

V. Enerji Verimliliği Günleri

18-19 Ocak 2019

**Yaşar Üniversitesi
Konferans Salonu**



ENERJİ SİSTEMLERİNDE GÜÇ ELEKTRONİĞİNİN YÜKSELEN ÖNEMİ VE SON GELİŞMELER

Doç. Dr. Mutlu BOZTEPE

Ege Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi,
Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

İçerik

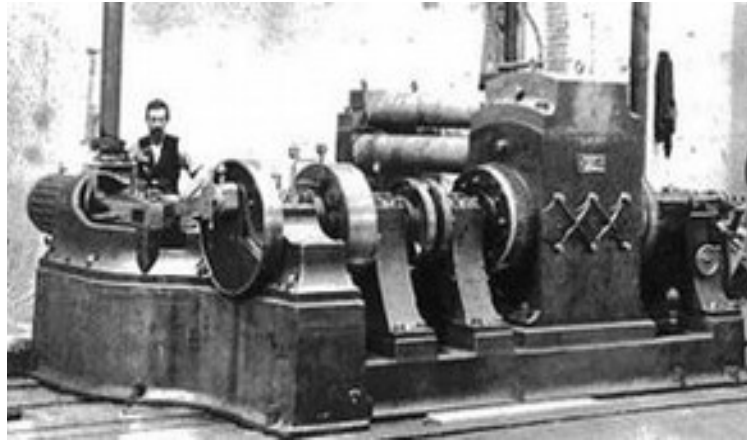
- DC ve AC elektrik şebekeleri
- Günümüzdeki elektrik şebekesi
- Mikroşebekeler (Microgrids)
- Şebekelerde güç elektroniğinin önemi
- Güç elektroniği uygulamalarına örnekler
- Sonuç ve değerlendirme

DC elektrik şebekesi

- Edison'un önderliğini yaptığı elektrik şebekesidir.
- Akkor lambalar (aydınlatma) ve doğru akım motorlarını (tramvaylar, asansörler vb.) doğrudan çalıştırabilme özelliği vardı.
- Ancak gerilim seviyesi yüke uygun olması gerektiği için düşüktü.
- Düşük gerilimde güç arttıkça ve mesafe uzadıkça kayıp çok artığından küçük güçler ve lokal uygulamalar için uygundu.

Pearl Street Station, New York, 1882

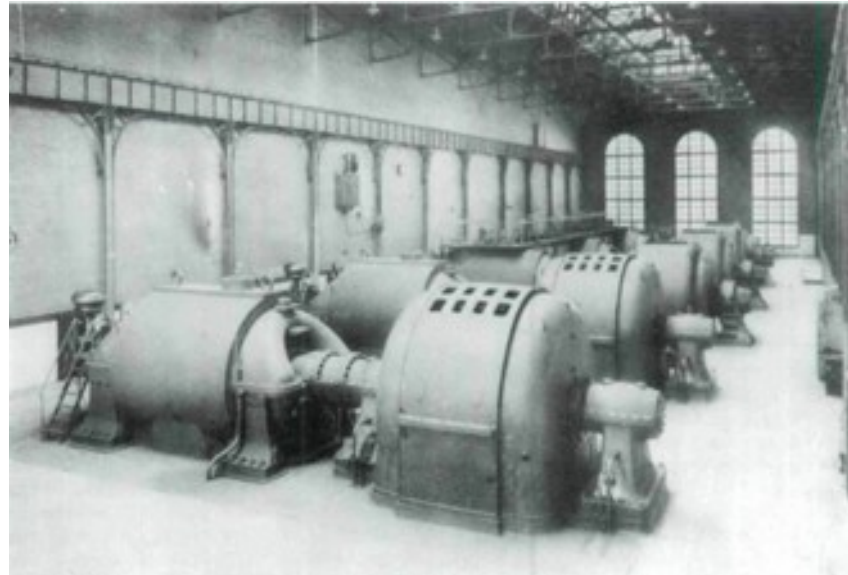
*Elektrik üretim santralinin
ilk endüstriyel örneğidir.
27 ton ağırlığında,
100kW gücünde,
1200 lambayı besliyordu.
Gaz aydınlatmaya göre
daha ucuz ve konforluydu.*



AC elektrik şebekesi

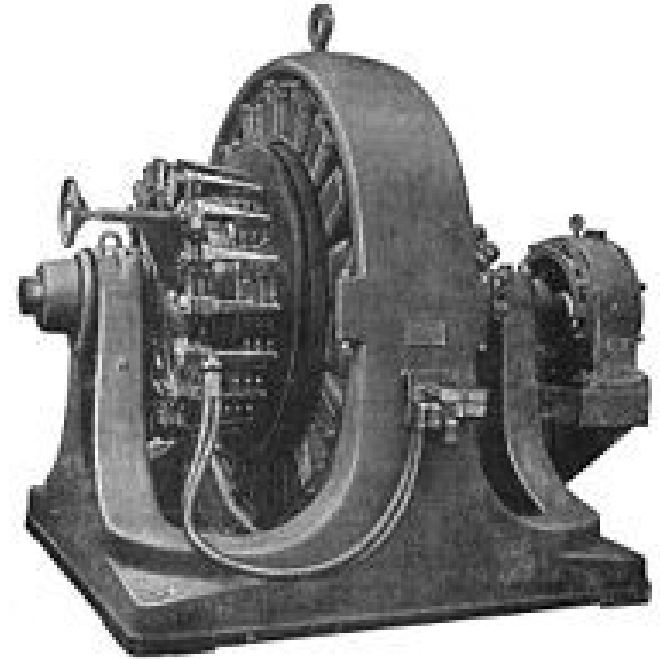
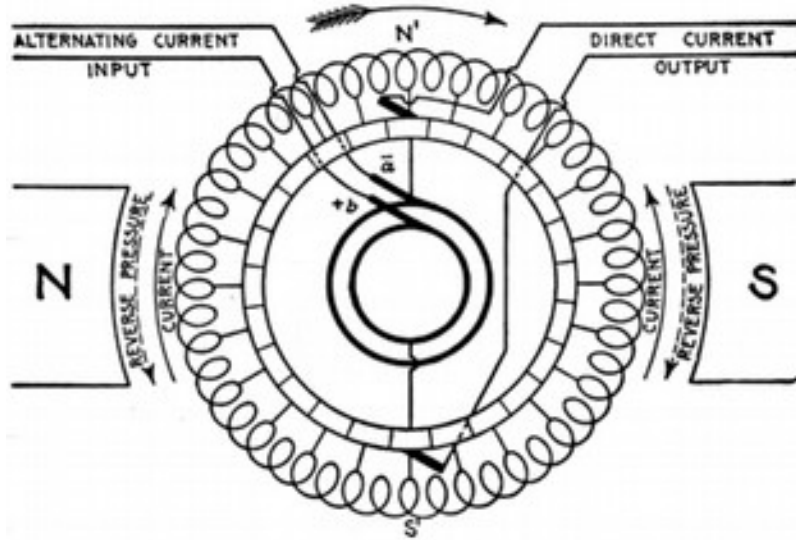
- Senkron jeneratör ile sabit frekansta AC gerilim üretilebilmektedir.
- Üretilen AC gerilim transformatörler ile yükseltilerek uzak mesafelere az bir kayıpla iletilebilmektedir.
- Böylece santraller şehir merkezinin dışında kurulmaya başlandı ve böylece daha yüksek güçlere ulaşıldı (~1 milyon akkor lamba)
- Ancak DC motorları doğrudan çalıştıramıyordu!
- Bu yüzden AC'yi DC'ye dönüştüren cihazlara ihtiyaç vardı.

***Steem turbo-generators, 1907
Long island Railways,
N.Y. , Washington, ABD.***



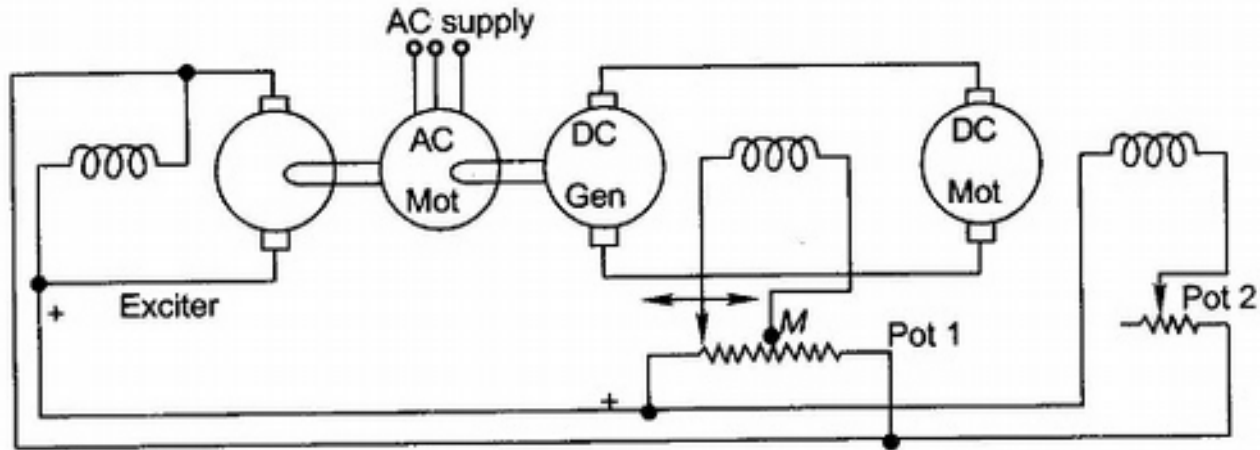
Rotary Converter

- AC akımı DC akıma çeviren elektro-mekanik bir doğrultucu cihazdır.
- Bir "motor + dinamo" kombinasyonununundan daha az yer kaplar çünkü gücün bir bölümü girişten çıkışa doğrudan ulaşmaktadır.
- Günümüzde diyotlar ve köprü doğrultucular onun yerini almıştır.



Ward-Leonard Kontrolü

- DC motorların AC akımla çalışabilmesi için Ward-Leonard sürücü sistemleri geliştirildi.
- Bu sistemde bir asenkron motor AC gerilim ile sabit hızda döndürülür ve bu motorun miline bağlı bir dinamo ile DC gerilim üretilir.
- Elde edilen ayarlı DC gerilim bir DC motoru çalıştırır.
- Dinamo çıkış gerilimi uyarım akımı (exciter) ile ayarlanarak devir kontrol yapılır.



(a) Ward-Leonard speed control system

Su gücünün kullanımı

- AC akım ve transformatörler ile elektriğin uzun mesafelerde taşınması mümkün olunca, şehir merkezinden çok uzakta olan madenlerin, nehirlerin ve barajların enerji potansiyelleri de kullanılmaya başlanmıştır.
- Böylece hidroelektrik santraller ve yüksek güçlü termik santraller ekonomik hale gelmiştir.

*Niagara Falls historic power plant:
38 MVA, 11 kV, 3-phase generators
1888, New York*

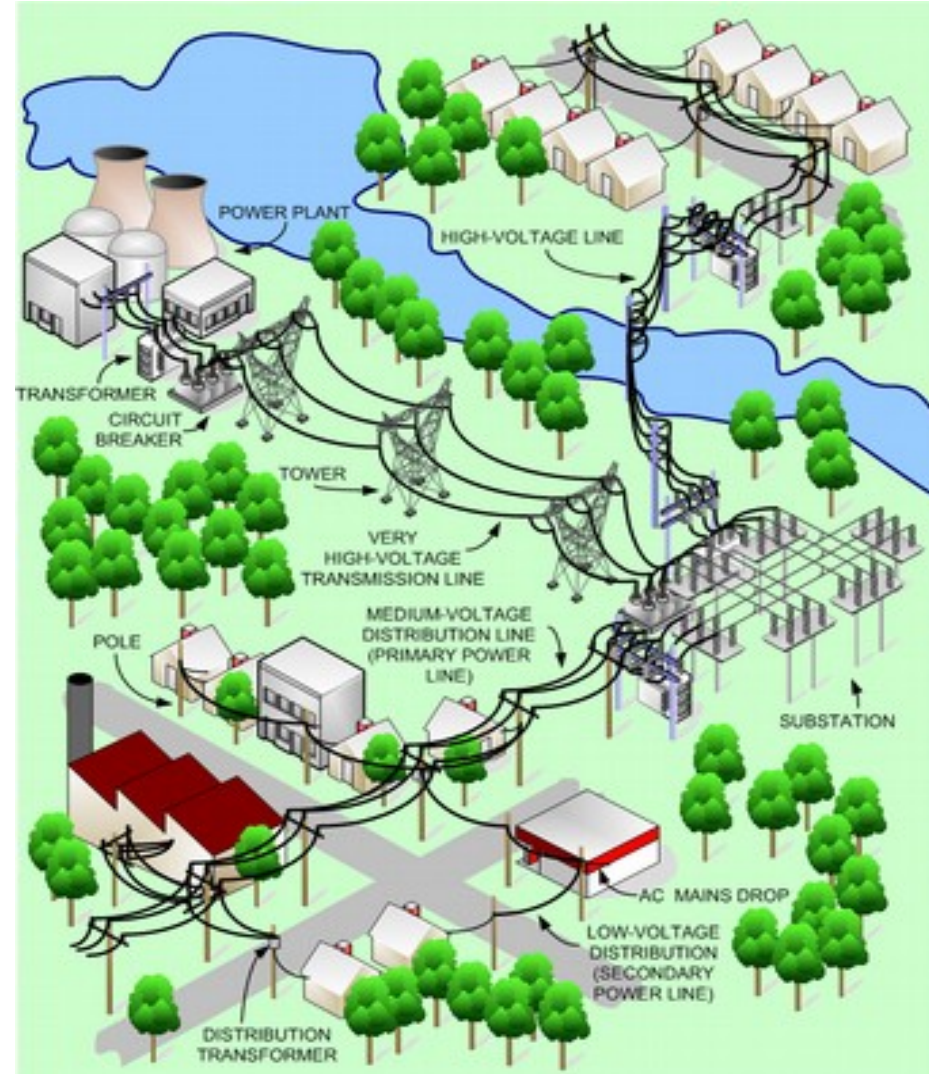


FIG. 41-10 VIEW OF THE TURBINE ROOM, LOOKING SOUTH FROM THE VISITORS' GALLERY.

