

YENİLENEBİLİR ENERJİ KAYNAKLARI, YÖNETMELİKLER VE BAĞLANTI ŞARTLARI

Prof. Dr. İsmail Kaşıkçı
kasikci@hochschule-bc.de

Özet

Yenilenebilir enerji kaynaklarının (rüzgar ve güneş gibi) planlanması, kurulması, işletilmesi ve ulusal dağıtım sistemine bağlantı koşullarının incelenmesi ve hesapların yapılması gerekir. Üretim birimi birli veya çoklu generatörden oluşur. Senkron veya asenkron generatörler tarafından elde edilen enerji çeviriciler tarafından şebekeye verilir. Bu sistemlerin dağıtım şebekesine tepkileri oldukça fazladır. Bu bildiride sistemin bağlantı koşulları incelenecek, Avrupa'da kullanılan Yönetmelikler hakkında bilgi ve son bölümde bir örnek verilecektir.

Kısa devre akımı (I_k''): IEC 60909-0 a göre hesaplanan başlangıç kısa devre akımıdır.



1. TANIMLAR

Yönetmeliklerde verilen en önemli tanımları tekrarlayalım [1,2] (Şekil 1).

Yenilenebilir enerji kaynakları: Hidrolik, rüzgâr, güneş, jeotermal, biyokütle, biyokütleden elde edilen gaz (çöpgaz dahil), dalga, akıntı enerjisi ve gel-git gibi fosil olmayan enerji kaynaklarıdır.

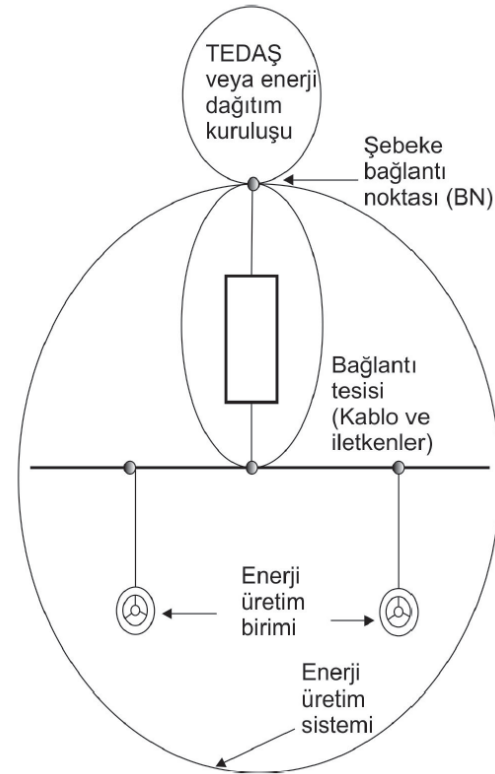
Mikro kojenerasyon tesisi: Elektrik Enerjisine dayalı toplam kurulu gücü 50 kWe ve altında olan tesistir.

Kojenerasyon tesisi: Isı ve elektrik ve /veya mekanik enerjinin eş zamanlı olarak üretildiği tesistir.

Bağlantı noktası: Kojenerasyon tesisin dağıtım sistemine, transformatör yada girdi-çıkı yapılan en yakın noktadır.

Bağlantı ekipmanı: Üretim sisteminin dağıtım sistemine bağlantısı için kullanılan koruma ve kumanda sistemlerinin tümüdür.

Kısa devre gücü ($S_k'' - S_{kV} - S_{kN}$): Bağlantı noktasında verilen veya hesaplanan değerdir.



Şekil 1: Bağlantı tanımı

2. KISA DEVRE GÜCÜ

2.1 Genel

Bağlantı noktasında tüm şebeke tepkileri incelenmelidir. Hesaplamanın temelini bağlantı noktasında ortaya çıkan en az kısa devre gücü S_{kV} ile şebekenin empedansı oluşturur. Bu bölümde IEC 60909-0 da belirtilen kısa devre hesapları basit bir şekilde verilecektir. Şebeke tepkileri için bu hesaplar yeterlidir. Şebeke bağlantı noktasındaki kısa devre gücünü, şebeke verileri ve empedans ile bulabiliriz.

$$S_{kV} = \frac{U_V^2}{Z_{kV}} \quad (1)$$

Burada

S_{kV} Bağlantı noktasındaki kısa devre gücü kVA olarak.

