalitesi tanımlanabilir. Bunun yanında güç kalitesi akım, gerilim ve frekans değerlerinin açıkça gözlemlenen sapmalarının elektrik cihazların çalışma hataları ile neticelenmesi şeklinde güç kalitesi problemi için kapsayıcı bir tanım yapılabilir.

Elektrik enerjisinde kalite, elektrik güç şebekesinde belirlenen herhangi bir noktada voltajın genliği ve frekansın anma değerlerinde kalması ve gerilimin dalga şeklinin düzgün sinüzoidal olarak bulunması demektir. Kısaca güç kalitesi sabit şebeke frekansı ve düzgün sinüzoidal nokta gerilimidir. Bu tanımdaki yapıyı elde edebilmek için elektrik güç şebekesindeki önlem alacak teçhizatlara ihtiyaç duyulur. Buna karşın bazı ekipmanlar ve buna neden olan olaylarda kaynaklı optimum sinüzoidal olmayan dalga şekli meydana gelmektedir [7].

3.1. Güç kalitesinin Sınıflandırılması

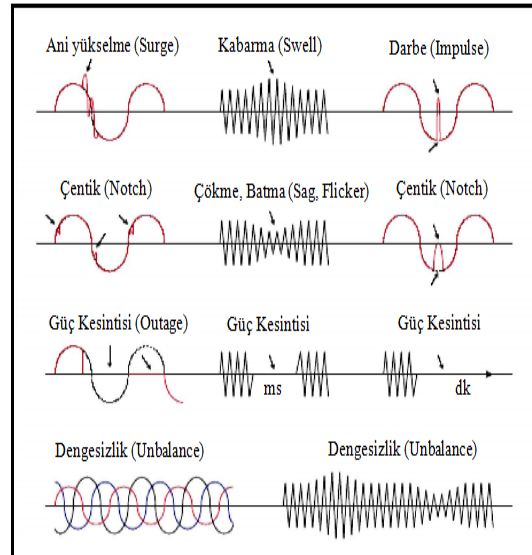
Güç kalitesi istenilen durumda olmaması şebekede belirlenen bir noktada voltajın genliği ve frekans anlık değerlerin

koruyamaması voltaj dalga şeklinin sinüs şeklinden uzaklaşması, kesintiler, gerilim darbeleri, gerilimin doğru doğru bileşen bulundurmaması vs. durumlarda elektrik güç sistemlerinde bozulmalar görülebilir. Güç kalitesinin istenilen standartlarda olmaması neticesinde elektrik güç sisteminde çeşitli sıkıntılar meydana gelecektir. Belirtilen problemlerin oluşma yüzdeleri Şekil 2’de gösterilmiştir.



Şekil 2. Elektrik enerji kalitesi problemleri [8]

Şekil 3’de ise güç kalitesi problemleri fiziksel açıklamaları gösterilmiştir. Güç kalitesinde meydana gelecek sıkıntılar, enerji arz ve talebinde sağlayamaması, ekipman arızalarına ve ekonomik kayıplarına neden olarak hem insani hem de endüstriyel faaliyetleri olumsuz etkiler.



Şekil 3. Elektrik enerji kalitesi problemlerinin fiziksel açıklaması [9]

3.2. Harmonikler

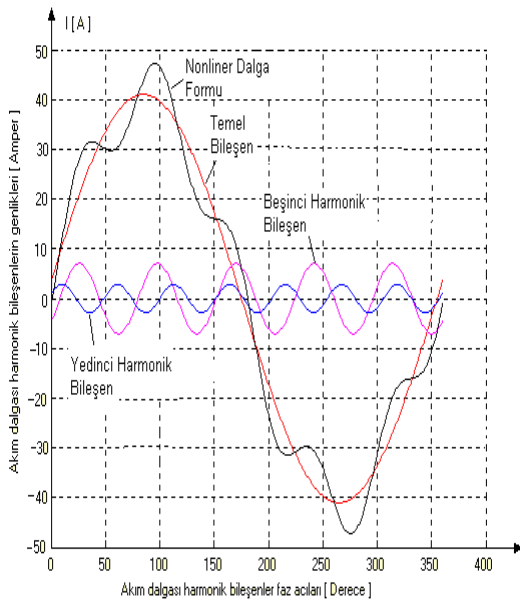
Alternatif akım (AA) elektrik güç sistemleri voltaj ve akım dalga şekli optimum sinüzoidal olması istenir. Non-linear yüklerin sebep olduğu akım ve voltajın ideal sinüs biçiminde değildir. Bundan dolayı lineer olmayan elemanların veya sinüs biçimli olmayan kaynakların var olması veya bunların her

ikisinde sistemde olması harmoniklere sebebiyet vermektedir. Zamanla değişen, sinüs olmayan akım ve gerilim harmonik bulunduran akım ve gerilimler olarak belirlenirken akım ve gerilimin dalga biçimi sinüs olmayan olmasına yüksek frekans bileşen harmonik olarak adlandırılır.