<http://spiff.rit.edu/classes/phys213/lectures/niagara/niagara.html>

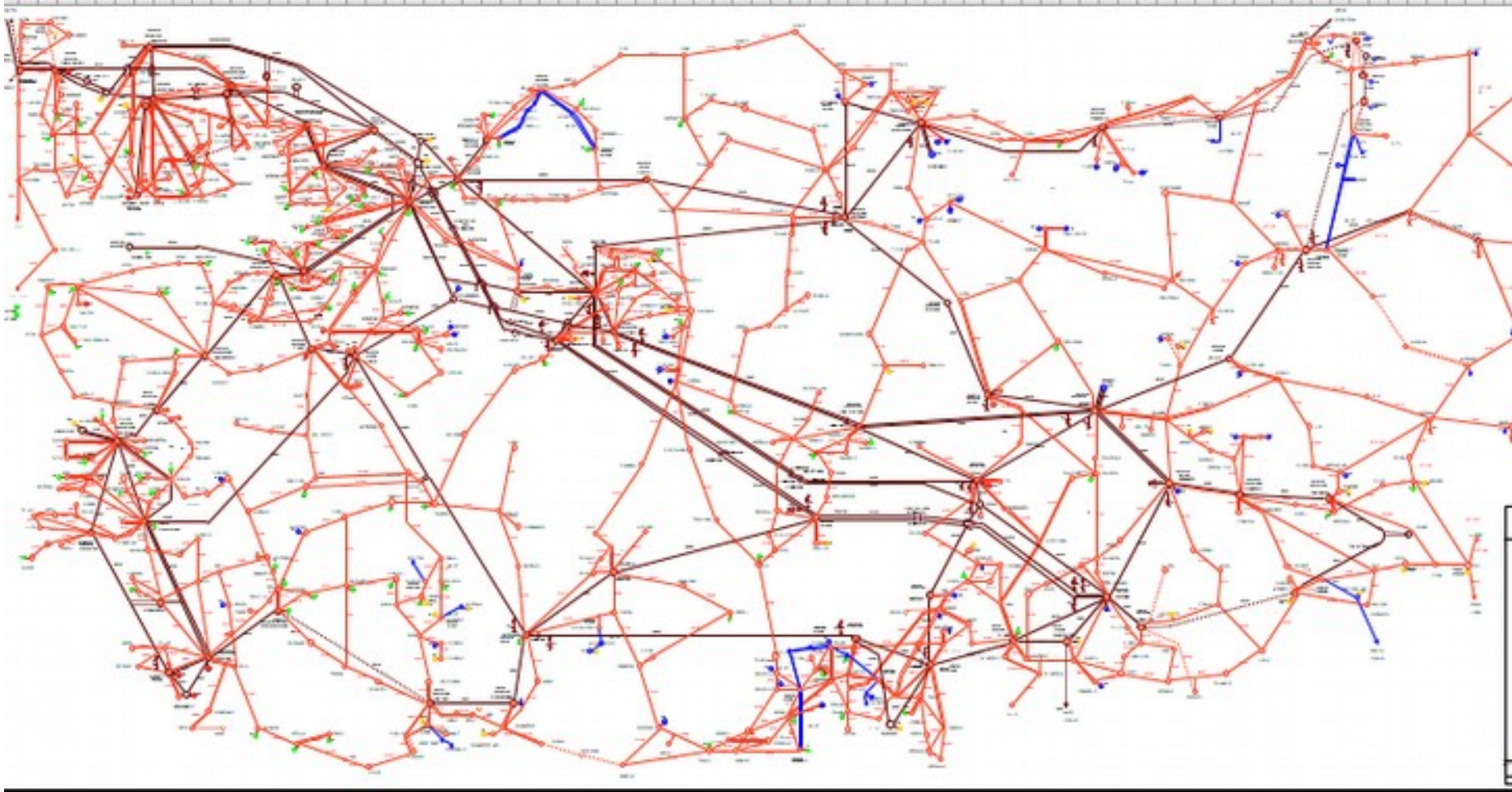
Günümüz Elektrik Şebekesi

- 3 aşamaya sahiptir: **Üretim, İletim ve Dağıtım.**
- Her ne kadar teknolojik olarak çok gelişmiş olsada şebeke 1900'lerin yapısını korumaktadır.
- Merkezi kontrol ve tek yönlü güç akışı vardır.
- Doğal afetlerde dayanıksızdır. Bir direk devrilmesi bile büyük bir alanı elektriksiz bırakabilir!
- Güvenilir değildir, hassas yükler için Kesintisiz Güç Kaynağı (KKGK) kullanımı yaygındır.



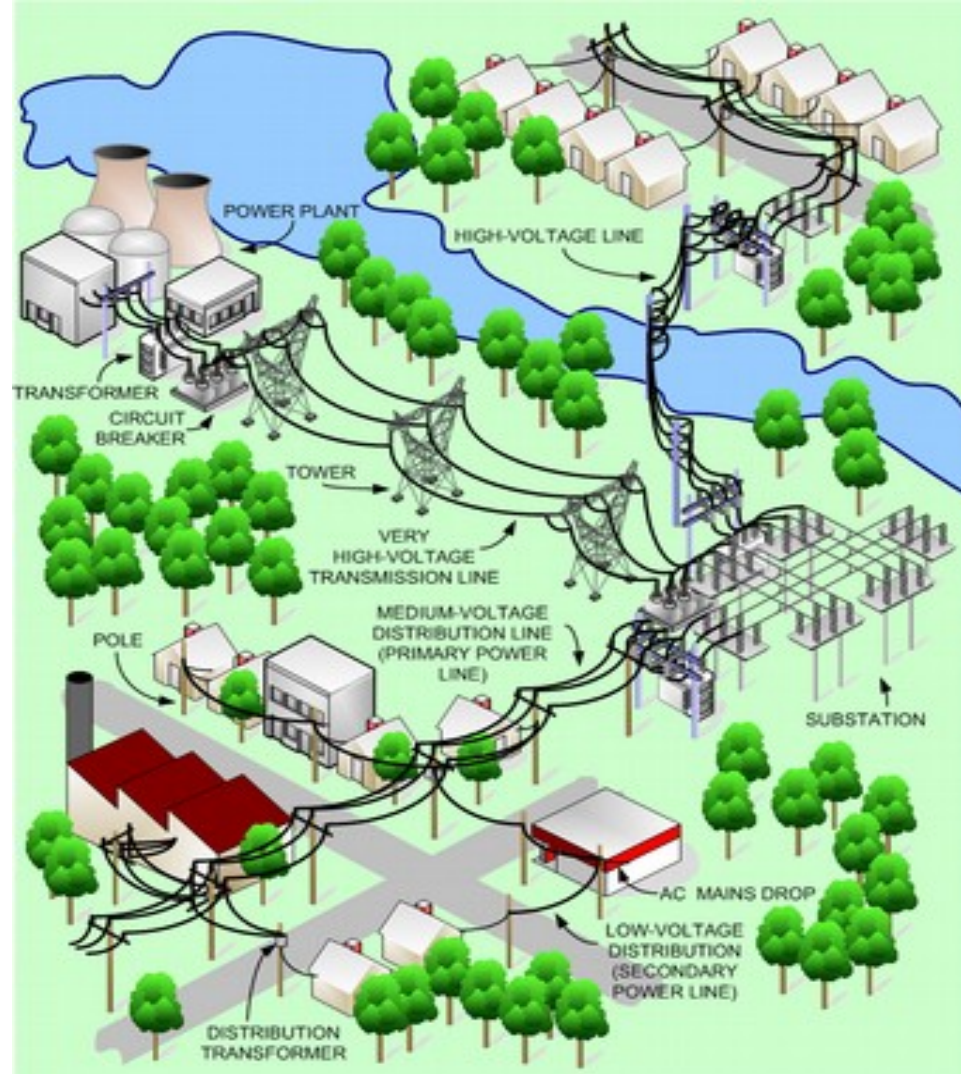
Günümüz Elektrik Şebekesi (devam)

- Uzun iletim hatları saldırılar için kolay bir hedeftir.



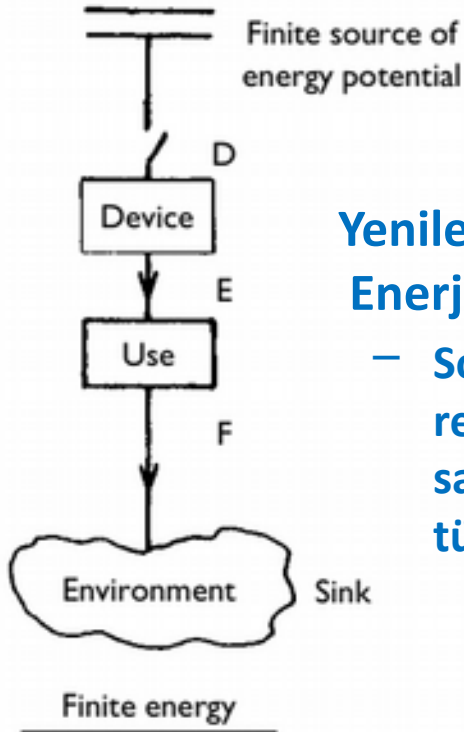
Günümüz Elektrik Şebekesi (devam)

- Üretilen ve tüketilen güç anlık olarak dengelenmesi gerekir. (frekans kararlılığı)
- Güneş, rüzgar vb. kaynakların ürettiği gücün çok değişken olması bu dengenin sağlanması zorlaştırmaktadır.
- Ayrıca yenilenebilir enerji kaynaklarının şebeke içerisinde güç üretiyor olması güç akışını iki yönlü hale getirmektedir!
- Bu durum kontrolü daha da zorlaştırır.



Yenilenebilir Enerji Kaynakları

- 90'lı yıllardan beri fosil yakıtlara dayalı büyük merkezi santraller, CO₂ emisyonu, sonlu rezerv ve iletim hattı gereksinimi vb. nedenlerle gözden düşmekte ve yerini yenilenebilir enerji kaynaklarına bırakmaktadır.

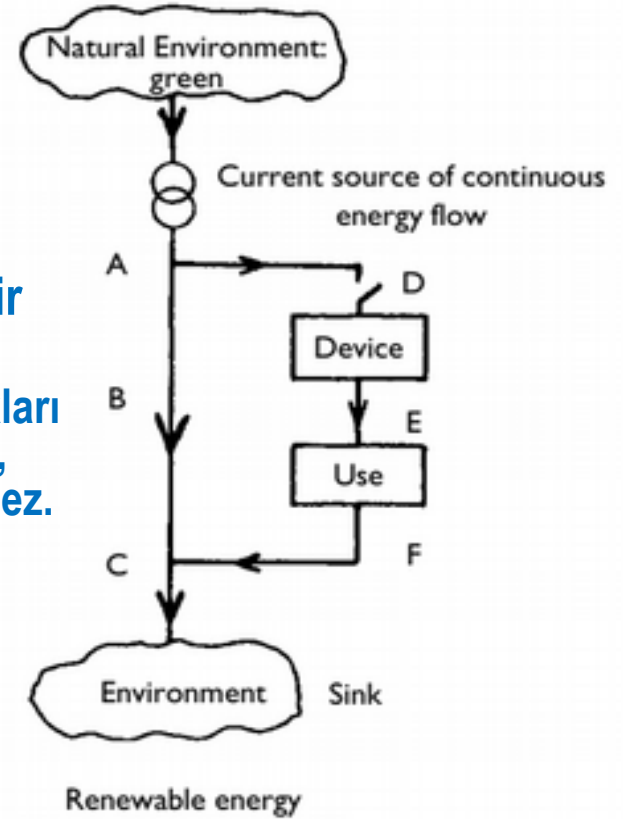


Yenilenemez Enerji

- Sonlu rezerve sahip, tükenir.

Yenilenebilir Enerji

- Kaynakları sonsuz, tükenmez.



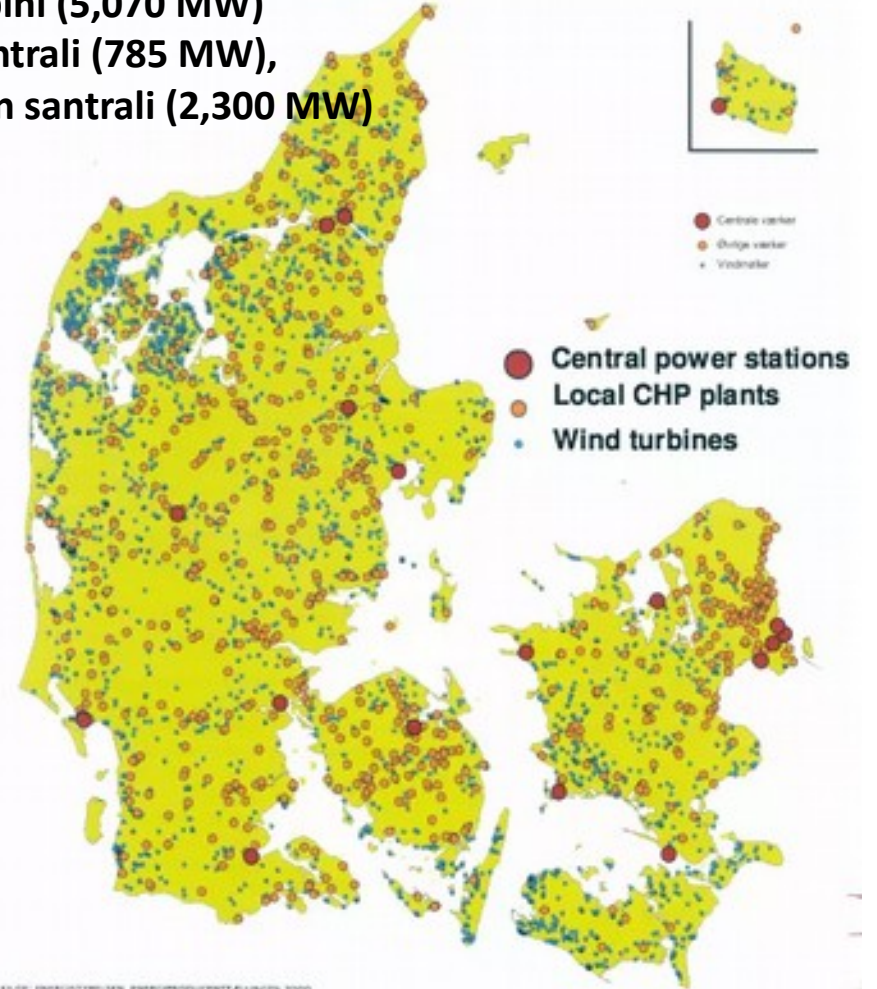
Merkezi sistem ve Dağıtık sistem

1990
(15 merkezi santral)



**20 merkezi santral (4,200 MW),
5,300 rüzgar türbini (5,070 MW)
94,000 Güneş santrali (785 MW),
670 Kojenerasyon santrali (2,300 MW)**

2014



(Danimarka)

Şebekeye yenilenebilir enerji entegrasyonu

- Çok sayıda dağıtık üreticinin (DG, Distributed generation) olduğu bir enerji şebekesinin kontrolü mevcut şebeke ile mümkün müdür?
- Geleneksel elektrik şebekesinde;
 - Büyük güçlü santraller enterkonnekte sistemde birbirine bağlanarak yüksek atalet elde edilir.
 - Bu durum şebekeyi ani güç değişimlerine karşı dayanıklı yapar.
 - Ancak kararlı çalışabilmesi için yük değişimlerinin şebekenin toplam gücünün yanında çok küçük olması gereklidir.
- Yenilenebilir DG kaynaklarda üretilen enerjinin çok değişken olması ve önceden tahmin edilememesi geleneksel şebeke yapısında kararlılık sorunları ortaya çıkarır.
- Güç kalitesi ile ilgili başka sorunlara da yolaçması nedeniyle DG kaynaklarının şebekeye katılım oranı sınırlanmaktadır.

