ŞEBEKEYE BAĞLI FOTOVOLTAİK SİSTEMLERDE OLUŞAN HARMONİKLERİN ŞEBEKEYE ETKİLERİ

Abdulvahid Çelebi, Metin Çolak
Ege Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü
35040, Bornova, İzmir
abdulvahidcelebi@mail.ege.edu.tr, metcol@bornova.ege.edu.tr

Özet: *Günümüzde kullanımı giderek artan Şebekeye Bağlı Güneş Pillerinin, şebekeyle etkileşiminden doğan sorunlardan biri olan Harmonikler, simülasyon ortamında gerçek verilerden yola çıkılarak incelenmiştir. PV Sistemlerin alternatif gerilime sahip şebekeye bağlanması için dc/ac çevirici olan invertörlerden yararlanılır. Kullanılan invertörler sebebiyle şebekeye verilen harmonik distorsiyonun şebekeyi, PV sistemin konumuna ve sayısına göre nasıl etkilediği, Pspice simülasyon programı yardımıyla incelenmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, ev tipi yüklerden oluşan ideale yakın bir şebekede PV Sistemlerin yol açtığı harmonik bozulma standartlarda belirtilen limitlerin altında kalmıştır. Ayrıca, harmonik bozulmanın; PV Sistemlerin, asıl kaynağa (transformatöre) yakın yerleştirilmesiyle azaldığı görülmüştür.*

1. Giriş

Genel olarak Dünyada PV sistemlerin kullanımı incelendiğinde, çoğunlukla şebekeye bağlı olarak kullanımın her geçen gün arttığı gözlenmektedir. PV sistemlerde üretilen gücün doğru akım ve doğru gerilimden oluşması, invertörler yardımıyla alternatif akım ve gerilime çevrilerek şebekeye bağlanması, birtakım problemlere yol açmaktadır. Bu sorunlardan birisi de harmonikler olup, sebebi de PV sistemlerde kullanılan ac / dc çeviriciler olan invertörlerdir.

Bu çalışmada; şebekeye bağlı Fotovoltaik sistemlerde bulunan dc/ac çeviriciler dolayısıyla ortaya çıkan harmonikler, gerçek verilerden yola çıkılarak simülasyon ortamında incelenmiş ve birden çok invertör için, Türkiye şartlarındaki bir elektrik dağıtım sisteminde oluşabilecek problemler, harmonikler açısından ortaya konmaya çalışılmıştır.

Konuyla ilgili olarak daha önce yapılan çalışmalardan biri Danimarka'nın Braedstrup şehrinde gerçekleştirilmiştir [5]. Harmoniklerin şebekeye etkilerini incelemek için yapılan bu çalışmada, 29 eve 60 adet (her birinin eşdeğer gücü 1 kW_p) PV panel monte edilmiştir. Bu evler panel monte edilmeyen evlerin yüzde seksenine karşılık gelmektedir. Bu bölge, 10/0,4 kV 200 kVA trafo ile beslenmekte ve toplam PV panel gücü trafonun yüzde otuzuna karşılık gelmektedir. Yapılan ölçümlemeler neticesinde, gündüz vakti gerilimde meydana gelen bozulmaların yüzde değeri 0,26 ile 0,65 arasında değişmiştir. Bu durumda PV sistemlerin aktif olduğu gündüz saatlerindeki harmonik bozulma, standartların belirttiği yüzde 5 değerinin altında kalmıştır.

Harmonikler konusunda bir diğer çalışma da IEA tarafından Rokko Test Merkezi, Kobe adası, Japonya'da 1999 yılında yapılmıştır [2]. Bu çalışmada 5 adet 2 kW_p gücünde PV panel aynı marka eş invertörlerle, 30 kVA gücündeki trafonun alçak gerilim kısmına bağlanmış, bu çalışmada sadece invertörlerin oluşturduğu harmonikleri incelemek için trafoya herhangi bir yük bağlanmamıştır. Ölçümlemeler sonucunda, harmonik akım değerlerinin beklendiği gibi arttığı fakat bu artışın lineer olmadığı gözlenmiştir.