Harmonik kavramı temel ifadeyle, akım ve gerilim dalga şekillerinin sinüzoidal şekilden sapması sonucu yeni dalga formunun oluşması olarak tanımlanabilir.

Harmonik tanımı, Elektrik Dağıtımı ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği'nde; "Doğrusal olmayan yükler veya gerilim dalga şekli ideal olmayan jeneratörlerden dolayı bozulmaya uğramış bir alternatif akım veya gerilimde, ana bileşen frekansının tam katları frekanslarda oluşan sinüzoidal bileşenlerin her biri" şeklinde tanımlanmıştır [15].

Elektrik güç sistemlerindeki harmonikler, elektrik yapılarındaki ekipmanlarda ortaya çıkıp iletim ve dağıtım hattı üzerinden yayıldıkları için sadece ortaya çıktığı yerlerde değil diğer tesisleri de etkiler. Bundan kaynaklı olarak harmonikler elektrik güç sisteminde güç kalitesinin düşmesine, ekipmanların arızalanmasına, koruma cihazlarının anlamsız yer çalışmasına ve sistemde kayıplara sebep olmaktadır. Harmonikler temel dalga bileşenin haricindeki sinüs dalgalarına harmonik bileşen olarak adlandırılmaktadır. Güç sisteminde sinüs dalganın simetrisinden dolayı tekli harmonikler var olur. Bunlar 3., 5., 7., ... gibi tek harmonik bileşeni bulunur. Harmonik ve lineer olmayan dalga biçimi Şekil 4'te gösterilmiştir.



Şekil 4. Harmonik bileşenler ve nonlineer dalga formu [10]

1822 yılında Fransız fizikçi ve matematikçi Joseph Fourier sinüzoidal olmayan periyodik dalga şekillerinin, temel bileşen içeren frekansının tam katı frekanslarda başka sinüzoidal dalgaların toplamından oluştuğunu göstermiştir. Bu ifade kullanılarak sinüzoidal olmayan dalga şekilleri bileşenlerine ayrılabilir. Bir dalga şekline bu teoremin uygulanabilmesi için Dirichlet koşullarının sağlanmasıdır. Bu koşullar bir periyot içinde sonlu sayıda süreksizlik bulunması, sonlu sayıda maksimum ve minimum noktalarının bulunması ve ortalamasının sonlu değer olmasıdır.

Sinüzoidal olmayan dalga şekillerini matematiksel olarak ifade etmek için fourier serileri kullanılır.

Elektrik güç kalitesi IEEE-519 standartlarına göre limitler belirlenmiştir. Toplam harmonik distorsiyon gerilim ve akım sınır değerleri ise sırayla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Elektrik güç kalitesi IEEE-519 standartlarına göre limitler belirlenmiştir. Toplam harmonik distorsiyon gerilim ve akım sınır değerleri ise sırayla Çizelge 1 ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Çizelge 1: IEEE-519 THD gerilim sınır limitleri [11]

Bara gerilimi	Max. HarmonikKomponent (%)	Tek Max. THDV (%)
69 kV altı	3	5.0
69 kV-161 kV	1.5	2.5
161 kV üstü	1.0	1.5

Çizelge 2. IEEE-519 THD akım sınır limitleri [11]

SCR=Is/I _L	h<11	11-16	17-22	23-24	35<h	THD
<20	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20-50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50-100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100-1000	12.0	7.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Harmonik dalga şekillerinin direkt ve direkt olmayan birden fazla olumsuz etkisi vardır. Bu olumsuz etkilerin başında olduğu sistemde ekstra güç kayıplarına sebep olmakta ve enerji verimliliğine negatif yönlü etkilemektedir. Harmonikler bu süreçte güç sisteminde ekstra kayıplara sebep olarak sistemin verimini önemli şekilde düşürmektedir. Bununla beraber harmonikler iletkenler, transformatörler, generatörler, motorlar ve dielektrik malzemeler üzerinde direkt olarak kayıplara yol açmasının yanı sıra bir çok yönden ekonomik kayıplara sebep olmaktadır. Fabrikalarda yaşanan elektronik ekipman arızaları neticesinde üretim kayıpları, rezonans neticesinde devre ekipmanları zarar görmesi, sistemin devre dışı kalması vb. bir çok zararlı etki örnek gösterilir.

