

# Bir Fazlı Şebeke Etkileşimli Eviricide LCL Filtre Parametre Değerlerinin ve Seri Sönümleme Direnç Değerinin Değişim Etkisi

## Change Effect of LCL Filter Parameter Values and Series Damping Resistor Value in Single Phase Grid Connected Inverter

Akif Karafil 

<sup>1</sup>Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi  
Yalova Üniversitesi, Yalova, Türkiye  
akif.karafil@yalova.edu.tr

### Öz

Bu çalışmada bir fazlı şebeke etkileşimli eviricinin LCL filtre parametreleri hesap edilmiştir. Hesap edilen LCL filtre parametrelerinin ve seri sönümleme direncinin %50 artması ve azalması durumunda şebeke akımının toplam harmonik bozulma (THD) ve kayıp güç değerlerinin değişimi analiz edilerek en uygun değerler belirlenmiştir. Analiz çalışmaları PSIM benzetim programı kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma 1 kW gücünde olup akım kontrolünde oransal rezonans (PR) kontrol, PLL algoritmasında ise T/4 gecikmeli PLL yapısı kullanılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bobin değerlerinin artırılması akımın THD değerini ve kayıp güç miktarını düşürdüğü belirlenmiştir. Sönümleme direnç değerinin düşürülmesi de yine THD ve kayıp güç değerlerini düşürmektedir. LCL filtre tasarımında bobin değerlerinin artırılması, seri sönümleme direnç değerinin ise düşürülmesinin uygun olacağı görülmüştür. Anahtar kelimeler: LCL filtre, bir fazlı şebeke etkileşimli evirici, PR akım kontrolü.

### Abstract

In this study, LCL filter parameters of a single phase grid connected inverter were calculated. The change of total harmonic distortion (THD) of the grid current and power loss values when the calculated LCL filter parameters and series damping resistor were increased and decreased by 50% was analyzed and the most appropriate values were determined. Analysis studies were carried out using the PSIM simulation program. The study had a power of 1 kW and proportional resonant (PR) control was used in current control and T/4 delay PLL structure was used in PLL algorithm. According to the results of the analysis, it was determined that increasing the inductor values decreased the THD value of the current and the amount of power loss. In addition, decreasing the damping resistor value also decreased THD and power loss values. In LCL filter design, it was seen that it would be appropriate to increase the inductor values and to decrease the series damping resistor value. Keywords: LCL filter, single phase grid connected inverter, PR current control.

### 1. Giriş

Günümüzde elektrik enerjisi üretiminde ana kaynak olarak kullanılan fosil yakıtların azalması ve yakın zamanda tükeneyeceğinin bilinmesi, çevre kirliliğine neden olmaları ve ekosisteme vermiş oldukları zararlar nedeniyle yeni enerji kaynaklarına yönelik araştırmalar önem kazanmıştır. Dünyanın artan enerji ihtiyacının temiz, ekonomik ve güvenli bir biçimde karşılanabilmesi için biyokütle, jeotermal, rüzgâr ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgi giderek artmıştır [1, 2]. Yükü besleyen şebeke bağlantılı yenilenebilir enerji sistemlerinde üretilen enerji miktarının tüketilen enerji miktarından fazla olduğu durumlarda fazla olan enerji sistemde yer alan çift yönlü sayaç ile ölçülerek şebekeye aktarılır. Bu durum yenilenebilir enerji sistemlerinin amorti sürelerini kısaltmaktadır. Aynı zamanda yenilenebilir enerji sistemlerinin yetersiz kaldığı veya enerjinin sağlanamadığı durumlarda yüklerin ihtiyaç duyduğu enerji şebekeden sağlanır [3-5].