U_V Bağlantı noktasındaki gerilim V olarak.

Z_{kV} Bağlantı noktasında empedans Ω olarak.

2.2 Empedans hesabı

YG şebekesinin empedansı:

YG şebekesinin empedansı bilinen kısa devre gücünden hesaplanır.

$$Z_N = \frac{U_{0N}^2}{Z_{k0N}} \quad (2)$$

$R_{0N} \approx 0$ ve $X_{0N} \approx Z_N$ alınır.

Aksi takdirde R ve X komponentleri şebekenin empedans açısından hesaplanabilir.

$$R_{0N} = Z_N \cdot \cos(\Psi_N) \text{ ve } X_{0N} = Z_N \cdot \sin(\Psi_N) \quad (3)$$

Şebekenin empedans açısı

$$\tan(\Psi_N) = \frac{R_{0N}}{X_{0N}} \text{ alınır.}$$

Burada:

S_{kN} Bağlantı noktasındaki YG ön kısa devre gücü MVA olarak.

U_{0N} Bağlantı noktasındaki gerilim kV olarak.

Z_N Bağlantı noktasında empedans Ω olarak.

2.3 Transformator empedansı

Yükte kademe değiştiricili olan veya olmayan iki sargılı transformatorün pozitif bileşen kısa devre empedansları beyan transformator verilerinden hesaplanabilir.

$$R_T = \frac{u_{Rr} \cdot U_{rT}^2}{100\% S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3 I_{rT}^2} \quad (4)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \text{ veya}$$

$$X_T = \frac{u_{Xr} \cdot U_{rT}^2}{100\% S_{rT}} \quad (5)$$

(75)

$$Z_T = \frac{u_{kr} \cdot U_{rT}^2}{100\% S_{rT}}$$

Burada:

R_T, X_T Transformatorün omik ve endüktif Direnci Ω olarak

Z_T Transformator empedansı Ω olarak

u_{Xr} Kısa devre geriliminin yüzde beyan endüktif bileřeni,

u_{kr} Beyan akımda yüzde kısa devre gerilimi,

u_{Rr} Kısa devre geriliminin yüzde beyan rezistif bileřeni.

2.4 Kablo ve iletken empedansı

Kablo ve iletkenlerin Ohmik ve endüktif değerleri biliniyorsa pozitif sistemde kısa devre empedansı iletken verilerinden, Çizelgelerden ve iletkenler arasındaki minimum mesafelerden hesaplanır. Hattın veya iletkenin kısa devre empedansı:

$$\underline{Z} = R_L + jX_L \quad (6)$$

IEC 60909-0 a göre başka ortam sıcaklığı dikkate alınmalıdır.

Omik direnç:

$$R_L = R'_L \cdot l \quad (7)$$

Endüktif direnç:

$$X_L = X'_L \cdot l \quad (8)$$

İletkenlerin sıfır direnci:

$$R_{0L} = \text{Çizelge değeri} \cdot R_L \quad (9)$$

$$X_{0L} = \text{Çizelge değeri} \cdot X_L$$

Kablo ve iletkenlerde, hava hatlarında iletken sıcaklığı 20°C de kabul edilerek iletken aktif direnci R'_L aşağıdaki formül ile hesaplanır:

$$R'_L = \frac{l}{\kappa S} \quad (10)$$

20°C den başka ortam sıcaklığı hesaplanmak istenirse:

$$R_X = R_{20} \cdot [1 + \alpha \cdot \Delta \theta] \quad (11)$$

Hava hatlarında birim uzunluğa gör reaktans X'_L aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

Tek telli hatlar:

$$X'_L = \omega \cdot L = \omega \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{d}{r_e} + \frac{1}{4n} \right) \quad (12)$$

Çift telli hatlar:

$$X'_L = \omega \cdot L = \omega \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\ln \frac{d \cdot d'}{r_e \cdot d''} + \frac{1}{4n} \right)$$

d değerleri:

$$d = \sqrt[3]{d_{L1L2} \cdot d_{L2L3} \cdot d_{L3L1}}$$

$$d' = \sqrt[3]{d'_{L1L2} \cdot d'_{L2L3} \cdot d'_{L3L1}}$$

$$d'' = \sqrt[3]{d''_{L1L2} \cdot d''_{L2L3} \cdot d''_{L3L1}}$$

$$r_e = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot r_T^{n-1}}$$

Burada.