DG kaynakların getirdiđi faydalar (1/2)

İletim kayıplarında azalma

- Mevcut sistemde merkezi santrallerde yüksek güç üretilir ve iletim hatlarıyla taşınır (I^2R kayıpları).
- Oysa DG sistemlerde üretim yüke yakın yerde gerçekleşir.

Güvenilirlik

- Bir arıza durumunda, örn. 500MW'lık bir santral devre dışı kalırsa ya yerine başka bir 500MW güç devreye alınmalı ya da 500MW'lık bir yük devreden çıkarılmalıdır.
- Oysa DG sistemlerde bu durum çok daha düşük güçlerde gerçekleşeceğinden yönetilmesi daha kolaydır ve şebekeye etkisi de az olur.

DG kaynakların getirdiđi faydalar (2/2)

İletim hattını rahatlatır

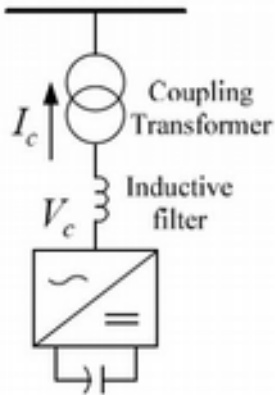
- Yükün ihtiyaç duyduğu enerji en yakın DG tarafından karşılanacağından, iletim hatları üzerinden geçen enerji miktarı azalır. Böylece ek iletim hattı gereksinimi azalır.

Yenilenebilir kaynakların maksimum kullanımı

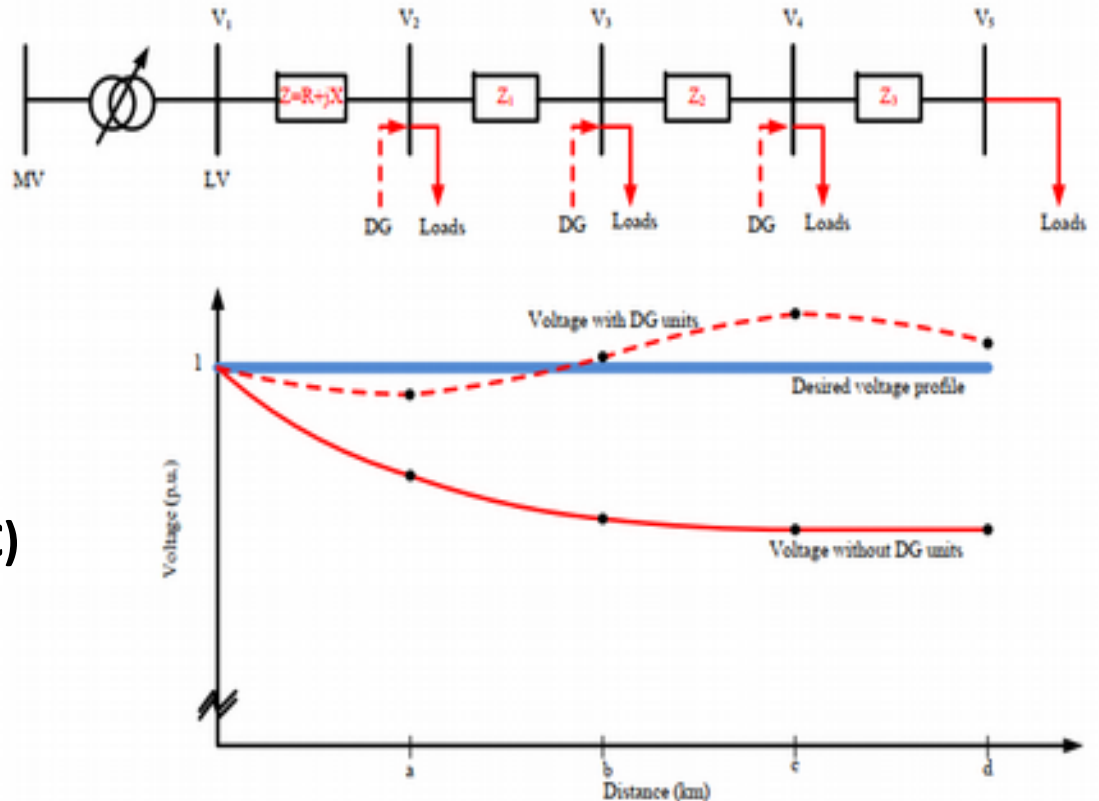
- DG kaynakların şebekeye daha fazla katılması ile yenilenebilir enerjilerin oranı artar ve CO₂ emisyonu ve çevreye zararı olmayan sürdürülebilir bir enerji şebekesinin yolu açılır.

DG entegrasyonundaki zorluklar

- Güç kalitesi:** DG'lerin değişken güçte olmaları ve iki yönlü güç akışına yolaçmaları nedeniyle voltaj dalgalanmaları, harmonik bozulmalar, frekans dalgalanmaları, voltaj flicker vb. bozucu etkiler yaratabilir.



Static VAR kompenzatorler (SVC) veya STATCOM gibi hızlı çalışan kompanzasyon üniteleri ile bu sorunlar iyileştirilebilir.



DG entegrasyonundaki zorluklar

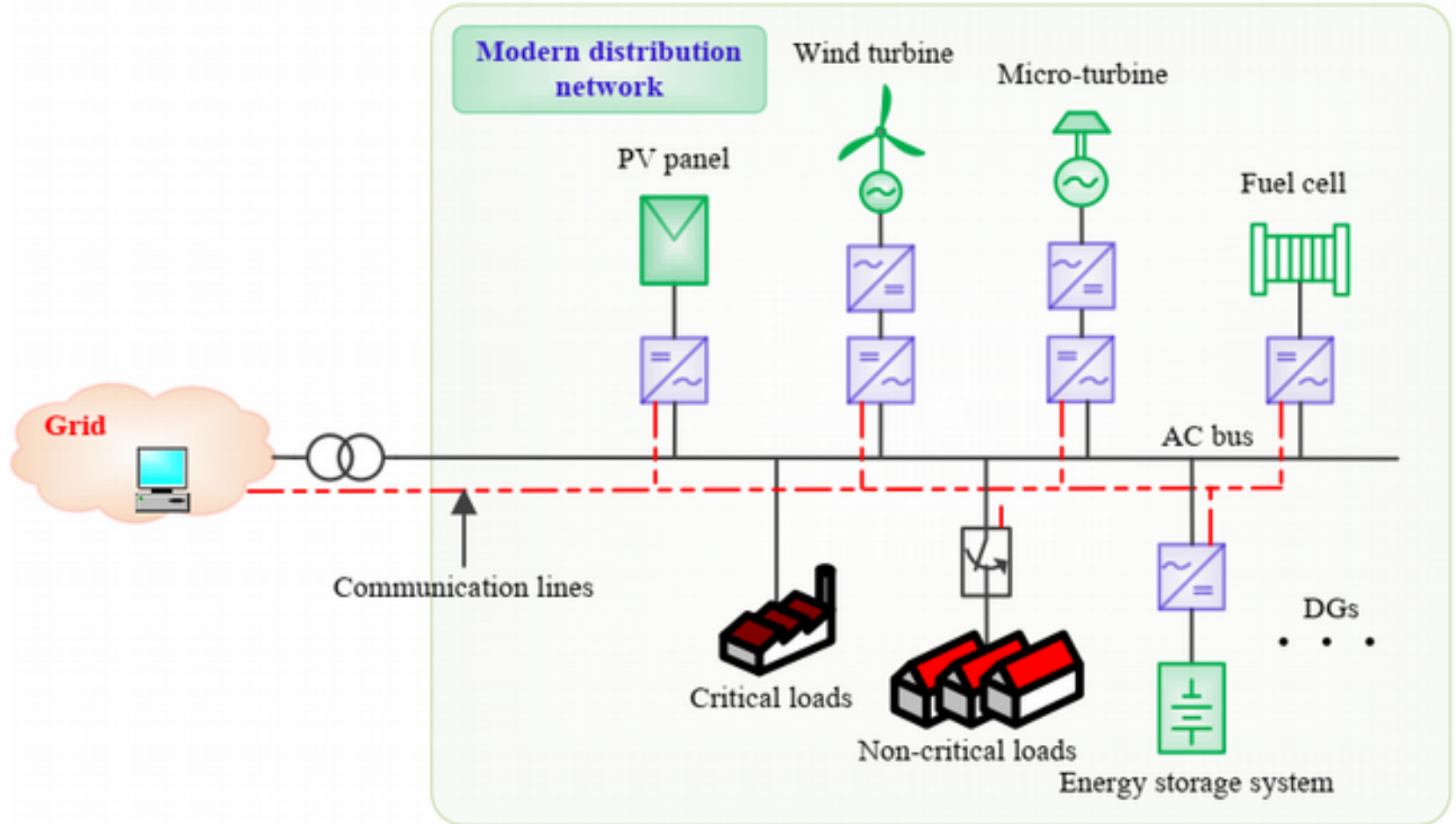
- **Şebeke hata akımlarının değişmesi:** Bir kısa devrede DG'lerin akımı kısa devre noktasına doğru ters yönde akarak hata akımlarının artmasına/azalmasına yol açabilir. Şalt cihazlarının buna uygun olarak değiştirilmesi ise maliyeti artıracaktır.
- **Karmaşık model:** Geleneksel şebeke yapısında güç akış analizi hem dinamik hem de statik modeller üzerinden yapılmaktadır. DG'lerin entegre olmasıyla sistemin dinamik modellerini çıkarmak çok zorlaşır. Özellikle güç elektroniği devrelerinden kaynaklanan akım ve gerilim harmonikleri genlik ve fazda hızlı değişimlere yolaçabilmektedir.
- **Düşük atalet:** Geleneksel senkron jeneratörde dönen kütlenin sahip olduğu kinetik enerji, şebekedeki ani güç dalgalanmalarına karşı frekans ve voltaj regülasyonunu 10 sn.ye kadar destekleyebilmektedir. Ancak DG sistemlerde bu atalet batarya, süper kapasitör ve volan sistemleriyle elde edilmeye çalışılır.

Mikroşebekeler (Microgrids)

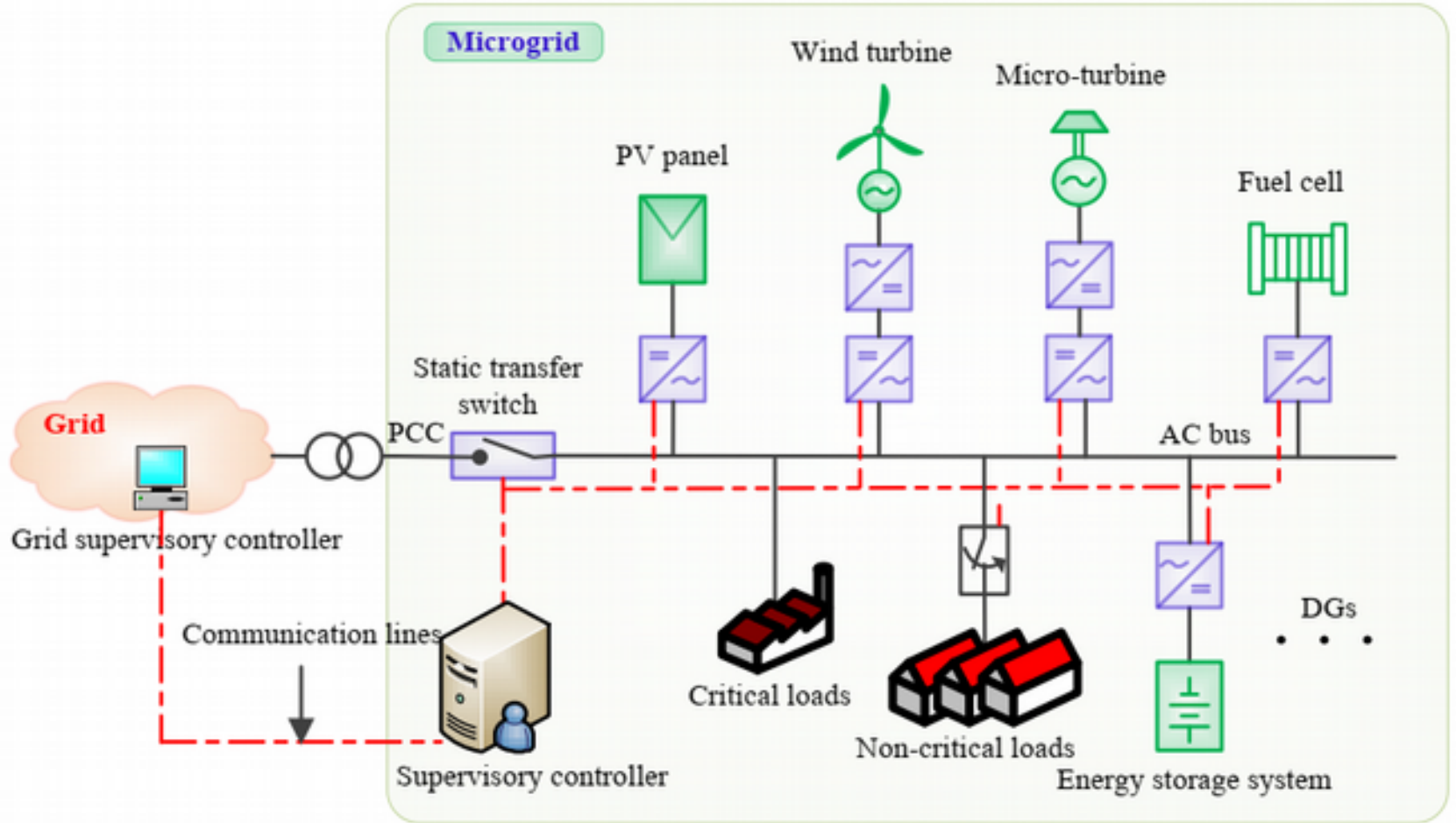


- Bir mikroşebeke bir şebekenin sahip olduğu tüm özelliklere küçük ölçekte sahiptir.
- Temel amaç sınırlı sayıda DG'yi ve yükü optimal şekilde birlikte çalıştırarak sisteme entegre etmektir.
- Bir mikroşebeke on-grid veya off-grid modda çalışabilir