Şebeke etkileşimli eviriciler, devre girişine uygulanan doğru gerilimi anahtarlama devresi ile anahtarlama yaparak alternatif gerilime çevirmekle birlikte şebeke geriliminin frekansı ve genliği ile senkronize olarak çalışmaktadır. Bir şebeke etkileşimli eviriciden beklenen en önemli özellik şebekeye aktaracağı akımın saf sinüs şeklinde olması ve akım harmoniklerinin yönetmeliklerde belirtilen sınırlar dâhilinde olmasıdır. IEEE1547 ve IEC61727 gibi uluslararası standartlarda, akımın maksimum toplam harmonik bozulma (THD) değerinin %5'i geçmemesi gerektiği belirtilmiştir [6, 7]. Bu yüzden istenilen THD değerinin elde edilebilmesi için anahtarlama devresinin çıkışında bir filtre kullanılması gerekir. Evirici filtre tipleri; L filtre, LC filtre, LCL filtre ve LLCL filtre olmak üzere dörde ayrılır. L ve LC tipi filtrelerle kıyaslandığında LCL tipi filtrelerde boyut daha küçük ve maliyet daha düşüktür. Ayrıca bu filtre tipi ile şebekeye aktarılan akımın sinüs formunda olması sağlanarak istenilen THD değeri elde edilebilir. LCL tipi filtrenin LLCL tipi filtreye kıyasla en önemli avantajı ise sistemin kararlı hal durumunda kalabilmesidir. Bütün bu avantajları nedeniyle LCL tipi filtre şebeke etkileşimli evirici tasarımlarında sıklıkla kullanılan bir filtre tipidir [8-10].

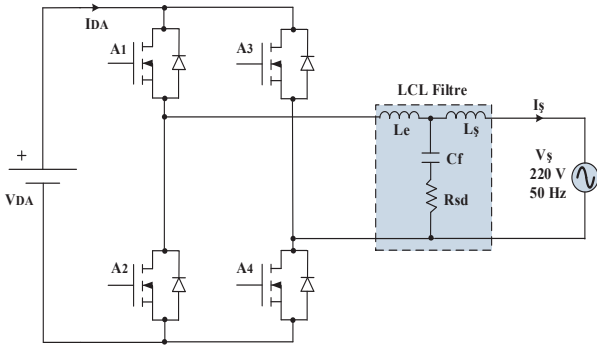
Şebeke etkileşimli eviricilerde şebekeye aktarılan akımın dalga şekli ve fazı önemli olduğu için kontrol yöntemi olarak

genellikle akım kontrolü kullanılır. Akım kontrolünde en çok kullanılan denetleyiciler arasında lineer denetleyiciler bulunmaktadır. Lineer denetleyicilerin dinamik tepkileri iyi olup sistem içerisinde bir zaman geciktirmesi oluşturmazlar. Bu denetleyiciler arasında yer alan oransal rezonans (PR) denetleyici ise sıfır kararlı durum hatasının kontrol ünitesinin dinamiklerini etkilemeden elde edilebilmesi amacıyla şebeke etkileşimli eviricilerin akım kontrolünde en sık tercih edilen denetleyicilerden biridir [11-13].

Bu çalışmada, 1 kW gücünde PR akım kontrollü bir fazlı şebeke etkileşimli eviricinin LCL filtre parametre değerleri ve seri sönümlenme direnç değeri hesaplanmıştır. Hesaplanan LCL filtre parametre ve sönümlenme direnç değerlerinin  $\pm$  %50 değişmesi durumunda sistemde meydana gelen değişiklikler PSIM benzetim programında analiz edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en uygun parametre değerlerinin ve sönümlenme direnç değerinin hangisinin olacağı belirlenmiştir.

## 2. LCL Filtre Parametre Değerlerinin Hesabı

LCL filtreli bir fazlı şebeke etkileşimli evirici devresi Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1: LCL filtreli bir fazlı evirici devresi.

LCL filtre parametre değerlerinin ve seri sönümlenme direnç değerinin hesaplanabilmesi için evirici devresine ait değişkenlerin değerlerinin belirlenmesi gerekir. Tablo 1'de evirici devresinin değişkenlerine ait değerler verilmiştir.

Tablo 1: Evirici devresinin değişkenleri

| Değişken                         | Değeri |
|----------------------------------|--------|
| Şebekenin RMS Gerilimi ( $V_s$ ) | 220 V  |
| Eviricinin Gücü ( $P_o$ )        | 1 kW   |
| Giriş Gerilimi ( $V_{DA}$ )      | 400 V  |
| Şebeke Frekansı ( $f_s$ )        | 50 Hz  |
| Anahtarlama Frekansı ( $f_a$ )   | 10 kHz |

Evirici tarafındaki bobinin endüktans ( $L_e$ ) değeri aşağıdaki denklemler yardımıyla bulunur.

$$\Delta i_{L-\max} = a \frac{P_o \sqrt{2}}{V_s} \quad (1)$$

$$L_e = \frac{V_{DA}}{16 f_a \Delta i_{L-\max}} \quad (2)$$

Denklem (1)'de "a" akımın dalgalanma oran miktarıdır. LCL filtrenin kapasitör değeri aşağıdaki denklem ile hesaplanır.