3.3. Harmoniklerin Filtrelenmesi

Harmonik sebebiyle ortaya çıkacak zararlı etkilerin engellenmesi yalnızca sistemin ilk tasarımında alınacak önlemler ile mümkün olmamaktadır.

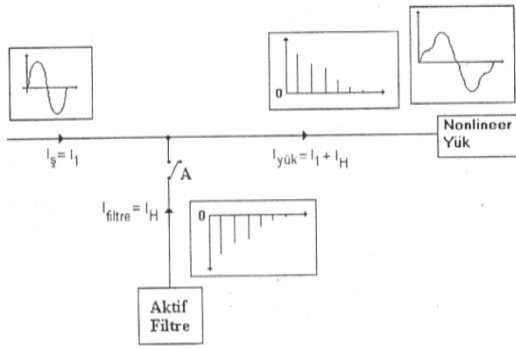
Harmonik içeren akımların güç sistemine geçmesini engelleme amacıyla ek ekipmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu ekipmanlar harmonik filtresi adı verilmektedir. Harmonik filtrelerinin görevi, belirlenen bir yada birden fazla frekanstaki akım ve voltajın başka bir deyişle harmonik etkisini azaltmaktır. Harmonik filtrelerin bir başka görevi AA sisteme giren harmonik dalgaların bileşenlerini engellemek olarak özetlenebilir. Kullanım şekliyle filtreler ikiye ayrılır;

- Filtrelerin kontrollü akım ya da gerilim kaynağına sahip olduğu "aktif" filtreler
- Filtre bileşenlerinin direnç endüktans ve kondansatör gibi pasif elemanlardan oluşturulduğu "pasif" filtreler [12-13].

3.3.1. Aktif Filtreler

Harmoniklerin pasifize etmek için geliştirilmiş ekipmanlardır. Bu filtreler ileri güç elektroniği prensiplerine dayanır ve pasif filtrelerden çok daha ekonomik olarak yüksektir. Aktif

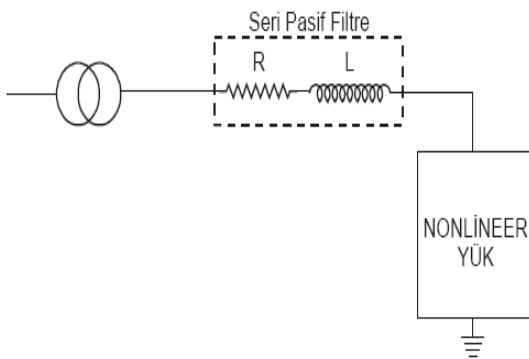
harmonik filtreleri birden fazla harmonik frekansı için ayarlanabilir ve güç kalitesini etkileyen sebepleri ortadan kaldıracaktır. Aktif filtrenin çalışma şekli, lineer olmayan yükün çekeceği temel bileşen dışındaki akımı karşılamaktır. Bu şekilde aktif filtreler yük tarafından çekilen harmonikleri analiz ederek harmonik bileşen içeren dalgaları uygun bir fazda yüke uygularlar. Şekil 5'te aktif filtre ile harmonikleri engellediği gösterilmiştir [12-13].