Avustralya'da Sydney Olimpik köyünde, 2000 yılında yapılan çalışmada [4], Olimpiyat köyündeki toplam 629 evin çatısına 1 kW_p gücünde PV panel monte edilmiş, invertörler yardımıyla alçak gerilim şebekesine bağlanmıştır. Ölçümler sonucu invertörün terminallerindeki gerilim harmonikleri arttıkça invertörün ürettiği harmonik miktarının da artmakta olduğu gözlenmiştir. Yapılan testler sonucunda, bütün PV-invertör sistemleri devreye alındığında bile gerilimdeki harmonik bozulmanın IEEE 519-1992 standartlarının limit değerlerinin altında (% 1,9) kaldığı görülmüştür.

Bir diğer çalışmada, iki küçük Yunan adasında (Arki ve Antikythera) kurulu bulunan PV santrallerinin şebekeye verdiği harmonik akım ve gerilimlerin ölçümü yapılmıştır [6]. Arki ve Antikythera adalarındaki PV santraller şebekeden bağımsız olup, her biri 25 kW gücündedir. Bu çalışmada kurulan Fotovoltaik Santrallerin ve buna bağımlı olarak invertörlerin yol açtığı harmonikler incelenmiştir. Antikythera adasında ölçülen toplam gerilim harmonik bozulması %1,25 - %1,99 arasında bulunmuştur. Arki adasında ise ölçülen toplam gerilim harmonik bozulması %1,85 - %5,30 arasında değişim göstermiş olup, bazı durumlarda bozulmanın limitleri aştığı gözlemlenmiştir. Ancak genel olarak birkaç durum dışında PV santraller şebekeyi olumsuz etkilememiştir.

2. Simülasyon

Simülasyon için kullanılan Pspice programında, Şekil 1'de gösterilen sistemin tek hat şeması, elektrik devresi olarak çizilmiş ve Pspice programı yardımıyla devre analizi ve harmonik hesaplamaları gerçekleştirilmiştir.

Simülasyon için devre modellenirken, sistemde sadece ev tipi yüklerin bulunduğu bir şebeke olduğu varsayımından yola çıkılarak, dörtlü gruplar halinde yirmi adet evin 33/0.4 kV - 50 kVA gücündeki bir transformatörden monofaze olarak beslendiği kabul edilmiştir. Devrede kullanılan evler, seri R-L devresi olarak şebekeye paralel bağlanmıştır. Her bir evin yükünün birbirinin aynı olduğu varsayılmıştır. Fotovoltaik sistemin şebekeye güç basması gündüz saatlerinde olduğu için, İzmir'in Gümüldür İlçesi'nde bulunan bir evin saat 10:00'da güç analizörü yardımıyla akımı, gerilimi, aktif , reaktif ve görünür güçleri ölçülerek; elde edilen bu ölçümlerden R ve L değerleri, 128 Ω ve 243 mH olarak bulunmuştur.

Devrede kullanılan transformatör, lineer kabul edilmiştir. Transformatörün sargılarının indüktans değerlerinin bulunabilmesi amacıyla, TEDAŞ Manisa EDM'nin ambarında bulunan 33/0,4kV - 50 kVA'lık bir yağlı tip trafonun sekonder fazlarına ait sargıların indüktans değerleri bir RLCmetre ile ölçülmüştür.

Simüle edilecek devrede kullanılan invertör [1], normalize edilmiş ve Çizelge 1'de gösterilmiştir. Kullanılan invertörün toplam harmonik bozulması, %1.7 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, sistemde invertör haricinde başka bir harmonik üreten kaynak olmadığı kabul edilmiştir.

Çizelge 1 İnvertörün harmonik spektrumu ve THD değeri.