$$C_f \leq \frac{\%5 P_o}{2 \pi f_s V_s^2} \quad (3)$$

LCL filtrede şebeke tarafındaki bobinin endüktans ( $L_s$ ) değeri hesaplanırken şebeke ile evirici bobinleri arasındaki "r" katsayısından yararlanılır. Bu katsayı değeri  $0 < r \leq 1$  aralığındadır.  $L_s$ , Denklem (4) ile bulunur.

$$L_s = L_e r \quad (4)$$

Denklemler yardımıyla  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F ve  $L_s = 2,6$  mH olarak hesaplanmıştır. Şebeke akımındaki osilasyonların engellenebilmesi için filtre kapasitörüne seri bir sönümlenme direnci ( $R_{sd}$ ) ilave edilir. Bu seri sönümlenme direncinin değeri aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır.

$$R_{sd} = \frac{1}{3 \omega_{rez} C_f} \quad (5)$$

Denklem (5) teki rezonans frekansının açısal hızı ( $\omega_{rez}$ ) ise Denklem (6) ile bulunur.

$$\omega_{rez} = \sqrt{\frac{L_e + L_s}{L_e L_s C_f}} \quad (6)$$

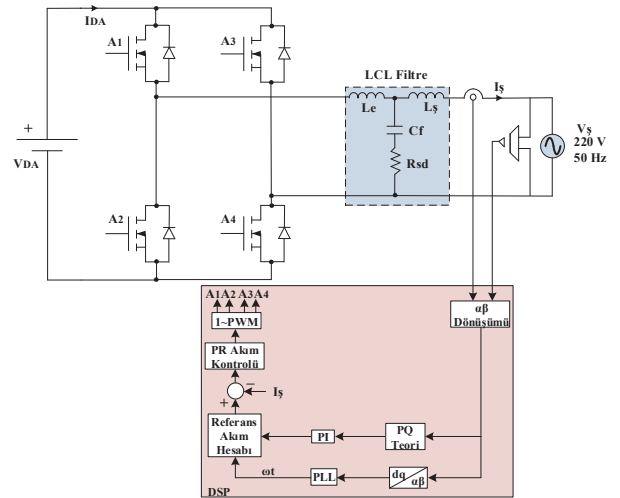
Ayrıca rezonans frekans ( $f_{rez}$ ) değeri, Denklem (7)'deki frekans aralıklarında yer almalıdır [14, 15].

$$10 f_s \leq f_{rez} \leq \frac{1}{2} f_a \quad (7)$$

Denklem (5) ve (6) kullanılarak devrenin sönümlenme direnç değeri  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  olarak bulunmuştur.

## 3. PR Akım Kontrolü ve PLL Algoritması

LCL filtreli PR akım kontrollü bir fazlı şebeke etkileşimli eviricinin kontrol blok şeması Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2: Sistemin kontrol blok şeması.

Şebekeye bağlı sistemlerde çoğunlukla oransal integral (PI) ile PR akım kontrol yöntemleri kullanılmaktadır. Her iki

yöntemde birbirine benzer olup birçok ortak noktaları bulunmaktadır. PR kontrol yönteminde integral, rezonans frekansına yakın frekans değerlerinde işlem yapar. Ayrıca PR denetleyici, PI denetleyicinin bilinen iki önemli dezavantajını ortadan kaldırarak sinüzoidal referanslı sıfır kararlı durum hatasının takip edilmesini ve parazitlerin engellenmesini sağlar.

Sistemde harmonik bileşenlerinin azaltılabilmesi için ideal olmayan PR akım kontrol yöntemi kullanılmış olup Denklem (8)'de formülü verilmiştir.

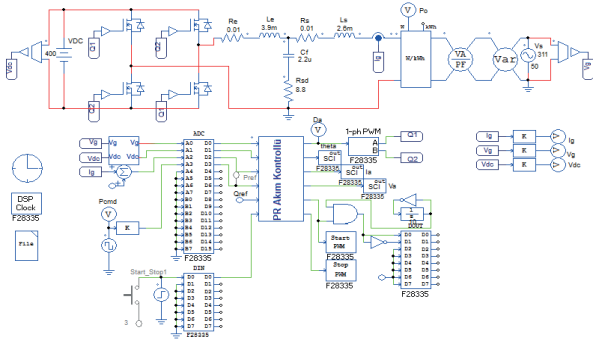
$$G_{pr}(s) = K_p + \frac{2K_i\omega_c s}{s^2 + 2\omega_c s + \omega_s^2} \quad (8)$$

Burada,  $\omega_s$  şebekenin açısal frekansı,  $K_p$  ve  $K_i$  değerleri ise sırasıyla oransal ve integral kazanç değerleridir.  $\omega_c$  ise kesim açısal frekansdır [15, 16].