Şekil 5. Aktif filtre ile harmoniklerin giderilmesi

3.3.2. Pasif Filtreler

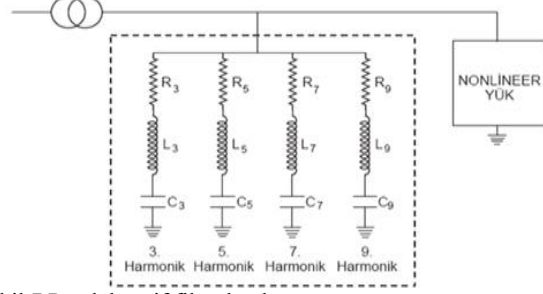
Pasif filtreler şekil olarak, kaynak ile alıcı arasına yerleştirilen ve temel frekans dışındaki bileşenleri ekarte eden seri bağlı kondansatör ve endüktans bileşenleridir. Bazı durumlarda direnç de ilave edilebilir. Pasif filtrelerde istenilmeyen harmonik frekansı rezonansa gelecek L ve C değerlerini belirlemektir. Arı harmonik bileşenler için onu rezonansa getirecek ayrı bir filtre gerekli olmaktadır. Seri filtreler, harmonik kaynağıyla güç sistemine arasına seri bir şekilde bağlanır ve harmonik geçişine yüksek empedans gösterirler. Bu yüzden seri filtrelerin ayarlanmış olduğu frekansta yüksek empedans vardır. Paralel filtreler harmonik kaynağıyla şebeke arasına paralel olarak bağlanırlar. Bu tip filtrelerde, düşük bir paralel empedans yoluyla istenmeyen harmonik bileşenlerini filtre üzerinden akmasını sağlanmaktadır. Pasif filtreler, seri pasif filtreler ve paralel pasif filtreler olacak şekilde ikiye ayrılır. [12-13]. Seri pasif filtreler uygulamada; AC motor sürücü devrelerinin ve yüksek güçlü AC/DA inverterler önlerinde kullanılır. Seri pasif filtre için bir örnek Şekil 6'da verilmiştir [14].



Şekil 6. Seri pasif filtre bağlantısı

Paralel pasif filtreler, harmonik kaynağı ile şebeke arasına kondansatör (C), endüktans (L) ve bazı durumlarda direnç (R) elemanlarının paralel olarak bağlanmasından oluşan

devrelerdir. Paralel pasif filtre için bir örnek Şekil 7'te verilmiştir.

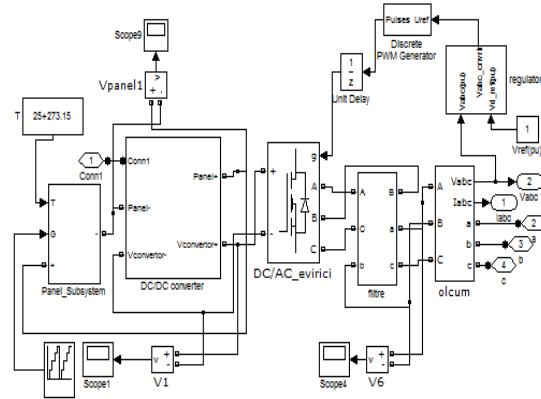


Şekil 7. Paralel pasif filtre bağlantısı

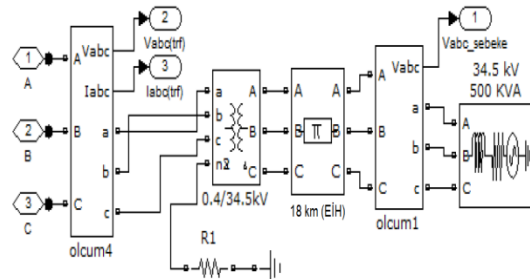
4. Benzetim Çalışmaları

Yapılan bu çalışmada fv güç sisteminin elektrik güç sistemiyle senkron olabilmesi ve fv güç sisteminin evirici kaynaklı harmonik etkisini görebilmek için MATLAB/Simulink'de fv güç sisteminin benzetimi yapılmıştır.

Benzetme yapılan fvsistem ve şebeke sırasıyla Şekil 8 ve Şekil 9'da gösterilmiştir. Şekillerde ölçüm noktaları da gösterilmiştir.



Şekil 8. Simülasyonda kullanılan fv sistemin blok diyagramı.

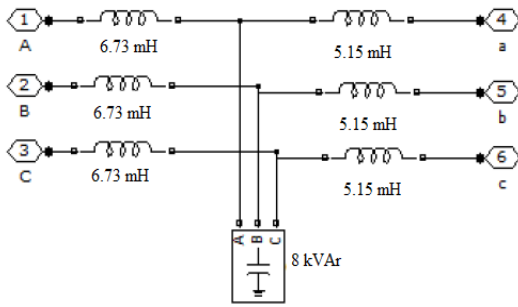


Şekil 9 Simülasyonda kullanılan şebekenin blok diyagramı.

Şebeke entegreli fv güç sistemi MATLAB/Simulink'te seri ve paralel bağlantı ile 11 kW pik gücünde fv bir sistem tasarlanmıştır. Bu sistem DA/DA boost çevirici bağlantısı yapılarak DA gerilim yükseltilmiştir. Daha sonra yükseltilen bu DA gerilim alternatif akıma dönüştürmek için DA/AA bir eviriciye bağlanmıştır.