Harmonik derecesi(n)	% (In / I1)
1	100
3	1,5
5	0,6
7	0,3
9	0,4
11	0,21
13	0,2
THD	**1,7**

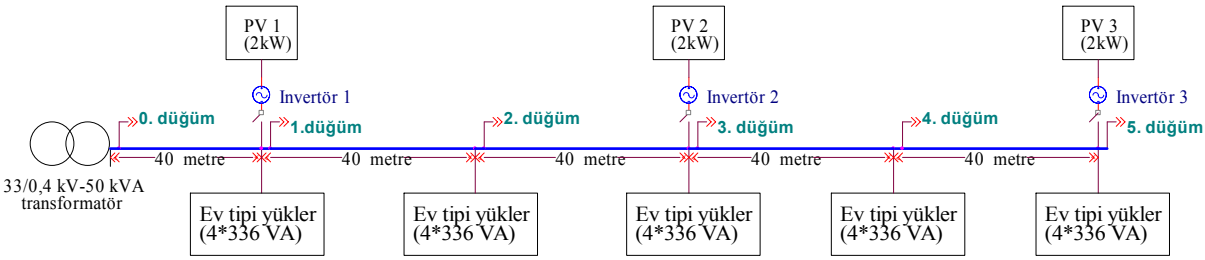
Modellenen devrede, herhangi bir ev sisteminde bulunabilecek Fotovoltaik güç, maksimum 2 kW olarak kabul edilerek, invertörün temel frekans akımı 9 A olarak hesaplanmıştır. Bu değer, Çizelge 1'deki normalize edilmiş değerleri bulunan temel frekans akımına uyarlandığında, Çizelge 2'deki sonuçlar elde edilmiştir. Bu çizelgede, simülasyon programında maksimum değerler kullanıldığından, I_n efektif akım değeri $(2)^{1/2}$ ile çarpılmıştır. Her bir harmonik derecesi için, modellemede bir akım kaynağı gösterilmiştir. Başka bir deyişle, bir invertör 7 adet akım kaynağının paralel bağlanması sonucu oluşturulmuştur.

Devrede kullanılan iletken, çıplak tel olarak havai hat alçak gerilim şebekelerinde kullanılan Rose tipi alüminyum iletken seçilmiştir. Kullanılan çıplak alüminyum iletkenin, 40 m aralıklarla ev kümelerinin besleme hattı olduğu kabul edilmiştir. Buna göre bulunan direnç (54 mΩ) ve indüktans (0,043 mH) değerleri devreye yerleştirilmiştir.

Çizelge 2 İnvertörün harmonik spektrumu (I_1= 9 A için).

Harmonik derecesi(n)	In (A)	In (A) * $\sqrt{2}$
1	9	12,72
3	0,135	0,19
5	0,054	0,076
7	0,027	0,038
9	0,036	0,05
11	0,019	0,027
13	0,018	0,025

Yukarıda sözü edilen tüm bu değerler kullanılarak, 15 adet devre simüle edilerek analizi yapılmıştır. Simülasyonda kullanılan akım ve gerilim kaynaklarının genliklerinin, maksimum değeri alınmıştır. Bütün devrelerde toplam harmonik distorsiyonu için, %5 sınır değeri olarak alınmıştır. Modellenen sisteme ait tek hat şeması Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1 Modellenen sistemin tek hat şeması.

Sistemin ilk haline (şebekeye invertör bağlı değilken) İlk Durum denildi. Daha sonra; sırasıyla, invertörün bağlandığı düğüm numarasına ve bağlanan invertör sayısına göre 1.Devre (1. düğüme bir invertör bağlı), 1-1. Devre (1. düğüme iki invertör bağlı), 3. Devre, 1-3. Devre (1. ve 3. düğümlere birer invertör bağlı), 11-55. Devre (1. ve 5. düğümlere ikişer invertör bağlı), 1-3-5. Devre gibi isimler verildi. Her bir devre için seçilen düğümlerdeki akım, gerilim, THD_V ve THD_I hesaplanarak tabloya işlendi (Çizelge 3).