Şebeke etkileşimli eviricilerde şebeke frekansının kontrolü için faz kilitleme döngü (PLL) algoritmasının kullanılması gerekir. Çalışmada T/4 gecikmeli PLL algoritması kullanılmıştır. Öncelikle bir faz, T/4 gecikme yapılarak sabit  $\alpha\beta$  eksen takımına dönüştürülmüştür. Sabit  $\alpha\beta$  eksen takımı da Park dönüşümü ile  $dq$  eksen takımına dönüştürülerek PLL algoritmasında kullanılmıştır. PLL algoritmasından elde edilen  $\omega t$  akım hesabında kullanılmış olup PR akım kontrolünden geçirilerek anahtar sinyalleri elde edilmiştir [15].

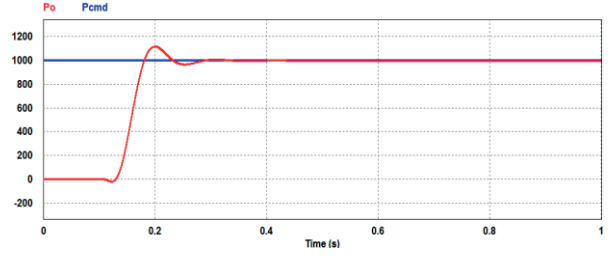
#### 4. Benzetim Sonuçları

LCL filtreli bir fazlı şebeke etkileşimli eviricinin PSIM benzetim programındaki ekran görüntüsü Şekil 3'te gösterilmiştir.



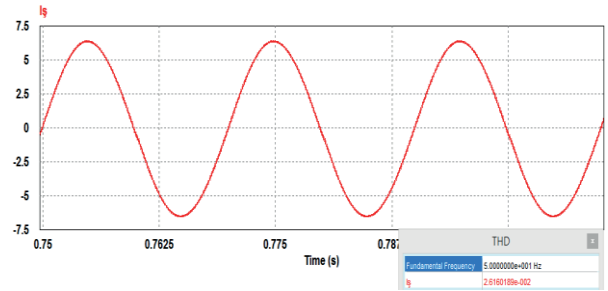
Şekil 3: PSIM benzetim programındaki ekran görüntüsü.

Sistemde öncelikle hesaplanan değerlere göre şebeke akımının THD değeri ve sönümleme direncinin neden olduğu kayıp belirlenmiştir. Daha sonra hesaplanan her bir değer in sırasıyla  $\pm 50\%$  değişmesi durumunda elde edilen THD değeri ve seri sönümleme direncinin oluşturduğu kayıp miktarı bulunarak sistem için uygun parametre değerleri belirlenmiştir. Çalışmada parametre değişimi, Denklem (7) dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Sistemde evirici çıkış gücüne ( $P_o$ ) ait benzetim sonucu Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4: Evirici çıkış gücü.

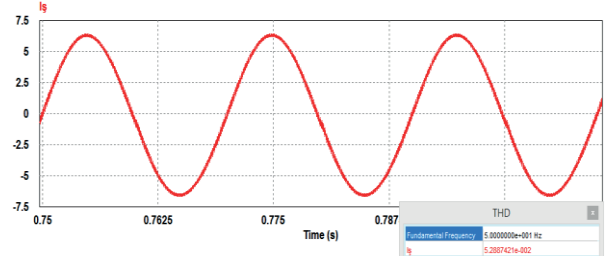
Denklemler yardımıyla hesaplanan  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F,  $L_s = 2,6$  mH ve  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 5'te gösterilmiştir.



Şekil 5: Hesaplanan değerlere göre şebeke akımı.

Şebeke akımının THD değeri  $\%2,61$  olup sönümleme direnci üzerindeki kayıp 13,32 W olarak hesaplanmıştır.