Modern bir dağıtım şebekesi

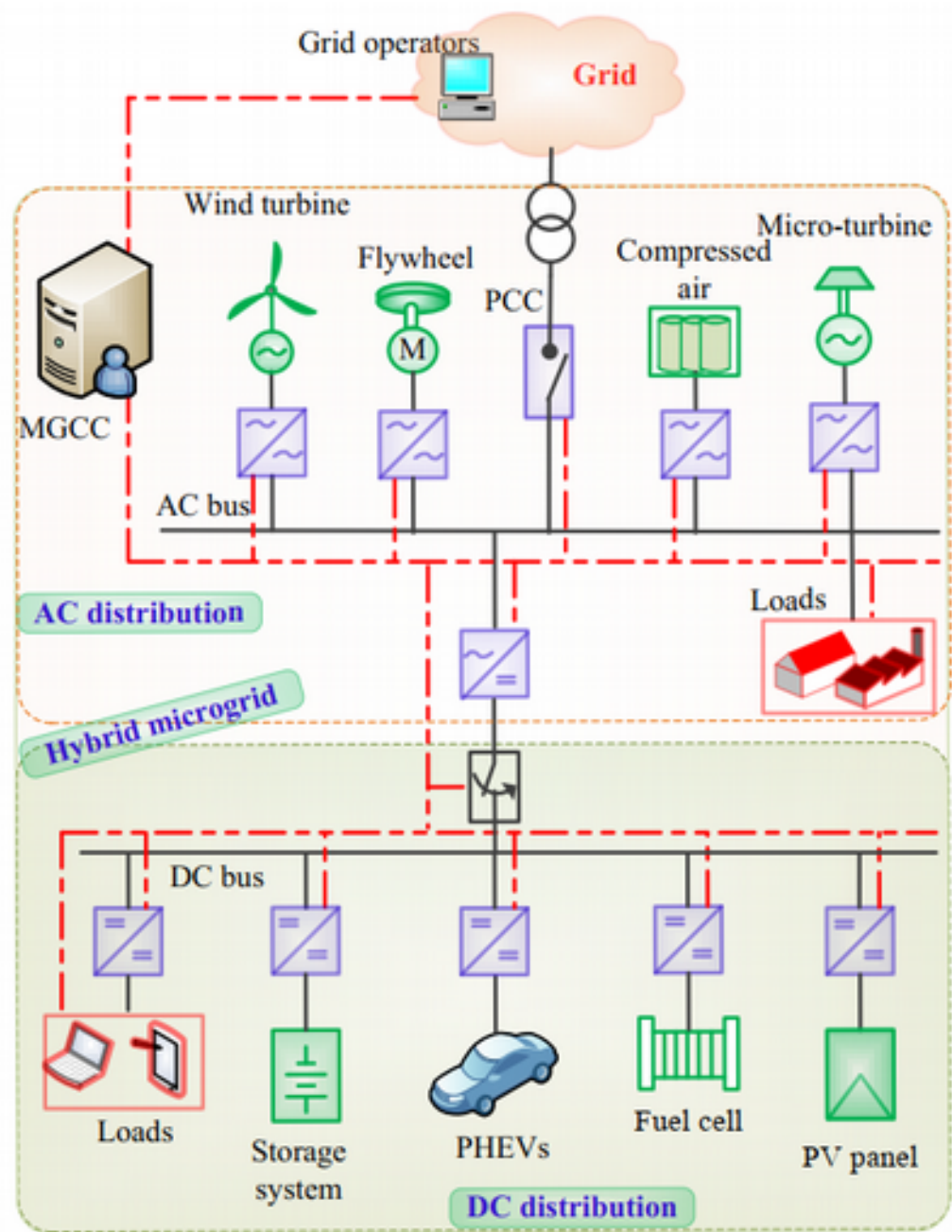


Bir mikroşebeke yapısı



Microşebeke Tipleri

- AC mikroşebekeler
 - Mevcut şebekeye kolayca entegre olabilir.
 - Senkronizasyon sorunu vardır.
- DC mikroşebekeler
 - PV, yakıt hücresi, batarya daha verimli kullanılır
 - Reaktif enerji kompanzasyonu yoktur.
 - Kontrolü kolaydır.
- Hibrit mikroşebekeler



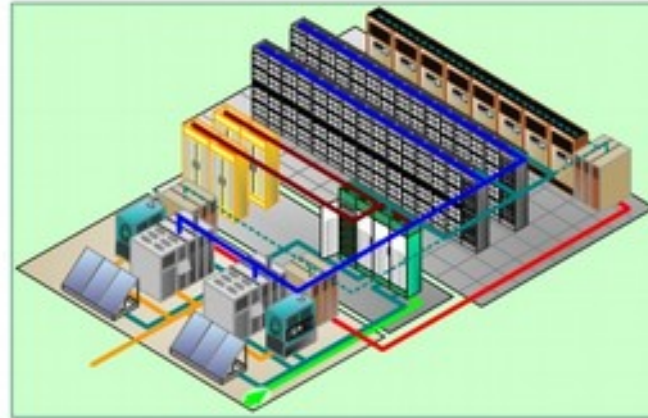
Mikroşebeke boyutları

- Mikroşebekeler birkaç kW'tan birkaç MW'a kadar farklı güçlerde uygulanabilir.
- Mevcut on-grid PV sistemler mikroşebeke değildir, çünkü adalama modunda çalışamazlar.

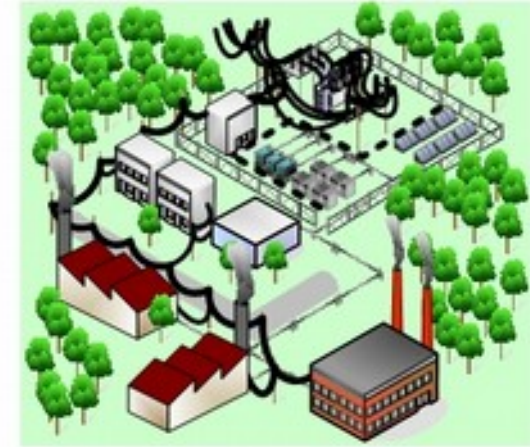
RESIDENCE



DATA CENTER



CAMPUS



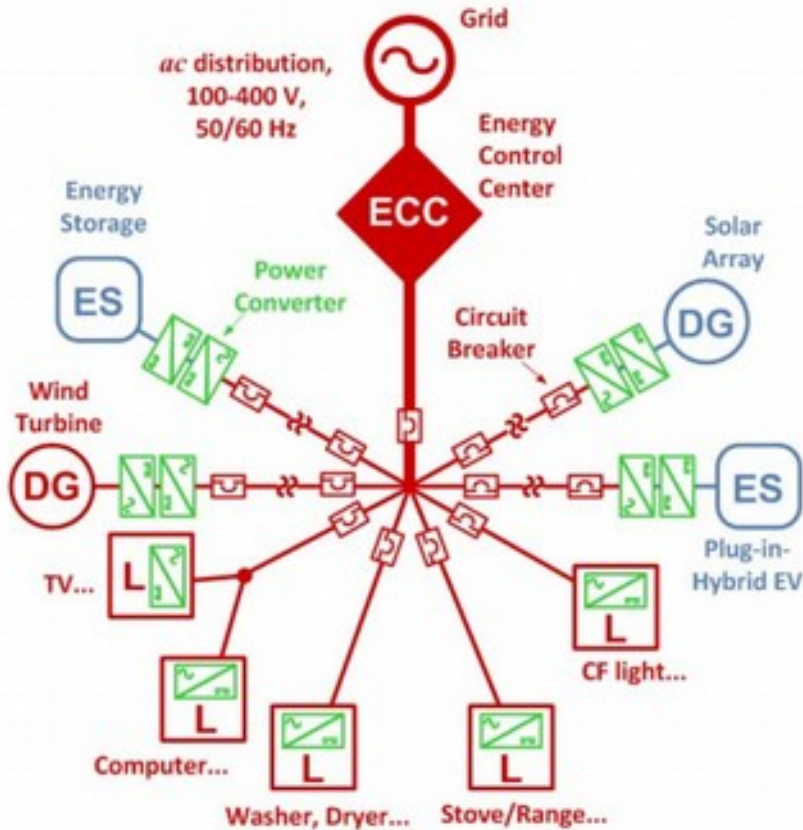
LOW
POWER

MEDIUM
POWER

HIGH
POWER

Nano grids for future homes

AC based



DC based

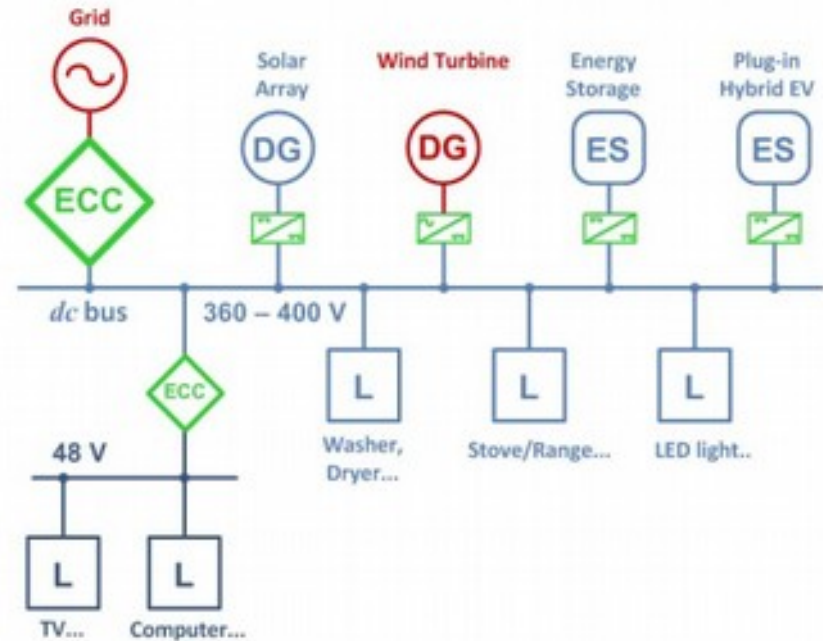


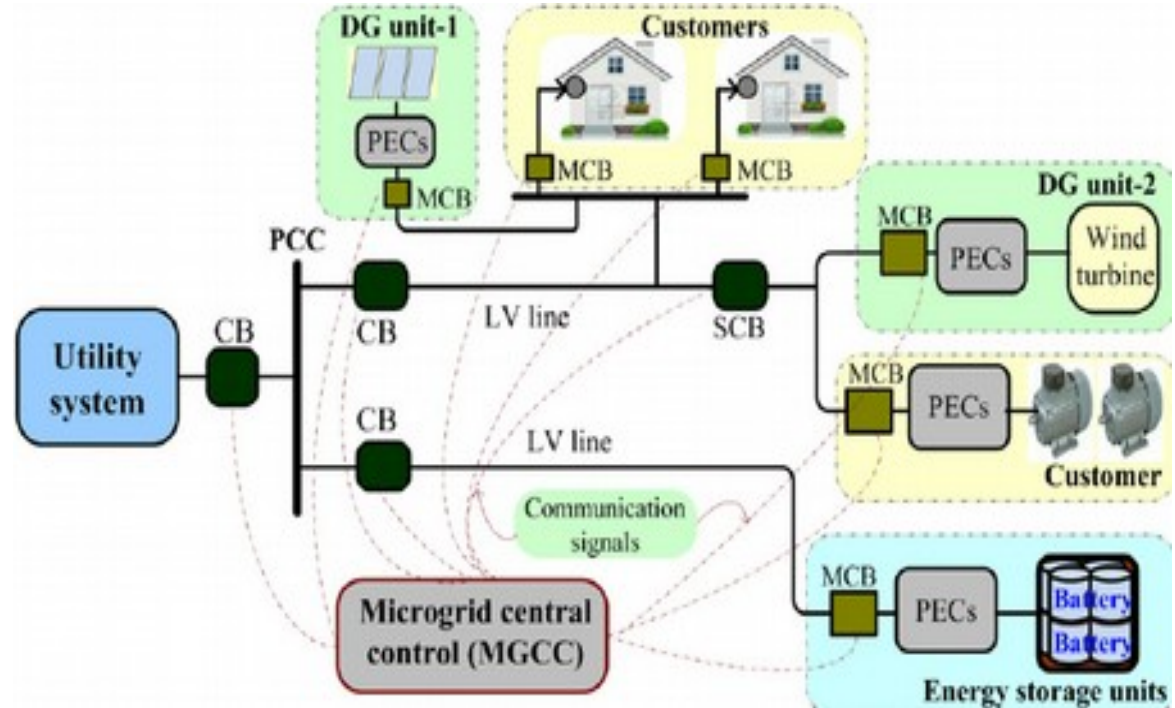
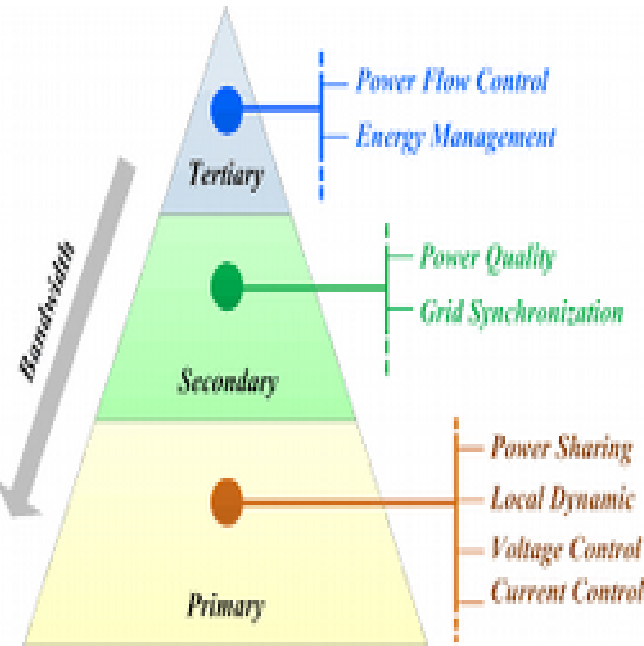
Fig. 6. DC-based nanogrid in a future home.

Mikroşebeke kontrolü

- Mikroşebekelerin merkezi kontrol birimi (MGCC) vardır ve aşağıdaki önemli görevleri yerine getirir:
- Enerji yönetimi yapma:
 - Kaynakların güvenli, güvenilir ve ekonomik olarak kullanılmasını koordine eder
 - Yenilenebilir kaynakların maksimum kullanımını sağlar
 - DG'ler arasında güç paylaşımını kontrol eder.
- Mikroşebeke içerisindeki güç kalitesini yükseltme:
 - Off-grid modda mikroşebekenin optimum şekilde çalışmasını sağlar ve yumuşak şekilde on-grid mode geçer.
 - On-grid modda şebeke ile senkronizasyonu, adalamaya karşı korumayı ve güç transferini kontrol eder

Merkezi kontrol mü? Lokal kontrol mü?