3. Simülasyon Sonuçları

Harmonikler açısından devre incelediğinde, gerilimdeki harmonik bozulmaların invertör sayısı arttıkça kesin bir şekilde ve harmonik üreten kaynağa yani invertöre ve hattın uzak ucuna yakınlaştıkça daha fazla bir biçimde arttığı görülmektedir (%0.075). Ancak bu harmonik seviyeleri, kabul gören en genel şart olan %5 harmonik bozulma sınırını aşmaktan uzaktır. Bunun nedenlerinden biri, devrenin enerji kalitesi yönünden ideale yakın seçilmesi, yani sistemdeki diğer güç elemanlarının ve tüketicilerin hiçbirinin harmonik üretmediğinin kabul edilmesidir. Akım harmonikleri ise devreye bağlanan akım kaynağı şeklinde gösterilen invertörler sebebiyle, genel olarak bir artış göstermekte, fakat, harmonik bozulma sınırının altında kalmaktadır (%1.96).

Ayrıca invertör sayısı arttıkça, sistemin çekebileceğinden daha fazla akım şebekeye verilmekte böylece güç akışı tersine dönmekte ve alçak gerilim kısmından yüksek gerilim kısmına doğru bir akım akmaktadır. Bu ters akım Çizelge 3'te eksi işaretli olarak gösterilmiştir.

Sonuç olarak; simüle edilen bu sisteme Fotovoltaik güç kaynaklarının bağlanmasının harmonikler açısından, standartlar dışı bir bozucu etkisinin olmadığı söylenebilir. Ancak, konuyla ilgili olarak değişik tip ve harmonik spektrumları farklı invertörler, yükler ve sistemler için daha detaylı incelemeler yapılmadan kesin bir sonuca varmak mümkün gözükmemektedir. Bu sistemde daha önemli ve potansiyel tehlike; gerilim seviyesinin hat sonlarına doğru, sisteme giren Fotovoltaik güç kaynakları arttıkça kritik sınır olan normal gerilimin %10 üstüne çıkma olasılığıdır ve böyle bir durumun gerçekleşmesi halinde tüketiciler için ciddi olumsuzluklar doğuracağı

aşikardır. Böyle bir problemin önüne geçebilmek için, Fotovoltaik güç kaynaklarının hattın baş taraflarına, yani asıl kaynak olan transformatörlere yakın olarak yerleştirilmesi uygun bir çözüm sağlayacaktır.

Çizelge 3 Her bir devre için seçilen düğümlerdeki akım (tepe değeri), gerilim (tepe değeri), THD_V ve THD_I değerleri.

	0. Düğüm				2. Düğüm				4. Düğüm			
	V_0(V)	I_0(A)	$THDV_0$ (%)	$THDI_0$ (%)	V_2(V)	I_2(A)	$THDV_2$ (%)	$THDI_2$ (%)	V_4(V)	I_4(A)	$THDV_4$ (%)	$THDI_4$ (%)
İlk Durum	326.280	43.108	0	0	322.145	25.766	0	0	319.856	8.572	0	0
1. Devre	326.280	32.830	0.0009	1.211	322.817	25.820	0.006	0	320.524	8.590	0.010	0
1-1. Devre	326.280	24.646	0.0014	1.186	323.490	25.874	0.007	0	321.192	8.608	0.008	0
3. Devre	326.280	32.949	0.0009	1.212	323.485	16.132	0.006	1.164	321.865	8.626	0.009	0
3-3. Devre	326.280	24.834	0.0014	1.180	324.826	14.068	0.015	1.667	323.875	8.680	0.022	0
5. Devre	326.280	32.999	0.0009	1.212	323.479	16.177	0.006	1.163	322.536	-6.886	0.013	1.961
5-5. Devre	326.280	24.914	0.0014	1.178	324.814	14.075	0.015	1.657	325.217	-18.125	0.032	1.838
1-3. Devre	326.280	24.740	0.0014	1.183	324.158	16.176	0.011	1.163	322.534	8.644	0.013	0
11-33. Devre	326.280	-26.326	0.0025	1.860	326.174	14.071	0.026	1.658	325.214	8.716	0.033	0
1-5. Devre	326.280	24.780	0.0014	1.182	324.152	16.222	0.010	1.162	323.205	-6.877	0.017	1.960
11-55. Devre	326.280	-26.298	0.0025	1.857	326.161	14.079	0.026	1.647	326.557	-18.092	0.043	1.838
3-5. Devre	326.280	24.874	0.0014	1.179	324.820	14.071	0.015	1.662	324.546	-6.859	0.027	1.958
33-55. Devre	326.280	-26.234	0.0025	1.847	327.498	-30.698	0.037	1.852	329.244	-18.029	0.064	1.838
1-3-5. Devre	326.280	22.694	0.0019	1.504	325.494	14.073	0.021	1.657	325.216	-6.849	0.033	1.957
11-33-55. Devre	326.280	-43.924	0.0036	1.937	328.847	-30.616	0.048	1.852	330.584	-17.996	0.075	1.838