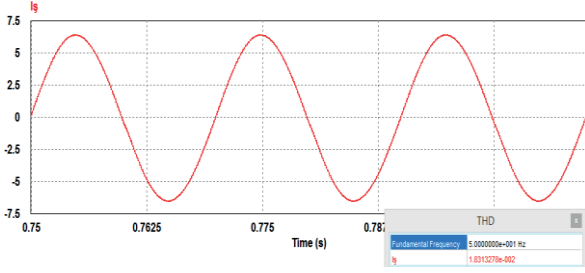
$L_e$  değerinin  $\%50$  düşürülmesi durumunda  $L_e = 1,95$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F,  $L_s = 2,6$  mH ve  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6:  $L_e = 1,95$  mH değerinde iken şebeke akımı.

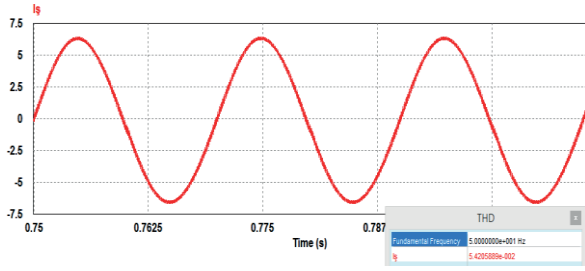
$L_e$  değeri  $\%50$  düşürüldüğünde şebeke akımının THD değeri  $\%5,28$  bulunmuştur. Bu değer uluslararası standartların belirlemiş olduğu değerden ( $\leq 5\%$ ) yüksektir. Sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 51,11 W olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan kayıp güç miktarı da oldukça yüksektir.

$L_e$  değerinin  $\%50$  artırılması durumunda  $L_e = 5,85$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F,  $L_s = 2,6$  mH ve  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 7'de gösterilmiştir.



Şekil 7:  $L_e = 5,85$  mH değerinde iken şebeke akımı.

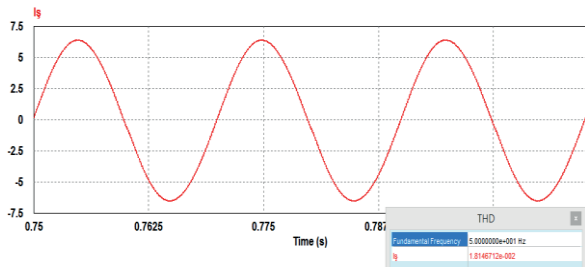
$L_e$  değeri %50 arttırıldığında şebeke akımının THD değeri %1,83 olarak bulunmuştur. Sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 4,95 W olarak hesaplanmıştır. Benzetim sonuçlarına göre  $L_e$  değerinin azaltılması THD değerini arttırırken aynı zamanda sönümleme direncinin neden olduğu kayıp miktarını da oldukça yükseltmiştir. Elde edilen sonuçlara göre LCL filtre çalışmalarında  $L_e$  değerinin arttırılması ile daha iyi sonuçlar elde edileceği ortaya çıkmaktadır.  $L_s$  değerinin %50 düşürülmesi durumunda  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F,  $L_s = 1,3$  mH ve  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 8:  $L_s = 1,3$  mH değerinde iken şebeke akımı.

$L_s$  değeri %50 düşürüldüğünde şebeke akımının THD değeri %5,42 bulunmuştur. Bu değer uluslararası standartların belirlemiş olduğu değerden ( $\leq$  %5) yüksektir. Sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 12,25 W olarak hesaplanmıştır.

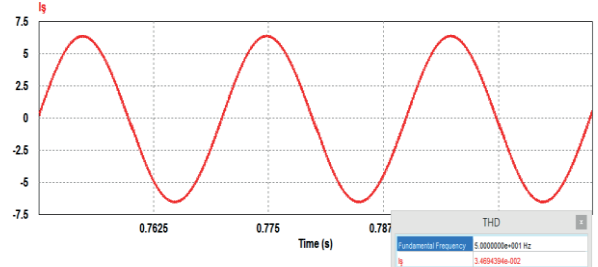
$L_s$  değerinin %50 arttırılması durumunda  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F,  $L_s = 3,9$  mH ve  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 9’da gösterilmiştir.



Şekil 9:  $L_s = 3,9$  mH değerinde iken şebeke akımı.