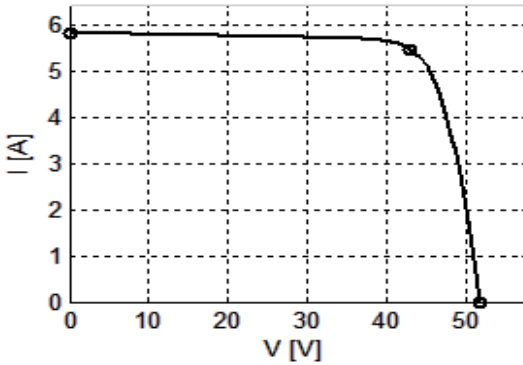
Fv güç sisteminde meydana gelen harmonikleri azaltmak için ise evirici çıkışına filtre sistemi entegre edilmiştir. Filtre

bağlantısının çıkışını devamına şebeke ve yük bağlantıları yapılmıştır. Filtre türü olarak LCL filtre tercih edilmiştir. Simülasyonda kullanılan filtrenin iç yapısı ise Şekil 10'da gösterildiği gibi olup LCL filtre modelinde sırasıyla 6.73mH ve 5.15mH değerine sahip indüktörler ile 8 kVar'lık kondansatör kullanılmıştır. Ayrıca filtrenin 400V ve 50Hz'lik sistem parametrelerine göre ayarlanmıştır. Belirtilen parametrelerle tasarlanan LCL filtre ile sistemdeki harmonikler büyük oranda azaltılmış olup sistemin daha kaliteli bir şekilde çalışması sağlanmıştır.

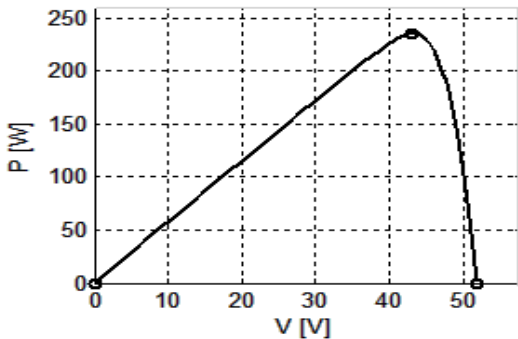


Şekil 10. Simülasyonda kullanılan filtre bloğunun iç yapısı.

Simülasyonda kullanılan RC tipi yük, 35 kW aktif, 920 Var kapasitif reaktif güce, 400V genliğe ve 50Hz frekansa sahip olup simülasyonda yük üzerindeki gerilim, harmonik bozulmaları gibi ölçümler yapılmıştır. Şekil 11'de fv panele ait Akım (I)–Gerilim (V) grafiği gösterilmiş olup Şekil 11'de ise fv panele ait Güç (P)–Gerilim(V) grafiği gösterilmiştir.



Şekil 11. Fv panelin I-V grafiği.



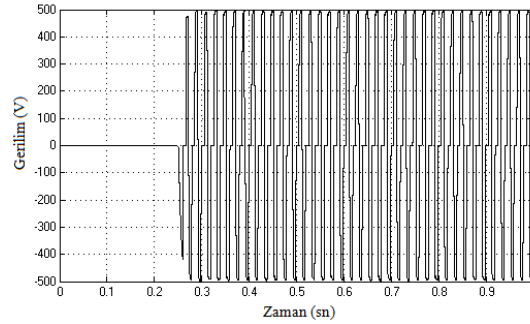
Şekil 12. Fv panelin P-V grafiği

Şebeke bağlantılı fv sistemin modelleme aşamaları ve simülasyonu yukarıda detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Fv

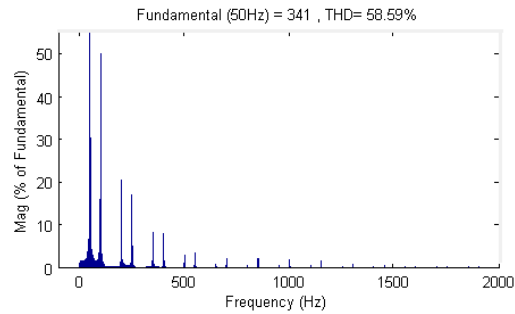
sistemin ve şebekenin frekans, faz açısı, gerilim, güç ve harmonik ölçümleri yapılmıştır. Simülasyon sonunda ortaya çıkan grafikler ve ölçüm değerleri gösterilmiş olup elde edilen sonuçlar analiz edilmiştir.