- MGCC'nin mikroşebekedeki bütün bileşenlerle yüksek hızda haberleşmesi hem donanımı karmaşıklaştırır hem de haberleşme kopması durumunda risk yaratır.
- Bu nedenle "droop control" gibi yöntemlerle bazı kontrol görevleri lokal cihazlara bırakılır.

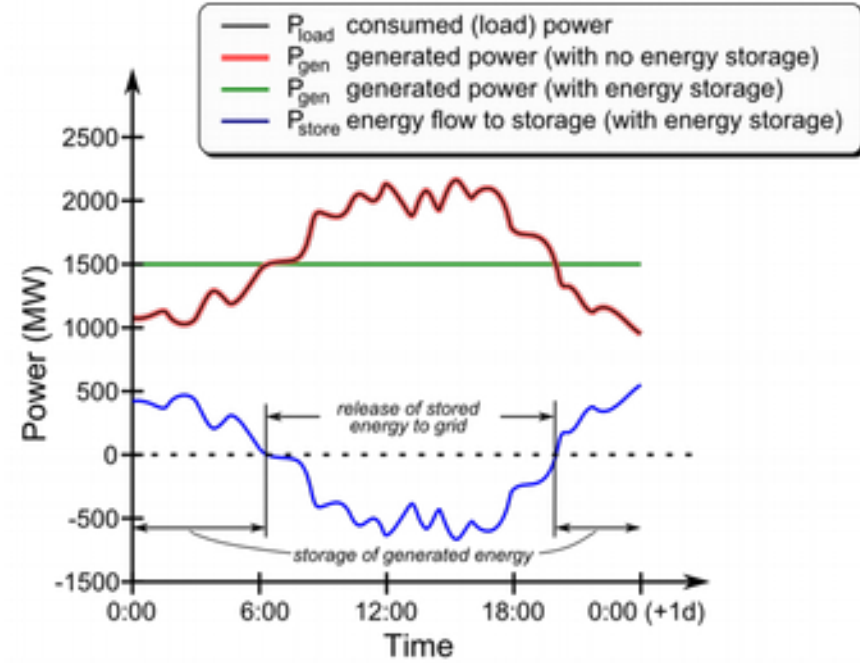


Mikroşebeke DG yerleşimi

- Geleneksel şebekeler radyal yapıdadır ve enerji şebekeden yüke doğru tek yönde akar.
- Mikroşebekelerde ise iki yönlü güç akışı söz konusudur ve bu yüzden DGlerin yer seçimi ve gücü kritik önemdedir.
- Yanlış yere yanlış güçte DG bağlandığında ters yöne güç akışı gerçekleşebilir ve dağıtım kayıpları artar.
- Tek faza yoğunlaşmış DG'ler 3 faz sistemde dengesizliğe yolaçar.
- Doğru boyutlandırılmamış bir DG, mikroşebeke içerisinde voltaj kalitesini bozup ve harmonik yaratabilir.
- Çok yüksek DG güçleri, hata akımının yönünü ve faz açısını değiştirerek koruma cihazlarının yanlış çalışmasına neden olabilir.

Mikroşebeke Enerji Depolama Sistemleri

- Bir batarya enerji depolama sistemi, bir mikroşebekeyi bir dağıtım sisteminden farklı kılan en önemli elemandır.
- Batarya sayesinde bir mikroşebeke, işletme masraflarını düşürebilir, güvenilirliği artırabilir, enerji kayıplarını minimize edebilir, kararlı çalışmayı güçlendirebilir, yük güç profilini zamanda kaydırabilir (load shedding), iletim hatlarının yatırım gereksinimlerini azaltabilir.
- Ancak batarya sistemlerinin ilk yatırım maliyetlerinin çok yüksek oluşu bu avantajların gerçekleştirilmesinin önündeki en büyük engeldir.
- Dolayısıyla bataryaların yeri ve boyutu konusunda optimizasyon yapılması çok önemlidir.



<https://en.wikipedia.org>

DG'ler arasında güç paylaşımı

- PV, rüzgar, yakıt hücresi, dağıtım hattı, lineer olmayan yükler vb. DG kaynaklar arasında güvenli, ekonomik kararlı çalışan hassas bir güç paylaşım sistemi olmalıdır.
- DG'ler arasındaki (aktif+reaktif) güç paylaşımının kontrolü kesintisiz güç kaynaklarına benzemektedir ancak daha karmaşık ve hassastır.
 - Haberleşme tabanlı (master-slave, circular chain vb.) yöntemler iyi çalışır ancak haberleşme altyapı yatırımları yüksektir.
 - Droop method gibi haberleşme gerektirmeyen yöntemler "tak ve çalıştır" özelliğine sahiptir, ancak voltaj ve frekans dalgalanmaları, şebeke empedansına çok bağlı olması, non-linear yük sorunu vb. dezavantajları bulunmaktadır.



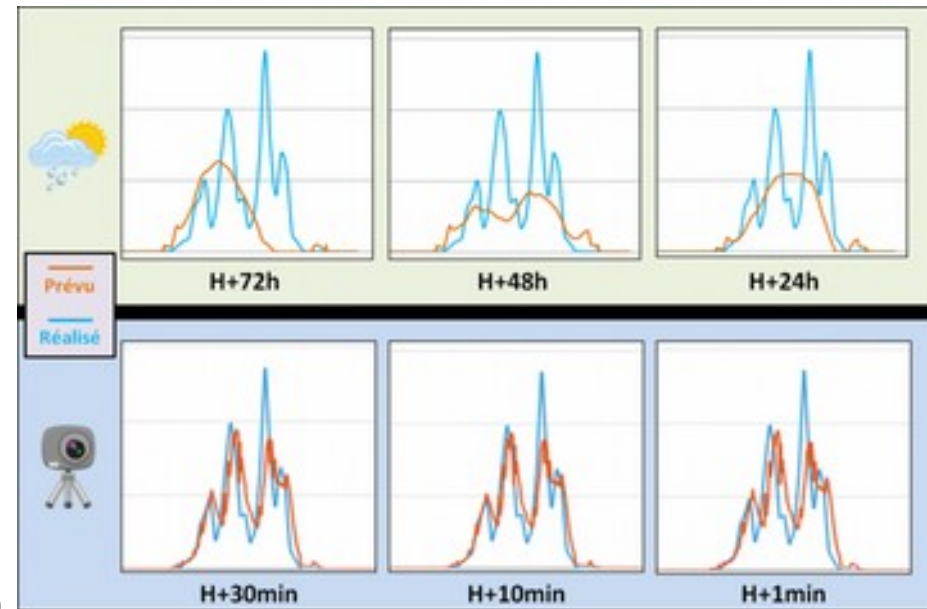
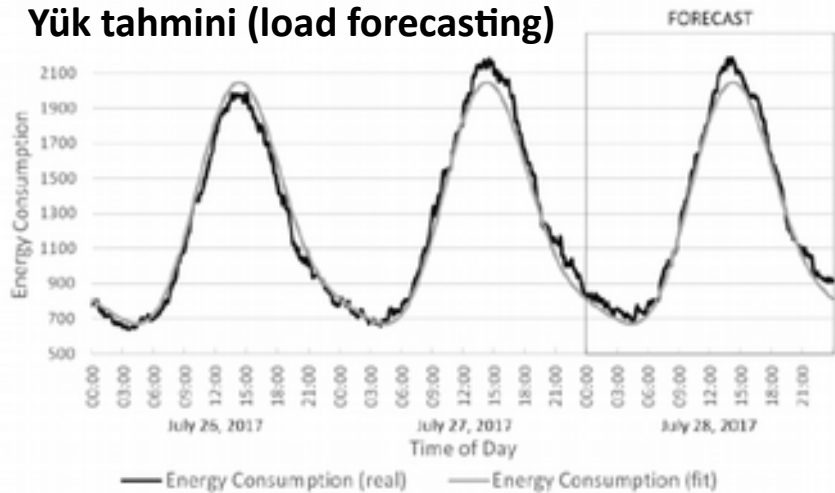
Tahminleme (Forecasting)

Örnekleme 15 dk.
Ortalama sapma %4-10

- Güneş ve rüzgardan elde edilecek enerjinin ve yük tüketiminin tahminlenmesi kritik önemdedir.
- Bu bilgi aynı zamanda enerji depolama elemanının çalışma rejimini de değiştirmektedir.
- **1 dk. – 1 sa. arası tahminleme:** Gerçek zamanda güç paylaştırmada, enerji depolama planlamasında, güç dalgalanmasını azaltmada
- **1 sa.–1 hafta arası tahminleme:** DG'ler arasında ekonomik güç paylaşırma ve planlamasında
- **1 ay – 1 yıl arası tahminleme:** Uzun dönem şebeke planlamasında kullanılır

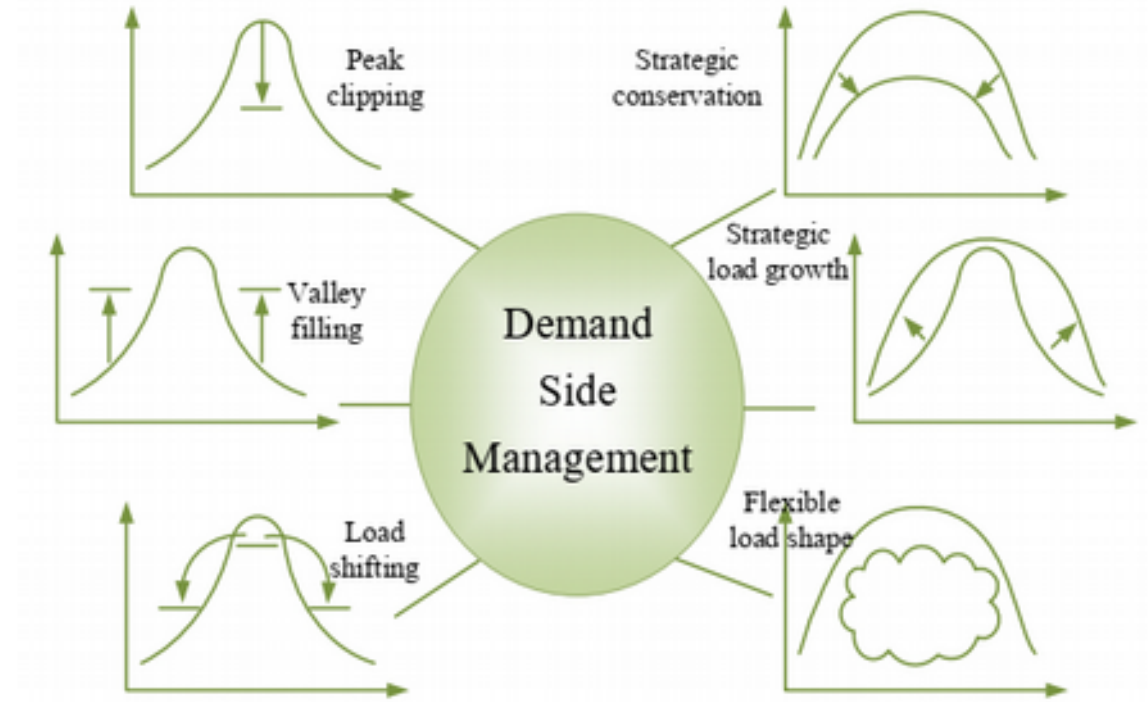
Kamera ile PV tahmini (PV forecasting)

<http://www.innoenergy.com>



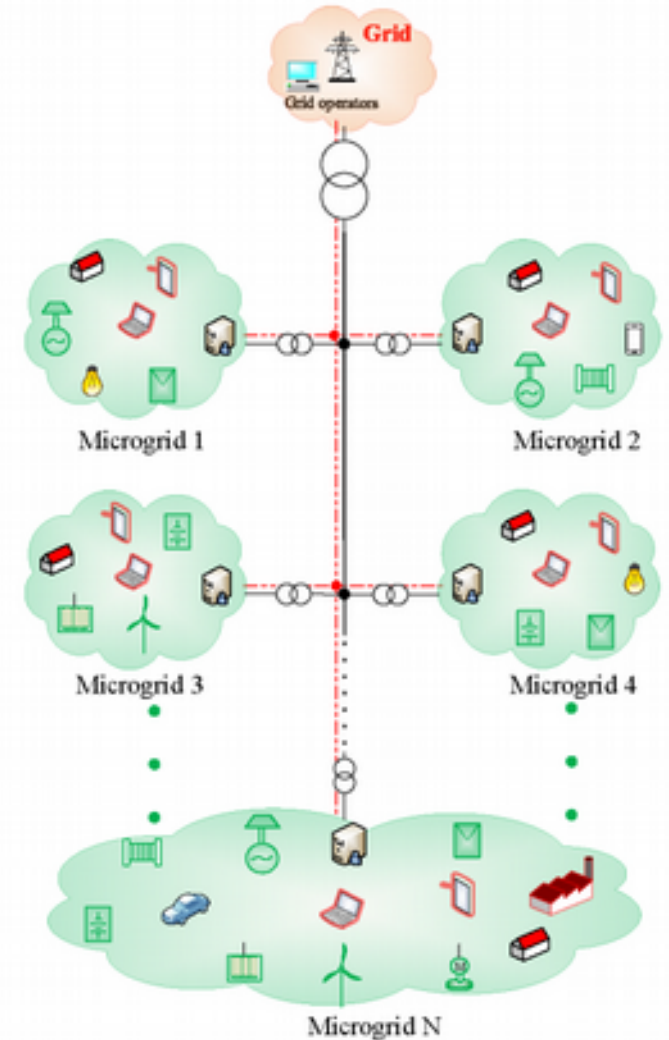
Talep yönetimi

- Mikroşebekede RES oranı arttıkça üretim-tüketim dengesini sağlamak da zorlaşır.
- Enerji depolama ile bu denge sağlansa da çok maliyetlidir.
- Bu yüzden dağıtım şirketleri tüketim profilini üretim profiline uydurmaya çalışırlar.
- Bunun için çok terimli tarife vb. çeşitli avantajlar sağlayarak tüketicilerin enerji kullanımını hedeflenen profile yaklaştırmaya çalışırlar.