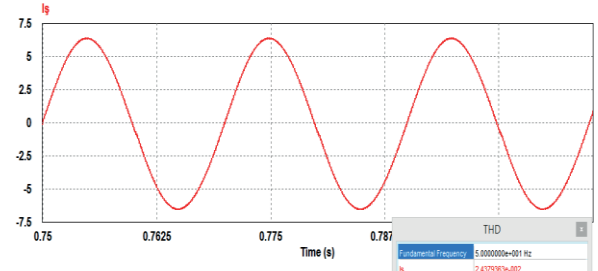
$L_s$  değeri %50 arttırıldığında şebeke akımının THD değeri %1,81 olarak bulunmuştur. Sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 11,43 W olarak hesaplanmıştır. Benzetim sonuçlarına göre  $L_s$  değerinin artması veya azalması kayıp güç miktarını fazla etkilememiştir. Fakat  $L_s$  değerinin azaltılması THD değerini arttırmıştır. Bu durumda THD

değerinin azaltılması isteniyorsa LCL filtre tasarımında  $L_s$  değerinin arttırılmasının uygun olacağı görülmektedir.  $C_f$  değerinin %50 düşürülmesi durumunda  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 1,1$   $\mu$ F,  $L_s = 2,6$  mH ve  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 10’da verilmiştir.



Şekil 10:  $C_f = 1,1$   $\mu$ F değerinde iken şebeke akımı.

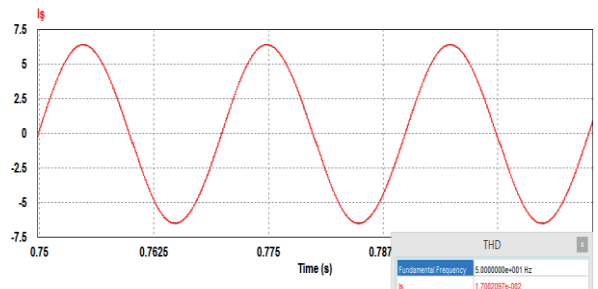
$C_f$  değeri %50 düşürüldüğünde şebeke akımının THD değeri %3,46 olarak bulunmuştur. Sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 13,32 W olarak hesaplanmıştır.  $C_f$  değerinin %50 arttırılması durumunda  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 3,3$   $\mu$ F,  $L_s = 2,6$  mH ve  $R_{sd} = 8,8$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 11’de gösterilmiştir.



Şekil 11:  $C_f = 3,3$   $\mu$ F değerinde iken şebeke akımı.

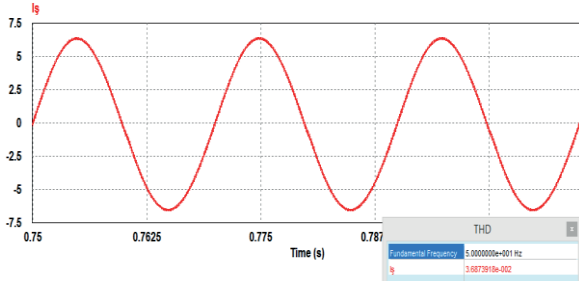
$C_f$  değeri %50 arttırıldığında şebeke akımının THD değeri %2,43 olarak bulunmuştur. Seri sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 10,84 W olarak hesaplanmıştır. Benzetim sonuçlarına göre  $C_f$  değerinin artması veya azalması seri sönümleme direncinin neden olduğu kaybı çok fazla değiştirmemiştir. Aynı zamanda şebeke akımının THD değeri de uluslararası standartların belirlemiş olduğu sınır değerinin altındadır. Yani, bu durumda akımın THD değeri de büyük oranda değişmemiştir.

$R_{sd}$  değerinin %50 düşürülmesi durumunda  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F,  $L_s = 2,6$  mH ve  $R_{sd} = 4,4$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 12’de verilmiştir.



Şekil 12:  $R_{sd} = 4,4$   $\Omega$  değerinde iken şebeke akımı.

$R_{sd}$  değeri %50 düşürüldüğünde şebeke akımının THD değeri %1,7 olarak bulunmuştur. Sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 5,61 W olarak hesaplanmıştır.  $R_{sd}$  değerinin %50 artırılması durumunda  $L_e = 3,9$  mH,  $C_f = 2,2$   $\mu$ F,  $L_s = 2,6$  mH ve  $R_{sd} = 13,2$   $\Omega$  değerlerine göre şebeke akımının dalga şekli Şekil 13'te gösterilmiştir.



Şekil 13:  $R_{sd} = 13,2$   $\Omega$  değerinde iken şebeke akımı.