R_K, X_K	Kablonun Omik ve endüktif direnci Ω olarak
S	İletken kesiti mm ² olarak
d	İletkenler arasındaki ortalama mesafe mm olarak
r	İletken çapı mm olarak
κ	İletken geçirgenlik değeri m/ Ω mm ²
R'_L	20°C'de iletken direnci
r_e	Hattın yedek çapı
μ_0	$4\pi 10^{-4}$ Vs/(Am)
n	İletim hattı sayısı
r	İletken çapı
R	Yedek çap
a_T	İki hat arasındaki mesafe

3. TEKNİK ŞARTLAR

Avrupa'da rüzgar santralleri bağlantı şartları ilk defa 21.07.2004 tarihinde yayınlandı. Daha sonra şebeke işletmelerinde ortaya çıkan sorunlardan dolayı şebeke işletmecileri ve

üretim firmaları ile birlikte üç dağıtım sistemi ele alınmış ve Normlar yayınlanmıştır.

1. Yüksek gerilim üretim tesisleri
2. Orta gerilim üretim tesisleri ve
3. Alçak gerilim üretim tesisleri

Yönetmeliklerdeki genel verileri şöyle sıralayabiliriz:

- Üretim tesisinin gücü
- Şebekenin termik yüklenmesi
- Koruma konsepti ve ayar değerleri
- Maksimum ve minimum kısa devre gücü
- Paralel bağlama şartları
- Harmonik ve fliker değerler
- Yıldız noktası topraklaması
- En fazla ve en küçük sürekli işletme gerilimi
- Kısa süreli aşırı ve alçak gerilim süresi ve büyüklüğü
- Reaktif gücün değişim şekli
- Ölçme ve Enformasyon tekniği üzerine bilgiler

4. CİHAZ TASARIMI

Enerji üretim tesisleri (rüzgar, PV gibi) işletme şartlarından dolayı kablo ve iletkenleri, transformatörleri ve diğer cihazları olumsuz etkiler. Burada yükleme derecesi 1 olarak alınır. Termik yük için en fazla görünen güç hesaplanır.

$$S_{B \max} = \frac{\sum P_{E \max}}{\lambda} \quad (13)$$

Normal durumlarda λ yerine $\cos \phi$ yazılır.

$$S_{B \max} = \frac{\sum P_{E \max}}{\cos \phi} \quad (14)$$

Rüzgar santrallerinde aktif güç 600 saniye üzerinden yapılan ölçümlere göre hesaplanır.

$$S_{B \max-600} = \frac{\sum P_{nG \cdot p600}}{\lambda} \quad (15)$$

Burada:

- $S_{B \max}$ En fazla görünen güç kVA olarak
- $P_{E \max}$ Üretim birimi gücü kVA olarak

5. GERİLİM DALGALANMASI

Orta gerilimde çalışan bir enerji üretim tesisinde hatasız bir işletmede gerilim dalgalanması şebekenin hiç bir bağlantı noktasında $\Delta u_a \leq \%3$ değerini geçemez.