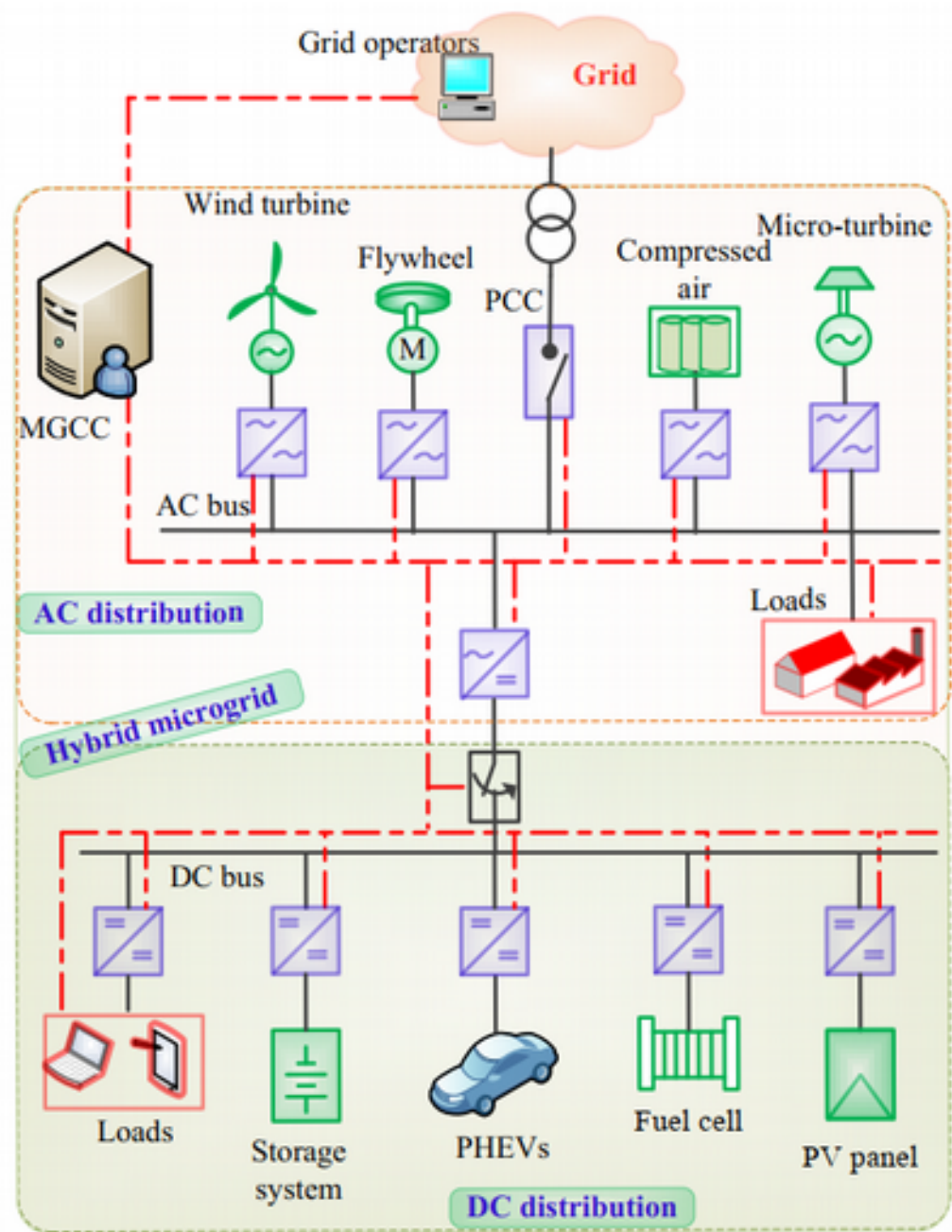
Çoklu-mikroşebekeler

- Çok sayıda RES içeren bir dağıtım şebekesi birden fazla mikroşebeke içerebilir.
- Bu mikroşebekeleri güvenli bir şekilde birlikte çalıştırılması ve dağıtım şebekesinden önce birbirleriyle enerji alışverişlerinin gerçekleştirilmesi halen üzerinde çalışılan önemli problemlerdendir.
- Diğer yandan akıllı sayaçlar ve akıllı kontrol sistemlerinin kablosuz haberleşme yapısı onları kötü niyetli siber saldırıların hedefi haline getirmektedir.



Güç elektroniğinin Mikroşebekedeki önemi

- Mikroşebekelerde kullanılan güç elektroniği topolojileri
 - AC/DC dönüŖüm
 - DC/DC dönüŖüm
 - DC/AC dönüŖüm
 - AC/AC dönüŖüm
- Önemli kriterler
 - Güvenilirlik,
 - Yüksek verim
 - Düşük boyut
 - Uzun ömür
 - Düşük maliyet vb.



Geleneksel Güç Transformatörleri

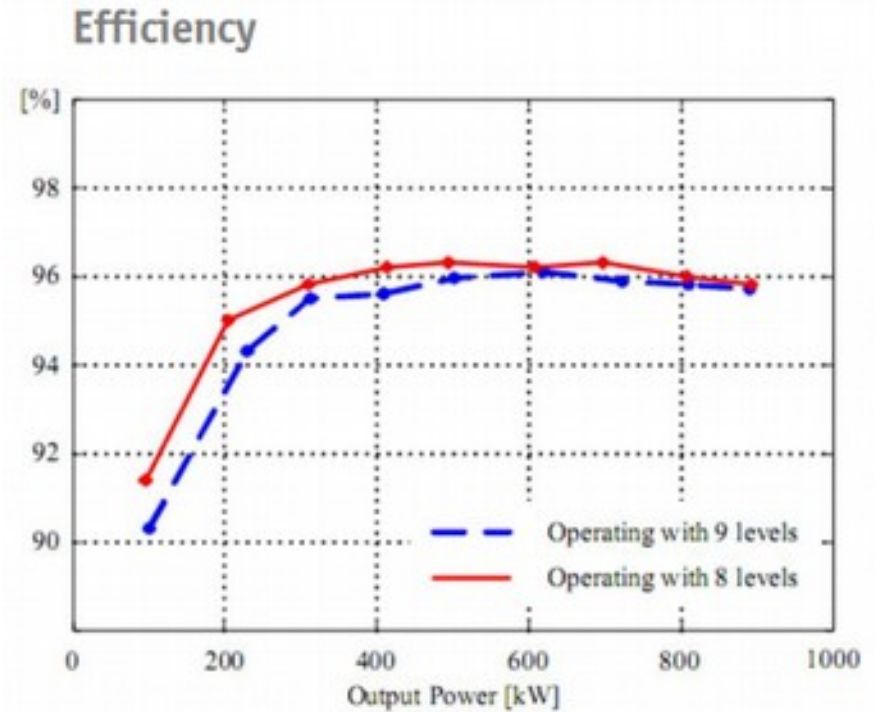
	Geleneksel Transformatör	Elektronik Güç Trans. (SST)
Gerilim yükseltme /düşürme	✓	✓
Reaktif/reaktif güç kontrolü	✗	✓
Akım/gerilim regülasyonu	Kademe	Doğrusal
Boyut	Büyük	Küçük
Ağırlık	Büyük	Küçük
Uzaktan kontrol	✗	✓
Verimlilik	>%99	>%97
Maliyet	Düşük	Yüksek

Solid State Transformer (SST)

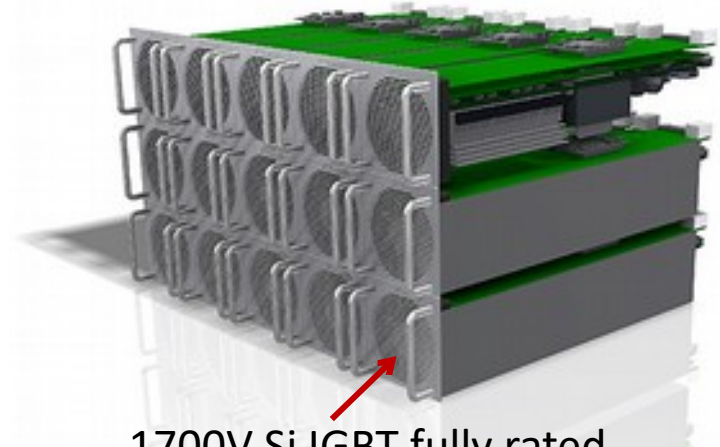
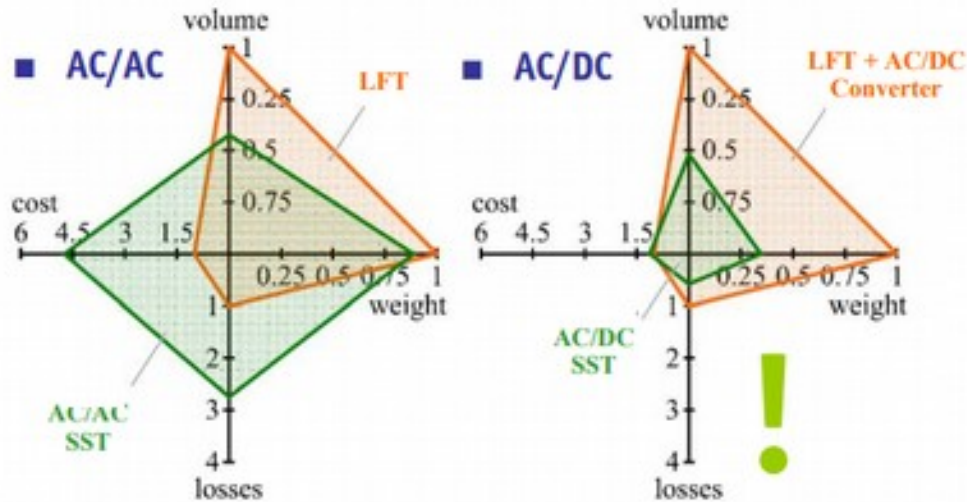


Elektronik Güç Transformatörleri (SST)

- 1.2 MVA 1ph. AC/DC Power Electronic Traction Transformer
 - Cascaded H-Bridges – 9 Cells
 - Resonant LLC DC/DC Converter Stages