Şebekeye bağlı sistemde frekans, faz ve gerilim değerleri 0.25'inci saniyeden itibaren sabitlendiği için sistemin senkronizasyonu 0.25'inci saniyeden itibaren sağlanmıştır. Bu sebeple ilk başta açık anahtar şeklinde olan breaker, programlanarak 0.25'inci saniyeden itibaren kapanmıştır. Şekil 13'de filtre öncesi DA/AA konverter çıkışında gözükten gerilim gösterilmekte olup breaker 0.25'inci saniyede kapandığı için o ana kadar gerilim 0 olup 0.25'inci saniyeden itibaren bol harmonikli bir dalga elde edilmiştir.

Şekil 14'da ise Şekil 13'de verilen dalganın harmonik değeri gösterilmekte olup bu değer %58.59 (50 cycle için) olarak ölçülmüştür. Bu değer yüksek oranda bir harmonik teşkil ettiği için bir filtre tasarlanarak (L-C-L filtre) harmonik oranı azaltılmıştır. Şekil 13'de filtre öncesi gözükten gerilim ve Şekil 14'de filtre öncesi gözükten gerilimin harmonik değeri sırasıyla gösterilmiştir.

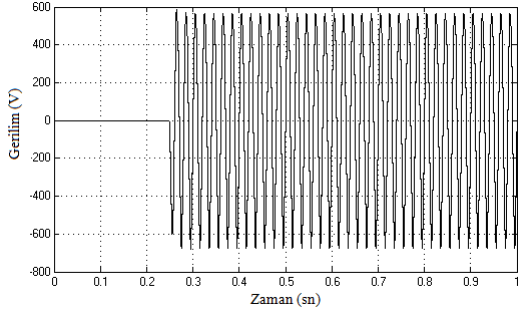


Şekil 13. Filtre öncesi DA/AA konverter çıkışında gözükten gerilim dalgası.



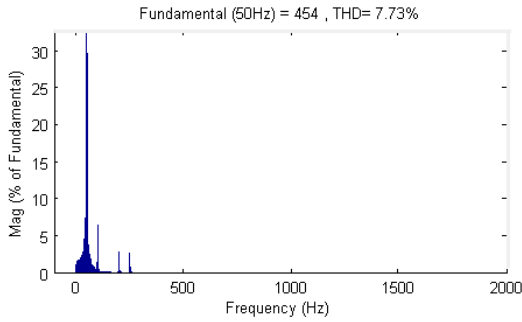
Şekil 14. Filtre öncesi gözükten gerilim dalgasının harmonik değeri

Şekil 15'de filtre sonrası harmoniklerin azaltılması sonucu oluşan gerilim dalgası verilmiş olup breaker 0.25'inci saniyeden itibaren kapandığı için dalga 0.25'inci saniyeden itibaren maksimum değeri 566.08V olacak şekilde sabitlenmiştir. Maksimum gerilim değeri, etkin gerilim değerinin $\sqrt{2}$ katı olduğu için filtre sonrası oluşan gerilim dalgasının etkin değeri 566.08 $\sqrt{2}$ den 400.2V olarak bulunur.



Şekil 15. Filtre sonrası harmoniklerin azaltılması sonucu oluşan gerilim dalgası.

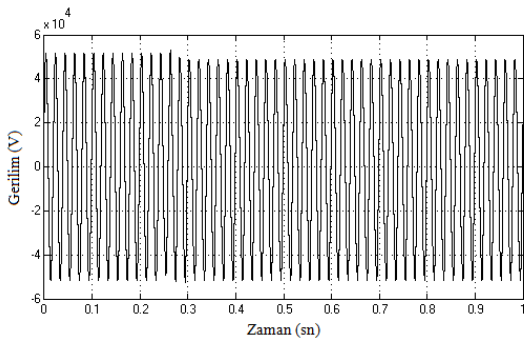
Şekil 16'da ise filtre sonrası oluşan gerilim dalgasının harmonik değeri verilmiş olup bu değer %4.58 olarak (50 çevrim için) ölçülmüştür.