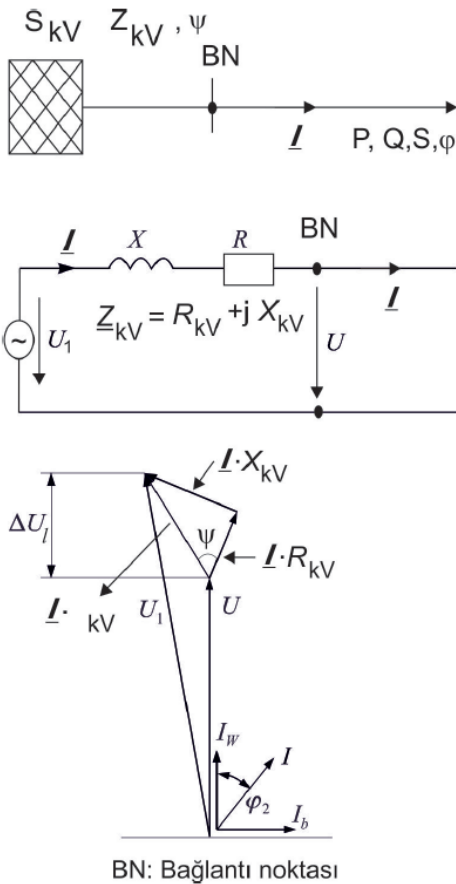
5. ŞEBEKE TEPKİLERİ

5.1 Hızlı gerilim değişimleri

Üç dakikadan az ve bir sefer olmak şartıyla çok hızlı açılıp kapanan generatör birimlerinde, eğer gerilim değişimleri % 2 den az ise şebekede tepki oluşmaz. Birden fazla enerji üretim birimlerinde bu değer

$\Delta u_a \leq \%5$ i geçmemelidir.

Şebeke hesaplarında en önemli veriler Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2: Şebeke verileri

5.2 Uzun süreli fliker

Flikerden dolayı ortaya çıkan gerilim dalgalanmaları bir bağlantı noktasında

$P_{lt} \leq 0,46$ değerini geçmemelidir. Uzun süreli flikerin gücü, fliker katsayısı ile hesaplanabilir.

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \quad (16)$$

Burada

S_{rE} Enerji üreten birimin görünen gücü,
c Fliker katsayısı,
 S_{kV} Bağlantı noktasında kısa devre gücü.

Birden fazla enerji üretim biriminin bulunduğu sistemlerde uzun süreli fliker aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$P_{lt} = \sqrt{\sum_i P_{lti}^2} \quad (17)$$

Aynı yapım değerlerine sahip birden fazla n enerji üretim sisteminde ortalama fliker

$$P_{lt} = \sqrt{n} \cdot P_{ltE} = \sqrt{n} \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \quad (18)$$

olarak alınır.

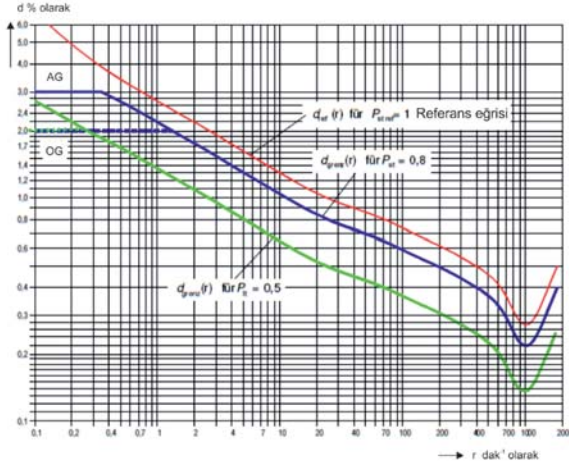
Fliker, ışık yoğunluğunun zamana bağlı olarak değişimi ve göz tarafından subjektif olarak algılanmasıdır. Fliker ölçen cihazlar ile 0,005 Hz ile 35 Hz arasında ve 60 W bir lambanın gözde ve beyinde yaptığı etki simule edilerek ölçülür. Işığın değişmesi belli süreli bir tekrardan sonra (r) insanları rahatsız etmeye başlar (Şekil 3).



Şekil 3: Fliker açıklaması

5.3 Harmonikler ve EMC

Yapılan çalışmalarda fliker gücünün $P_{lt} > 1$ fazla olduğu durumlarda ışık dalgalanmaları %50 den fazla insanda rahatsız edici olarak algılanmıştır (Şekil 4).



Şekil 4: Fliker açıklaması

Müsaade edilen harmonik akımlar (ms) bağlantı noktasındaki kısa devre gücü ile çarpılarak bulunur.

$$I_{vms} = i_{vms} \cdot S_{kV} \quad (19)$$

Eğer birden fazla enerji üreten sistemler OG şebekesine bağlanmış ise, müsaade edilen harmonik akımlar bağlantı gücünün planlanan toplam besleme gücüne oranına bölümü ile bulunur.

$$I_{vms} = I_{vms} \cdot \frac{S_B}{S_{Toplam}} = i_{vms} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_B}{S_{Toplam}} \quad (20)$$

6. AG ŞEBEKE ÖZELLİKLERİ

AG elektrik şebekesine bağlantı şartlarını incelemek için aşağıdaki özelliklerin bilinmesi gerekir.