$R_{sd}$  değeri %50 arttırıldığında şebeke akımının THD değeri %3,68 olarak bulunmuştur. Sönümleme direncinin neden olduğu kayıp ise 16,85 W olarak hesaplanmıştır. Benzetim sonuçlarına göre  $R_{sd}$  değerinin azaltılması hem kayıp güç miktarının hem de akımın THD değerinin önemli ölçüde azalmasını sağlamıştır. Bu durumda sönümleme direncinin neden olduğu kayıp güç miktarının ve şebeke akımının THD değerinin azaltılması isteniyorsa LCL filtre tasarımında  $R_{sd}$  değerinin azaltılmasının uygun olacağı görülmektedir. Benzetim sonuçlarından elde edilen değerler Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: Benzetim sonuçları

| LCL Filtre Parametreleri                                                      | THD          | Güç Kaybı      |
|-------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------|
| $L_e = 3,9$ mH, $C_f = 2,2$ $\mu$ F, $L_s = 2,6$ mH, $R_{sd} = 8,8$ $\Omega$  | %2,61        | 13,32 W        |
| $L_e = 1,95$ mH, $C_f = 2,2$ $\mu$ F, $L_s = 2,6$ mH, $R_{sd} = 8,8$ $\Omega$ | <b>%5,28</b> | <b>51,11 W</b> |
| $L_e = 5,85$ mH, $C_f = 2,2$ $\mu$ F, $L_s = 2,6$ mH, $R_{sd} = 8,8$ $\Omega$ | <b>%1,83</b> | <b>4,95 W</b>  |
| $L_e = 3,9$ mH, $C_f = 2,2$ $\mu$ F, $L_s = 1,3$ mH, $R_{sd} = 8,8$ $\Omega$  | <b>%5,42</b> | 12,25 W        |
| $L_e = 3,9$ mH, $C_f = 2,2$ $\mu$ F, $L_s = 3,9$ mH, $R_{sd} = 8,8$ $\Omega$  | <b>%1,81</b> | 11,43 W        |
| $L_e = 3,9$ mH, $C_f = 1,1$ $\mu$ F, $L_s = 2,6$ mH, $R_{sd} = 8,8$ $\Omega$  | %3,46        | 13,32 W        |
| $L_e = 3,9$ mH, $C_f = 3,3$ $\mu$ F, $L_s = 2,6$ mH, $R_{sd} = 8,8$ $\Omega$  | %2,43        | 10,84 W        |
| $L_e = 3,9$ mH, $C_f = 2,2$ $\mu$ F, $L_s = 2,6$ mH, $R_{sd} = 4,4$ $\Omega$  | <b>%1,7</b>  | <b>5,61 W</b>  |
| $L_e = 3,9$ mH, $C_f = 2,2$ $\mu$ F, $L_s = 2,6$ mH, $R_{sd} = 13,2$ $\Omega$ | %3,68        | 16,85 W        |

## 5. Sonuçlar

Bu çalışmada 1 kW gücündeki bir fazlı şebeke etkileşimli eviricinin LCL filtre parametre değerleri ve seri sönümleme direnç değeri hesap edilerek bu değerlerin  $\pm$  %50 değişmesi durumunda sistemde meydana gelen değişiklikler PSIM benzetim programında analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre hesap edilen seri sönümleme direnci  $R_{sd}$  nin düşürülmesi

hem şebeke akımının THD değerini hem de sönümleme direncinin neden olduğu kayıp güç miktarını düşürmüştür. Evirici tarafındaki  $L_e$  bobininin değerinin arttırılması yine hem şebeke akımının THD değerini hem de sönümleme direncinin neden olduğu kayıp güç miktarını düşürmüştür.  $L_e$  bobininin değerinin azaltılması ise hem şebeke akımının THD değerini hem de sönümleme direncinin neden olduğu kayıp güç miktarını önemli ölçüde arttırmıştır. Şebeke tarafındaki  $L_s$  bobin değerinin azaltılması ise akımın THD değerinin uluslararası standartların belirlemiş olduğu sınır değeri olan %5'i aşmasına neden olmuştur. Elde edilen sonuçlara göre LCL filtre tasarımında hesap edilen parametre değerlerinden  $L_e$  ve  $L_s$  bobin değerlerinin arttırılması ile hem THD değerinin hem de kayıp güç miktarının azalacağı görülmüştür. Seri sönümleme direncinin ise düşük değerde tutulmasının uygun olacağı belirlenmiştir.