Şekil

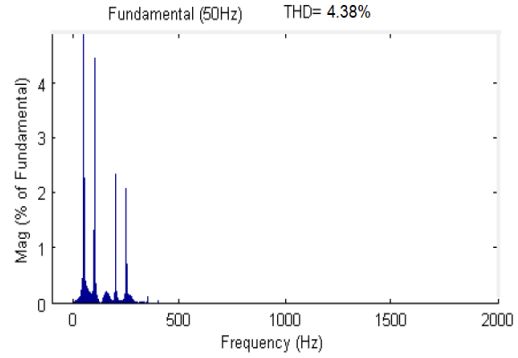
16. Filtre sonrası oluşan gerilim dalgasının harmonik değeri.

Şekil 17'de trafo çıkışındaki gerilim dalgası verilmekte olup yine senkronizasyon 0.25'inci saniyeden itibaren gerçekleştiği için gerilim dalgası 0.25'inci saniyeden itibaren maksimum değeri 48.84kV olacak şekilde sabitlenmiştir. Trafo çıkışındaki gerilim dalgasının etkin değeri ise $48.84/\sqrt{2}$ den 34.5kV olarak bulunur. Burada da 0.25'inci saniyeye kadar sistemde yük olmadığı için 0.25'inci saniyeye kadar trafo çıkışında hafif bir gerilim artışı olmuştur.



Şekil 17. Trafo çıkış gerilimi

18 km'lik pi tipi enerji hattı başındaki gerilim dalgasında meydana gelen harmonik oranı verilmiş olup bu değer %4,38'dir. Şekil 18'de gösterilmiştir.



Şekil 18. Hat başındaki gerilim dalgasının harmonik değeri

5. Tartışma

Şebeke entegreli fv güç sistemlerinin bağlanması ve güç kalitesi parametreleri standart sınırlar içinde kılması önemli bir konudur. Fv güç sistemleri şebekeyle entegreli problemsiz çalışabilmesi için harmonik bozulma değerlerinin standartlara uygun olması, gerilim değişimlerinin sınırlar çerçevesinde olması ve anahtarlama ve anlık devreye girmede şebekede meydana gelecek sıkıntıların minimum seviyeye indirilmesi gerekmektedir. Bu etkilerinin tümünün analizi yapıldıktan sonra şebekeye entegrasyon yapılmalıdır.

Fv sistemler şebekeyle paralel çalışırken harmonikler ile güç faktörü belirli sınır değerinin altında olmalı ve şebekeye doğru akım vermemelidir.

Sistemde oluşan problemlerin giderilmemesi veya azaltılmaması durumunda sistem veriminin azalması, sistemde kullanılan elemanların bozulması, güç kalitesi sorunlarının yaşanması, maliyetin artması ve enerji kayıpları kaçınılmazdır. Şebekeye bağlı fv sistemler, hangi güçte olursa olsun şebekedeki arızalarda veya enerji kesilmelerinde şebekeden bağlantılarını ayırarak sistemleri bulundurmaları gerekir. Aksi takdirde herhangi bir arızadan veya enerji kesilmesinden şebeke ve fv sistem olumsuz etkilenebilir

6. Sonuç

Yapılan bu analiz çalışmasında, şebekeye entegreli fv sistemin Matlab/Simulink programında benzetimi yapılarak fv sistemin şebekeye olan etkileri görülmüştür. Gerçek değer ve ekipman modelleri kullanılarak oluşturulan gerçek şebeke entegreli fv sistemde meydana gelen değişimlerin, simülasyon ortamında grafiksel olarak şekillerinin gösterimiyle kullanıcıların bilgi edinmeleri amaçlanmıştır.

Yapılan ölçümlerde fv sistem ile şebeke arasındaki senkronizasyonun 0.25'inci saniyeden itibaren gerçekleştiği gözlemlendiği için simülasyonda kullanılan breaker (kesici), 0.25'inci saniyede kapatılarak fv sistem ile şebeke arasındaki bağlantı gerçekleştirilmiştir. Fv sistemlerde konverterlerden kaynaklı harmonikler Matlab/Simulink programında FFT Analiz bölümünde ölçülmüştür. Tasarlanan filtreyle beraber harmoniklerin uluslararası standartlar sınırına uygun olacak şekilde indirildiği gözlemlenmiştir.

Burada, şebeke entegreli fv güç sistemlerinin her geçen gün arttığı için fv sistemlerin şebekeye etkileri ve güç kalitesini artırma yolları üzerine daha detaylı çalışmalar yapılmalıdır.