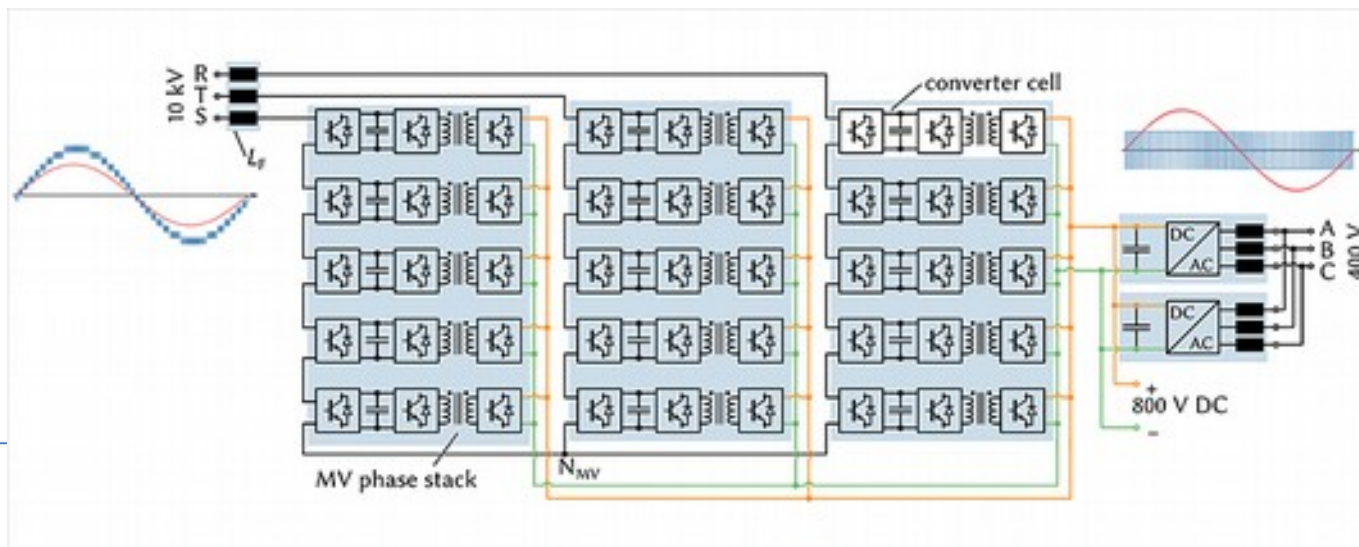


The MEGALink: A 1 MVA, 10 kV / 400 V Solid-State Transformer

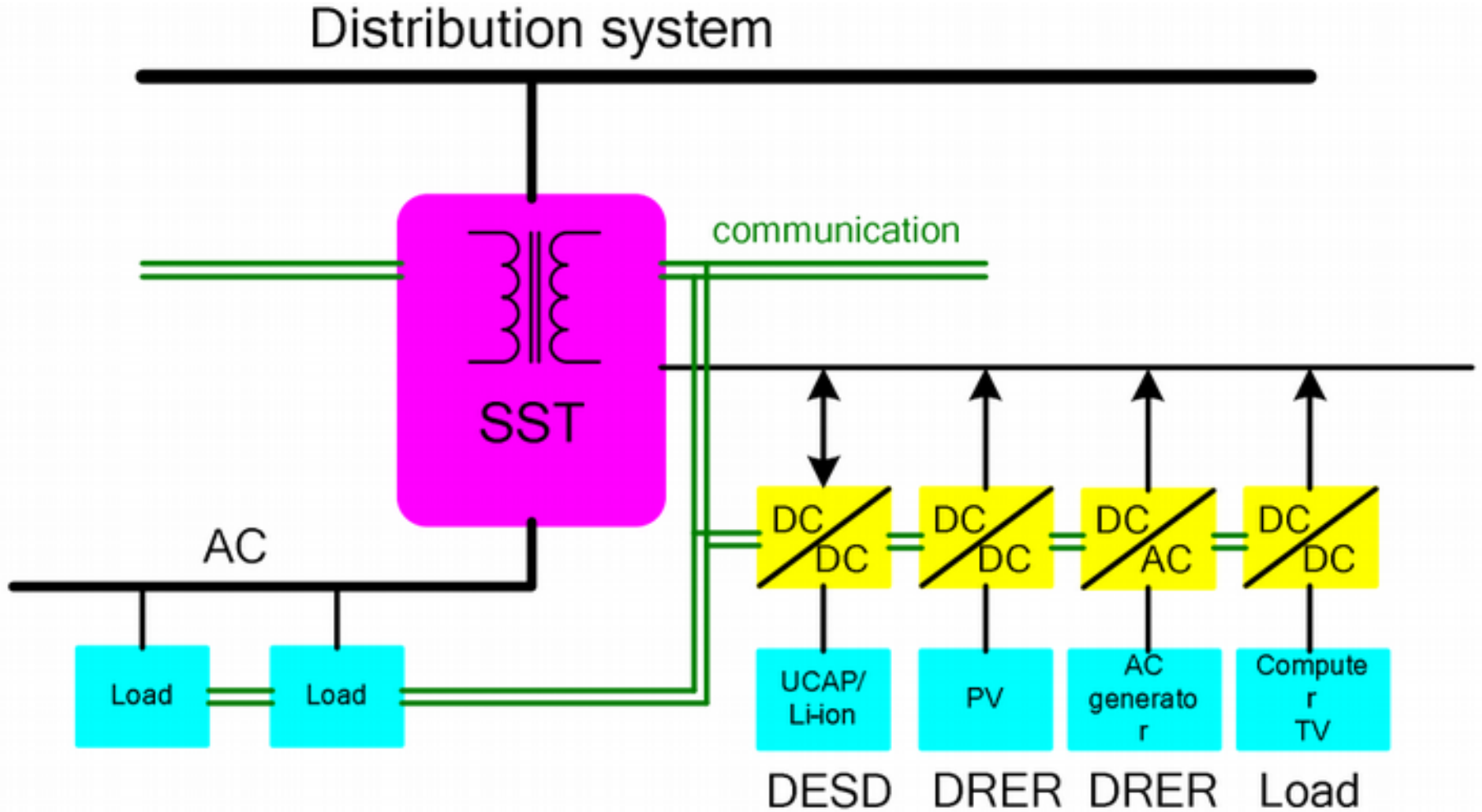


1700V Si IGBT fully rated
80 kW units

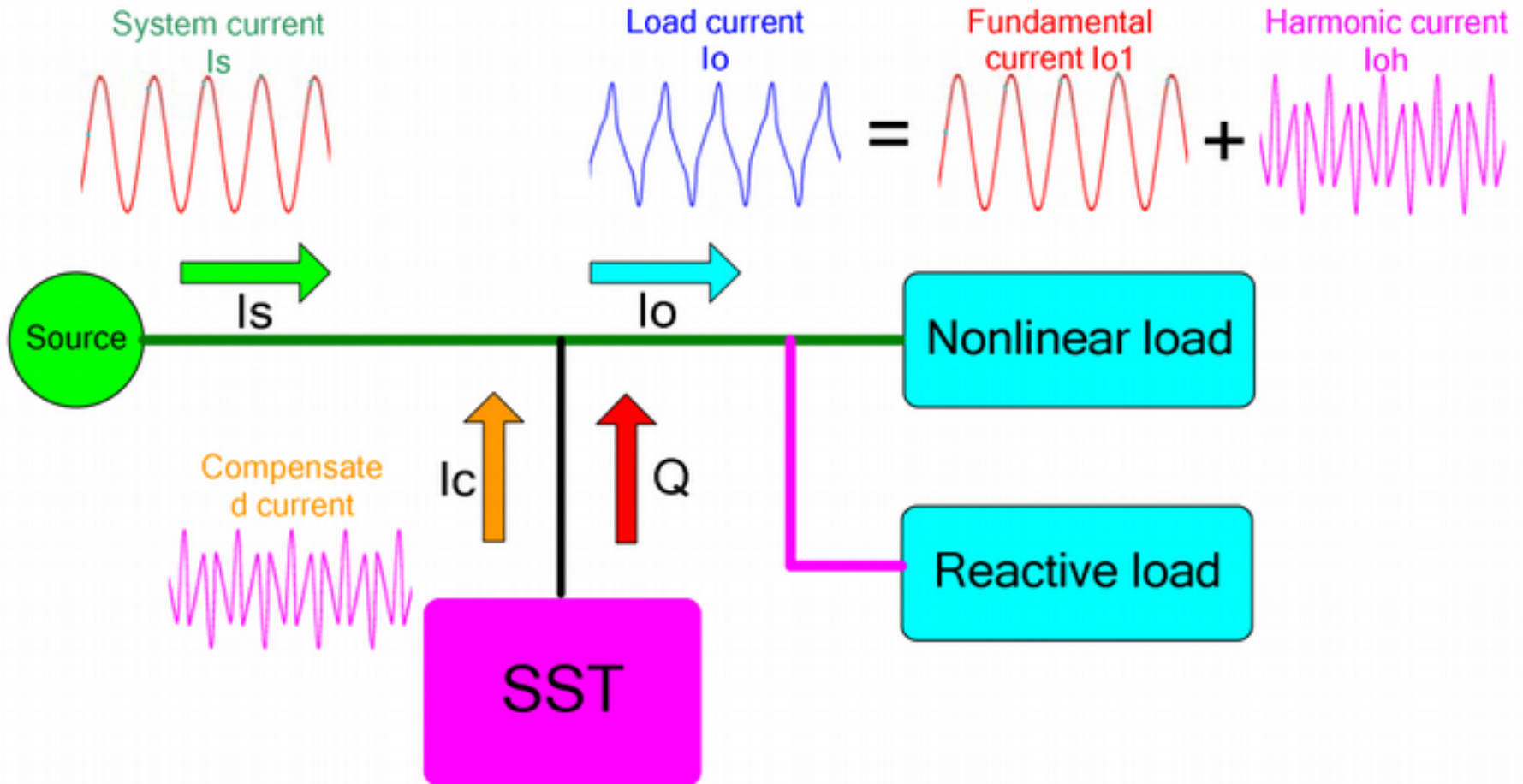
- AC/DC çalışmada SST avantajlı (Verimi %98.2)
- AC/AC çalışmada LF avantajlı (%98.7)



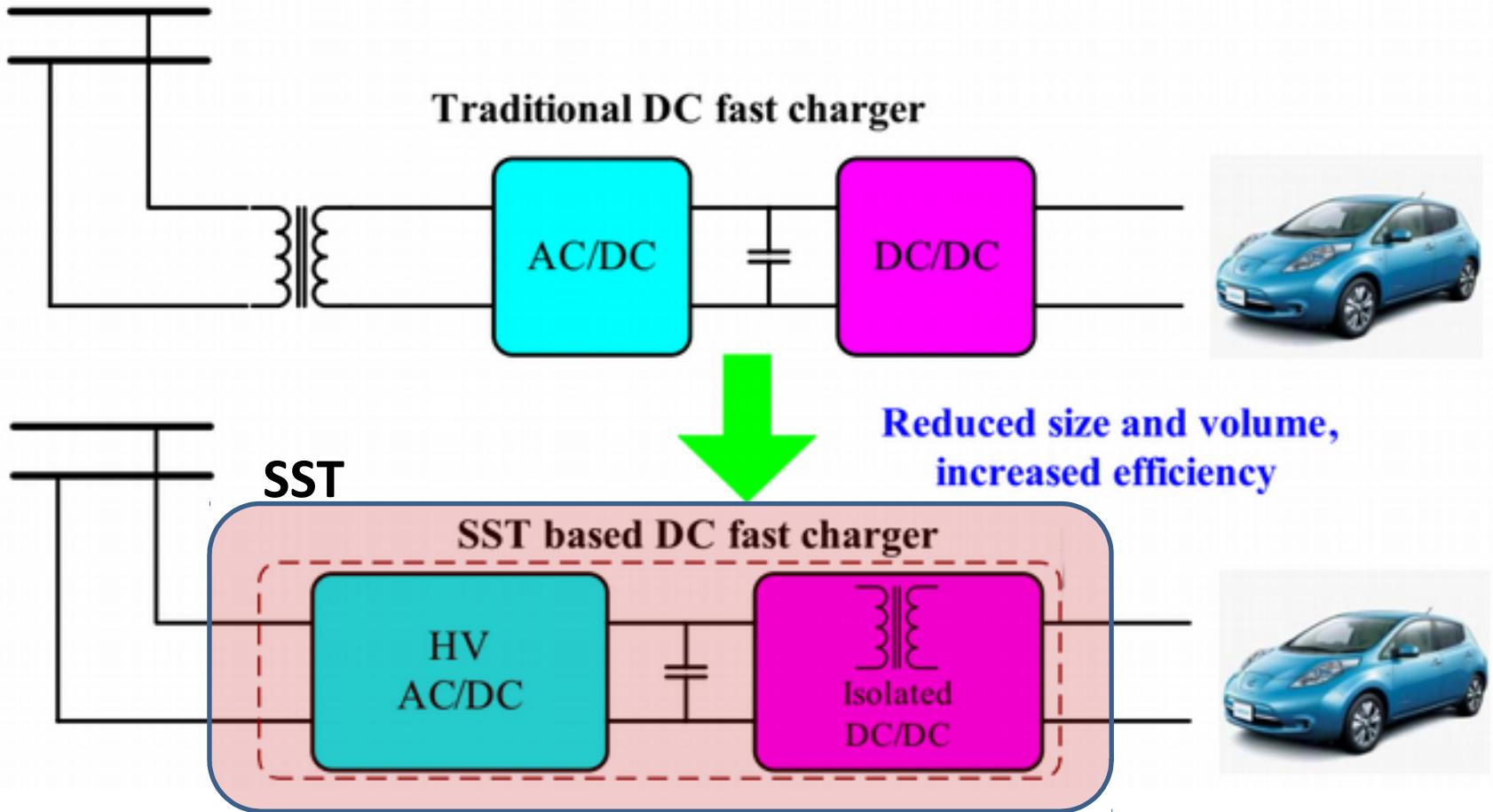
Mikroşebekelerde SST kullanımı



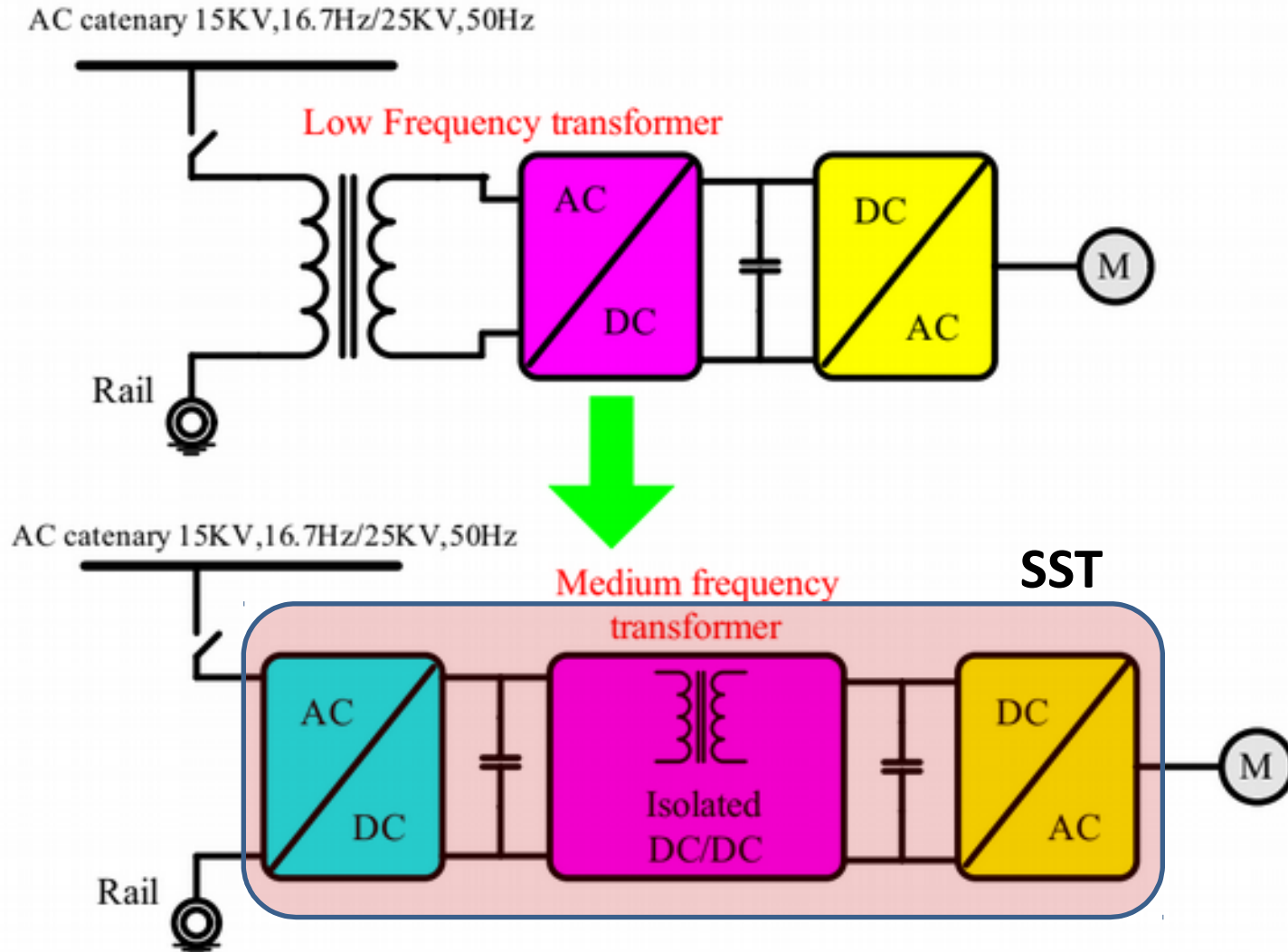
SST'lerde reaktif güç kompanzasyonu ve aktif harmonik filtreleme