- OG tarafından bağlantı noktasında var olan kısa devre gücü veya
- OG kablo ve iletkenlerinin uzunluğu, tipi ve kesiti.
- AG dağıtım transformatörün verileri.
- AG dağıtım sistemindeki kablo ve iletkenlerin uzunluğu, tipi ve kesiti.
- AG dağıtım şebekesindeki güçlerin değeri.

6.1 İşletme cihazının tasarımı

İşletme cihazının tasarımı için 10 dakikalık ölçme süresine göre elde edilen güç ile hesapların yapılması önerilir.

$$S_{Bmax-10dak} = S_{nG} \cdot p10 = S_{nG} \cdot \frac{p10}{\lambda} \quad (21)$$

Gerilim yükselmesi $\Delta u_a \leq \% 2$ den az olmalıdır.

Not: Standartlarda gerilim yükselmesinin $\% 3$ olması beklenmektedir. Pratikte

$$k_{kl} = \frac{S_{kV}}{\sum S_{Bnmax}} \geq 50 \text{ alınır.}$$

En doğru sonucu almak için:

$$\Delta u_a = \frac{S_{Bmax} \cdot \cos \varphi \cdot (\Psi_{kV} + \varphi)}{S_{kV}} \quad (22)$$

formülü kullanılır.

6.2 Kısa devre tepkisi

Enerji üretim tesislerinin şebekeye bağlanması ile bağlantı noktasındaki kısa devre gücü yükselir. Buda tesisde kurulan cihazları olumsuz etkiler. Elde herhangi bir veri yok ise:

- Senkron generatörler için $8 \cdot I_{rG}$.
 - Asenkron generatörler için $6 \cdot I_{rG}$.
 - Çevirici ile tahsis edilmiş generatörlerde $1 \cdot I_{rG}$.
- değerleri alınır.

6.3 Hızlı gerilim dalgalanması

Enerji üretim tesisi EN 61000-3-3 de belirtilen şartlara uygun olmalıdır. Eğer bu veriler bilinmiyor ise açma-kapama olaylarında $\Delta u_a \leq \% 3$ veya şebekenin kısa devre gücüne görede gerilim dalgalanması hesaplanabilir.

$$\Delta u_{max} = k_{i max} \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \quad (23)$$

$k_{i max}$ en fazla şalt akım faktörü olarak tanımlanır ve $k_{i max} = \frac{I_a}{I_{rG}}$ ile hesaplanır.

6.4 Uzun süreli fliker

Sistem daima EN 610000-3-3 Standartına uygun olmalıdır. Aksi takdirde tek bir sistemin uzun süreli fliker arıza faktörü

$$A_{fl} \leq 0,1 \text{ veya uzun süreli fliker gücü } P_{fl} \leq 0,46$$

değerlerine uygun olmalıdır. Hesaplamak için:

$$A_{fl} = (c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}})^3 \text{ veya } P_{fl} = c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \quad (24)$$

formülleri kullanılır.

6.5 Harmonikler

Müsaade edilen harmonik değerler aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} v_3 &\rightarrow i_v = 4 \\ v_5 &\rightarrow i_v = 2,54 \\ v_7 &\rightarrow i_v = 2 \end{aligned} \quad (25)$$

6.6 Simetrik olmayan şebeke

Simetrik olmayan şebekelerde her bir dış ana iletekene ancak 4,6 kVA güç tesis edilebilir.

7. DİĞER BAĞLANTI ŞARTLARI

30 kVA den fazla yüklerde daima bir ayırıcı tesis edilmelidir. $U \leq \%80 \rightarrow U_n$ ve $U \geq \%115 U_n$ olduğunda 200 ms içinde sistem daima devre dışı kalmalıdır.