Fv sistemde konverterler gibi güç kalitesini negatif olarak etkileyen elemanların özellikleri iyi bilinmeli, gerekirse bu elemanları geliştirme yoluna gidilmelidir. Sistemde kullanılacak olan her bir eleman, sistem özelliklerine uygun olarak sisteme ve şebekeye en iyi uyum sağlayacak şekilde seçilmelidir. Sistemde ne kadar çok problem giderilirse o kadar çok verimin artacağı ve kayıpların azalacağı unutulmamalıdır. Tüm bu değerlendirmeler sonunda; bir fv güç santralının devreye alınması ve devreden çıkarılması sırasında şebekede geçici de olsa harmonik değerlerini yükselttiği anlaşılmıştır. Bu durumu gidermek için ise şebekeye bir pasif filtreleme işleminin yapılması önerilmektedir.

Maliyetlerinin Kestirimi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, (1999).

7. Kaynaklar

- [1] Li, J., Yan, H., Tang, G., Jiang, P., Bo, B., Simulation study of the series active power filter based on nonlinear immune control theory. In Electric Utility Deregulation, Restructuring and Power Technologies. Proceedings of the 2004 IEEE International Conference, 2, (2004), 758-762.
- [2] Zhan, Y., Ding, Y. F., Cheng, H. Z., Zeng, D. J., A robust support vector algorithm for harmonics analysis of electric power system [J], Proceedings of the Csee, 2004, 1-12.
- [3] Arifoğlu U. Güç Sistemlerinin Bilgisayar Destekli Analizi. Alfa Yayınları, 1. baskı, İstanbul, Türkiye, 2002.
- [4] Abamor, S. Şebeke Bağlantılı Fv Enerji Santrallerinin Elektrik Güç Kalite Parametrelerinin İzlenmesi ve Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa, 2016.
- [5] <http://www.solarcell.com.tr.html>, 20.12.2019.
- [6] <http://320volt.com/gunes-pillerive-teknolojik-uygulamaları>. 20.12.2019
- [7] Bonnett, A.H. Quality and Reliability of Energy Efficiency Motors. IEEE Industry Applications Magazine, 3: 1997, 22-31.
- [8] <http://www.3eelectrotech.com.tr.html>, 20.12.2019
- [9] Çelik, Ç. Dağıtım Sistemlerinde Enerji Kalitesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [10] <http://www.etmd.org.tr/etmd-arsivsayfasi.html> 20.12.2019.
- [11] IEEE Std 519-1992, (IEEE Recommended Practices and Requirements For Harmonic Control in Electrical Power Systems, IEEE, ABD, 1992).
- [12] Efe, S.B. Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Harmoniklerin Engellenmesi, EMO Diyarbakır Şube Bülteni, 2010, 19-23.
- [13] Efe, S.B. Güç Sistemlerinde Harmonikler ve Harmoniklerin Analizi (Yüksek Lisans Tezi). İnönü Üniversitesi, Fen Bil. Ens., Elektrik Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, 2007.
- [14] Zhang J., Wen H., Tang L., Teng Z., Chen Z., "Frequency Shifting and Filtering Algorithm for Power System Harmonic Estimation", IEEE Int. Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 2017 UK, 1-6.
- [15] T.C. Resmi Gazete, Elektrik Dağıtım ve Perakende Satışına İlişkin Hizmet Kalitesi Yönetmeliği. (28504), 21 Aralık 2019,
- [16] Carnovale, D. J. and Eaton, P. E. Power Factor Correction and Harmonic Resonance : A Volatile Mix, Electrical Construction and Maintenance, June .2003.
- [17] İnan, A. Lineer Olmayan Yükleri İçeren Enerji Sistemlerinin Harmonik Kayıpların Yapay Sinir Ağları ile Analizi ve Filtre

Halil İbrahim Aydınöz



Halil İbrahim Aydınöz 1987 yılında Diyarbakır'da doğdu. 2009 yılında Dicle Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği bölümünden lisans derecesi aldı. 2014 yılında Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik-Elektronik ABD. yüksek lisans derecesi aldı. 2014 yılında Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü Enerji ABD.'da doktora programına başladı ve tez aşamasında devam etmektedir. 2010-2011 yılları arası Batman Üniversitesi'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2011 yılından bu yana TE-İAŞ Batı Akdeniz Yük Tevzi İşletme Müdürlüğünde İşletme Mühendisi daha sonra 2017 yılından itibaren İşletme Baş Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir. Araştırma alanları; yenilenebilir enerji sistemleri, güç kalitesi, facts cihazları ve elektrik şebeke sistemlerinde planlama.