4. Sonuç ve Öneriler

Çizelge 3'e bakıldığında; invertörler, hat sonuna doğru bağlandığında, diğer durumlara göre daha fazla bir harmonik bozulma, özellikle gerilim harmonikleri açısından, yaşanmaktadır. Bu problemin önüne geçebilmek için, PV sistemlerin hat başına yakın olarak tesis edilmesi uygun olacaktır.

Devreye bağlanan invertör sayısı arttıkça, özellikle hat sonlarında gerilim normal seviyesinin üstüne çıkmış ve bu durumun, invertör sayısı daha da arttırıldığı zaman problemlere (yalıtımı zorlaması gibi) yol açacağı gözlenebilir. Bu durumun, PV sistemlerin hat sonlarında daha yoğun olduğu şartlarda daha da kötüleştiği 5-5. devreden kolaylıkla görülebilir. Bu yüzden, sistemin iyileştirilmesi adına, Fotovoltaik sistemlerin hat başlarına yani trafoya yakın monte edilmesi çözüm olacaktır.

Simülasyonu yapılan devrede kullanılan invertörün kaliteli olup olmadığı, sistemde meydana gelen harmoniklerin miktarını direk olarak etkilemektedir. Örneğin, daha önce harmonikler açısından incelenmiş invertörlerden biriyle [3], aynı devre üzerinde aynı simülasyon yapıldığında, akım harmonik bozulmalarının %7 ile %16 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Bu sonuçlar, sistemde kullanılan invertörlerin harmonik bozulma değeri bakımından dikkatle seçilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, şebekeye bağlı PV sistemlerin olduğu bir dağıtım bölgesinde, standartlardaki harmonik bozulma sınır değerlerini geçsin veya geçmesin, harmonik filtreleme yapılabilir. Bu tip sistemlerde, şebekeye her zaman için yeni yükler ve kaynaklar girip çıkabileceği için, aktif filtreleme metodunun kullanılması uygun bir çözüm olacaktır.

Kaynaklar

[1]. Cyganski, D., Orr, J.A., Chakravorti, A.K. ve Emanuel, A.E., "Current and Voltage Harmonic Measurements And Modeling At The Gardner Photovoltaic Project", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, s.800-809, 1989.

[2]. Kitamura, A., "Demonstration Test Results For Grid Interconnected Photovoltaic Power Systems", Report IEA PVPS(International Energy Agency Implementing Agreement on Photovoltaic Power Systems) T5-02, s.17-27, 1999.

[3]. Perincek, O., Fotovoltaik Güç Sistemleri Elektrik Şebekesine Bağlandığında Oluşan Anomaliler, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İzmir, Türkiye, 2003.

[4]. Vasanasong, E. ve Spooner, E.D., "The Effect Of Harmonic Currents Produced By Numbers Of The Sydney Olympic Village's PV Systems On The Power Quality Of Local Electrical Network", IEEE Transactions on Power Delivery, 07803-6338-8, s.1001-1006, 2000.

[5]. Verhoeven, B., "Utility Aspects Of Grid Connected Photovoltaic Power Systems", Report IEA PVPS (International Energy Agency Implementing Agreement on Photovoltaic Power Systems) T5-01, s.12-23, 1998.

[6]. Vokas, G.A. ve Machias, A.V., "Harmonic Voltages And Currents On Two Greek Islands With Photovoltaic Stations : Study And Field Measurements", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.10, No.2, s.302-306, 1995.