Çeviricilerde %10 fazla yüklenmeye müsaade edilir. Eğer bir empedans kontrolü yapılıyorsa, empedans değerleri arasındaki fark $1 \geq \Omega$ 'a ayarlanmalıdır.

7.1 Senkron generatörlerin devreye alınması

Senkron generatörlerin devreye alınması için aşağıdaki şartlar yerine getirilmelidir.

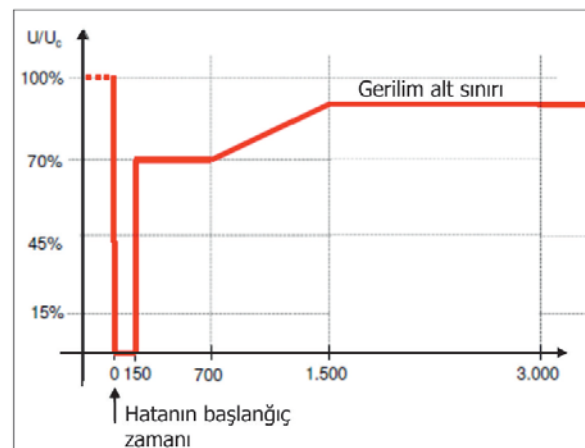
- Gerilim farkı: $\Delta U \pm \%10. U_n$.
- Frekans farkı: $\Delta f \pm 0,5. U_n$.
- Faz açısı farkı: $\Delta \phi \pm \%10$.

7.2 Birimin sisteme etkileri

Enerji üretim sistemleri şebekeye enerji verirken gerilimin aynı seviyede kalmasına katkı sağlamalıdır. Bu seviye tutulmasına statik ve dinamik destek denir. Statik destek normal işletme durumunda olur ve şebekede yavaş değişen gerilim salınımlarının kabul edilebilir sınırlar içinde kalması sağlanır. Dinamik destek yüksek ve çok yüksek gerilim seviyelerinde gerilimin düşmesi veya çökmesi ile olur ve güçlü beslemelerin aniden kesilmesi için aşağıdaki önlemler alınır.

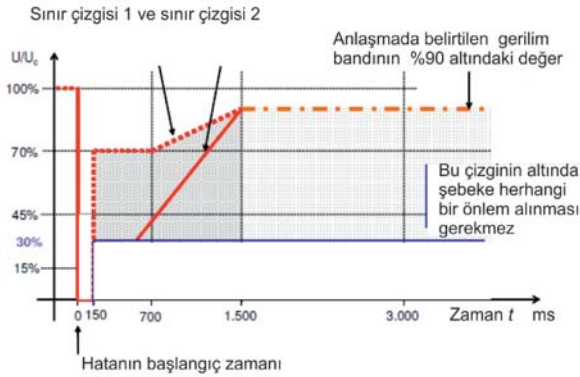
1. Şebekede ortaya çıkan hatalarda sistemden kopmaz ve ayrılmaz.
2. Hata esnasında gerilimi, reaktif güç besler.
3. Hata bertaraf edildikten sonra, hata öncesi kadar reaktif güç almaz.

İletim kodunda (Transmission Code 2007) belirtildiğine göre Tip 1 ve tip 2 generatörleri arasında ayırım yapılır. Tip 1 de generatör direk olarak transformatör üzerinden şebekeye bağlanmıştır. Tip 2 diğer tüm generatörlerdir. Şekil 5'de Tip 1 generatörlerin gerilim eğrisi verilmiştir. Çizginin üzerindeki hatalarda sistem devrede kalır.



Şekil 5: Birinci tip generatörlerin gerilim eğrisi

Şekil 6 da Tip 2 generatörlerin gerilim eğrisi verilmiştir. 150 ms yeye kadar sistem şebeken ayrılmaz. Gerilim sınırı 1 şebekeyi kararsız bir duruma getirmemelidir veya sistem şebekeden ayrılmamalıdır. Gerilim sınırı 2 de kısa süreli devreden ayrılmaya müsaade edilir. Bu durumda sistem 2 s içinde tekrar şebeke ile senkron çalışmaya başlamalıdır.