## Kaynaklar

- [1] Karafil, A., Özbay, H., "Design of Stand-Alone PV System on a Farm House in Bilecik City, Turkey", *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 5, (3), pp. 909-916, 2018.
- [2] Al-Shetwi, A. Q., Hannan, M. A., Jern, K. P., et al., "Grid-Connected Renewable Energy Sources: Review of the Recent Integration Requirements and Control Methods", *Journal of Cleaner Production*, 253, pp. 119831, 2020.
- [3] Karafil, A., Ozbay, H., Oncu, S., "Design and Analysis of Single Phase Grid Tied Inverter with PDM MPPT Controlled Converter", *IEEE Transactions on Power Electronics*, 35, (5), pp. 4756-4766, 2020.
- [4] Kabalcı, E., "Review on Novel Single-Phase Grid-Connected Solar Inverters: Circuits and Control Methods", *Solar Energy*, 198, pp. 247-274, 2020.
- [5] Jana, J., Saha, H., Bhattacharya, K. D., "A Review of Inverter Topologies for Single-Phase Grid-Connected Photovoltaic Systems", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp. 1256-1270, 2017.
- [6] Sefa, I., Altın, N., "Grid Interactive Photovoltaic Inverters-A Review", *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 24, (3), pp. 409-424, 2009.
- [7] Hassaine, L., Bengourina, M. R., "Control Technique for Single Phase Inverter Photovoltaic System Connected to the Grid", *Energy Reports*, 6, pp. 200-208, 2020.
- [8] Büyük, M., Tan, A., Tümay, M., et al., "Topologies, Generalized Designs, Passive and Active Damping Methods of Switching Ripple Filters for Voltage Source Inverter: A Comprehensive Review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 62, pp. 46-69, 2016.
- [9] Mahlooji, M. H., Mohammadi, H. R., Rahimi, M., "A Review on Modeling and Control of Grid-Connected Photovoltaic Inverters with LCL Filter", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81, pp. 563-578, 2018.
- [10] Bighash, E. Z., Sadeghzadeh, S. M., Ebrahimzadeh, E., et al., "Robust MPC-Based Current Controller against Grid Impedance Variations for Single-Phase Grid-Connected Inverters", *ISA Transactions*, 84, pp. 154-163, 2019.
- [11] Chatterjee, A., Mohanty, K. B., "Current Control Strategies for Single Phase Grid Integrated Inverters for

- Photovoltaic Applications-A Review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 92, pp. 554-569, 2018.
- [12] Zeb, K., Uddin, W., Khan, M. A., *et al.*, "A Comprehensive Review on Inverter Topologies and Control Strategies for Grid Connected Photovoltaic System", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 94, pp. 1120-1141, 2018.
- [13] Bighash, E. Z., Sadeghzadeh, S. M., Ebrahimzadeh, E., *et al.*, "High Quality Model Predictive Control for Single Phase Grid-Connected Photovoltaic Inverters", *Electric Power Systems Research*, 158, pp. 115-125, 2018.
- [14] Karafil, A., Özbay, H., Öncü, S., "Bir Fazlı Şebeke Etkileşimli Evirici Tasarımı için LCL Filtre Analizi", *International Conference on Data Science and Applications (ICONDATA)*, 2018, pp. 560-574.
- [15] Karafil, A., "Pasif Seri Sönümleme Direncinin LCL Filtreli Bir Fazlı Şebeke Etkileşimli Evirici Üzerine Etkisi", *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, <http://doi:10.5505/pajes.2020.99896>, 2020.
- [16] Athari, H., Niroomand, M., Ataei, M., "Review and Classification of Control Systems in Grid-Tied Inverters", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 72, pp. 1167-1176, 2017.

## Akif KARAFİL



Akif Karafil, 1983 Bursa doğumludur. 2007 yılında Marmara Üniversitesi Elektrik Eğitimi Bölümünden lisans derecesini, 2011 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü'nden yüksek lisans derecesini, 2018 yılında Karabük Üniversitesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünden doktora derecesini aldı. 2008-2011 yılları arasında Giresun Üniversitesi'nde, 2011-2020 yılları arasında ise Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi'nde Öğretim Görevlisi olarak görev yaptı. 2020 yılından itibaren Yalova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümünde öğretim üyesi olarak görev yapmaktadır. Çalışma alanları güç elektroniği, rezonans dönüştürücüler, indüksiyon ısıtma sistemleri, şebeke etkileşimli eviriciler, maksimum güç noktası izleme algoritmaları, pals yoğunluk modülasyonu kontrolü, elektrikli araçlar ve fotovoltaik sistem uygulamaları üzerinedir.