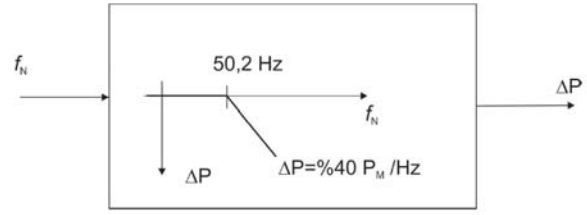
Şekil 6: İkinci tip generatörlerin gerilim eğrisi

8. ŞEBEKEYA AKTİF GÜÇ VERİLMESİ

Enerji üretim sistemleri daha az bir aktif gücü şebekeye verebilir. Aşağıdaki şartlarda şebeke işletici sistemi sınırlandırabilir veya tamamen şebekeden çıkartabilir.

- Güvenli bir sistem için tehlike oluştuğunda,
- Şebeke işleticide fazla yüklenmeden dolayı tehlike oluştuğunda,
- Ada şebekeler oluştuğunda,
- Statik ve dinamik şebeke desteği tehlikeye girdiğinde,
- Frekansın yükselmesinde.

Tüm enerji üretim sistemleri işletmede 50,2 Hz frekansdan %40 bir düşüş eğrisi ile bir Hz mertebinde gücü düşürülebilir. Aktif gücün, frekansın tekrar $f \leq 50,05$ Hz e geri döndüğünde yükseltilmesi gerekir (Şekil 7).



Şekil 7: Frekans yükselmesinde aktif gücün düşmesi

Projelendirmede aşağıdaki şartlar dikkate alınmalıdır.

$47,5 \text{ Hz} \leq f_N \leq 50,2 \text{ Hz}$ frekansları arasında bir sınırlama yoktur.

$f_N \leq 47,5 \text{ Hz}$ ve $f_N \leq 51,5 \text{ Hz}$ frekansları arasında sistem şebekeden ayrılmalıdır.

Ayrıca güç faktörü için, bağlantı noktasında $\cos \phi = 0,95$ değeri için alt ve üst ikaz olmalıdır.

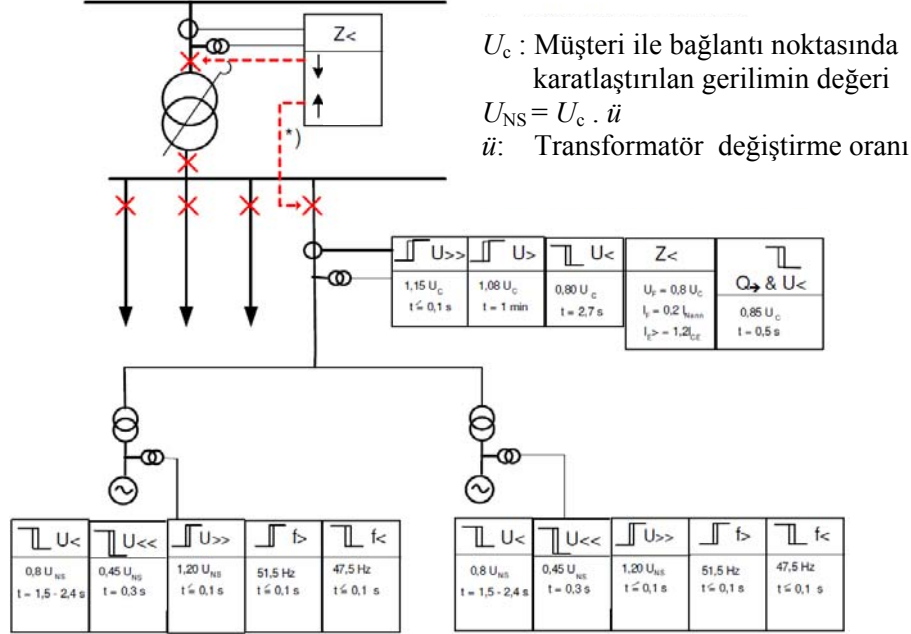
KAYNAKÇA

1. BDEW Bağlantı şartları
2. İsmail Kaşıkçı, ders notları

9. ÖRNEK TESİSLER

Bu bölümde konular ile ilgili iki örnek verilecektir.

Örnek 1: Bağlantı şeması ve sistem koruması



Örnek 2: NEPLAN ile 12x2000kVA RES hesaplaması