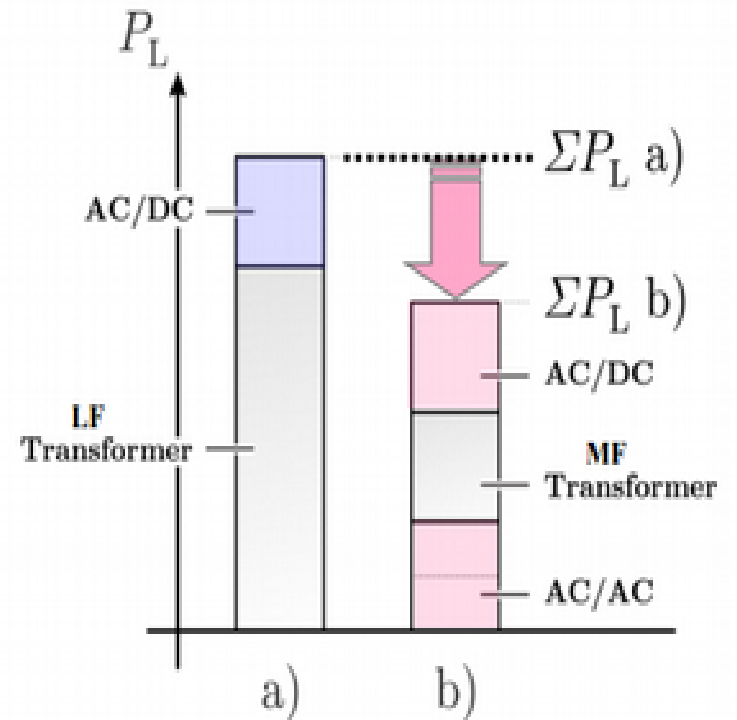
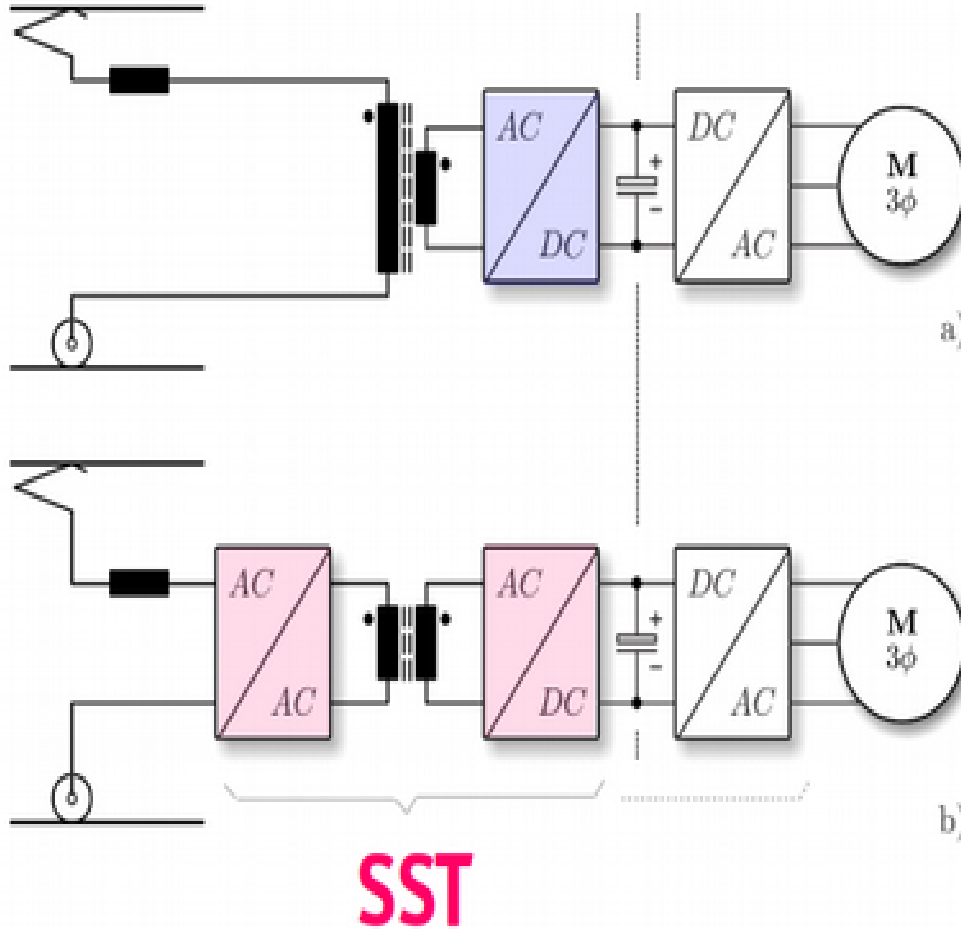
SST tabanlı elektrikli araç DC hızlı şarj



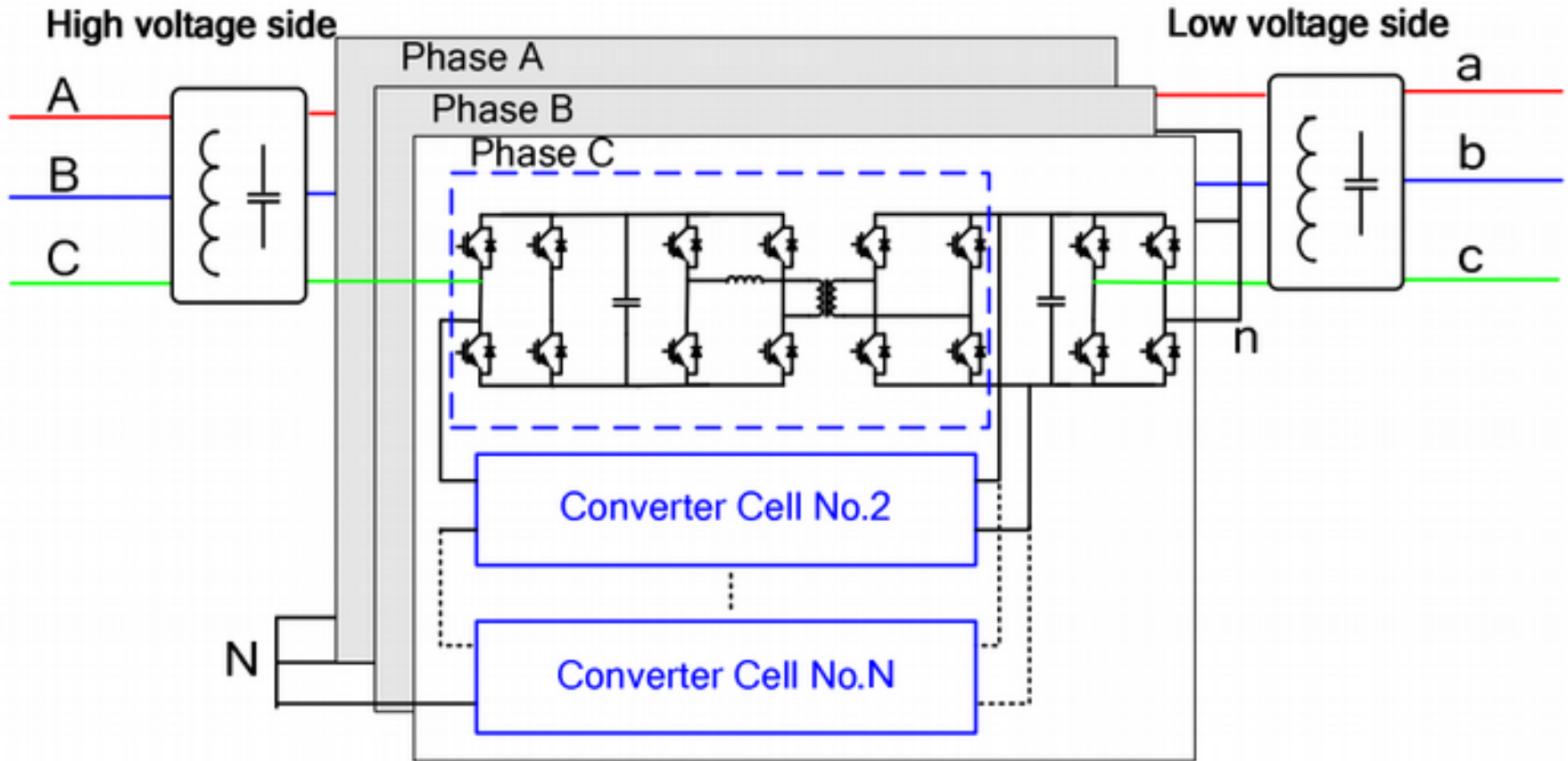
SST tabanlı Catenary Traction sistemleri

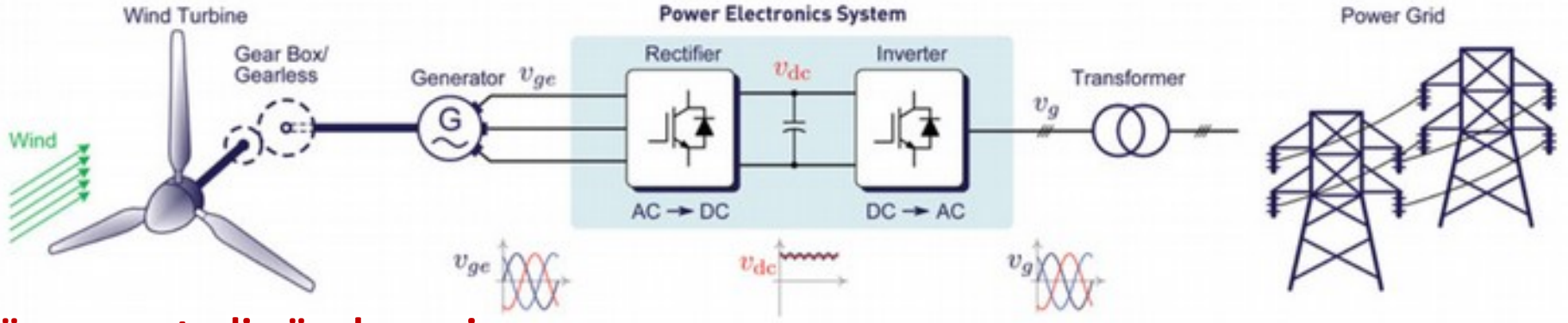


Yeni jenerasyon lokomotif besleme sistemi

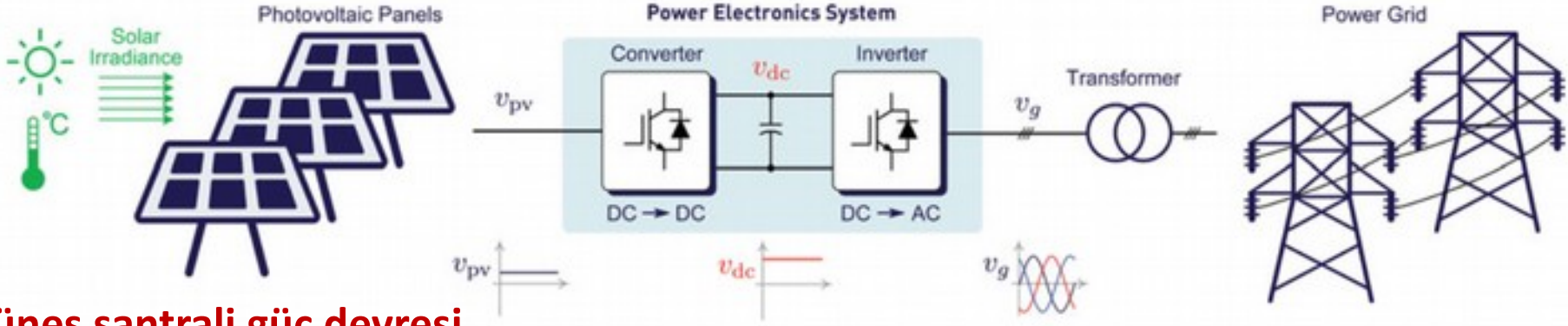


3 Fazlı Modüler SST

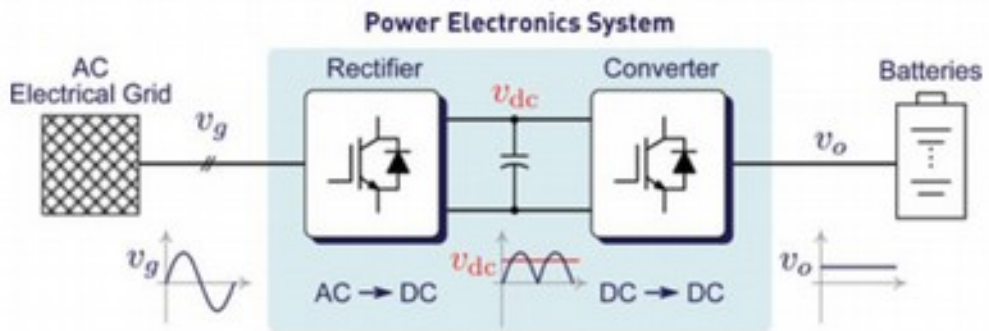




Rüzgar santrali güç devresi



Güneş santrali güç devresi



Batarya güç devresi

Solar Eviriciler

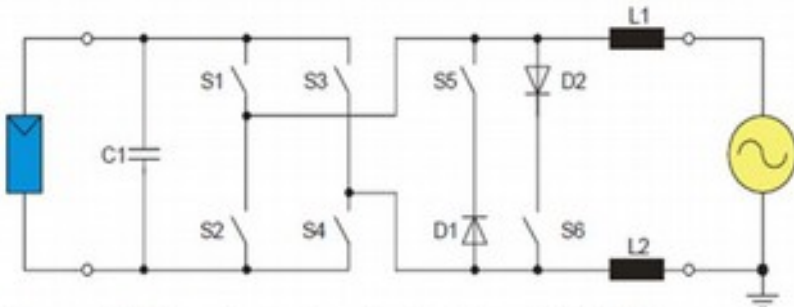


Figure 8: Topology of a single-phase HERIC® inverter

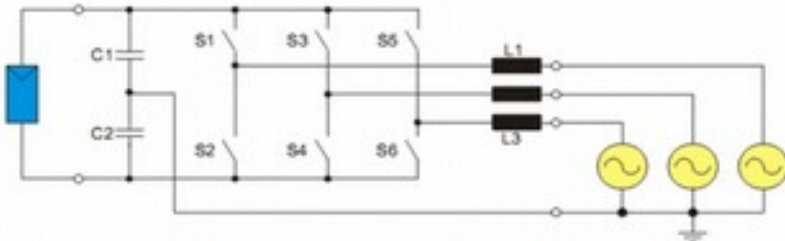
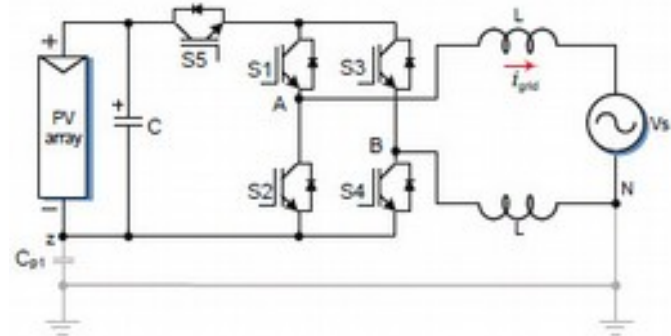
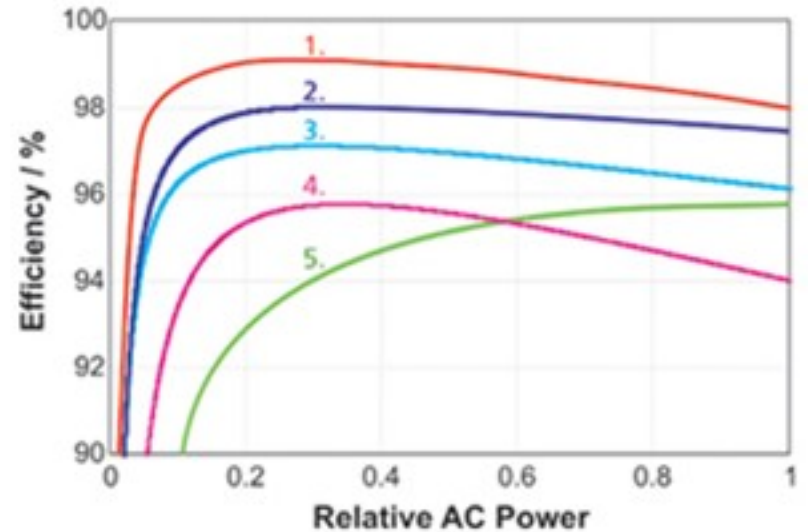


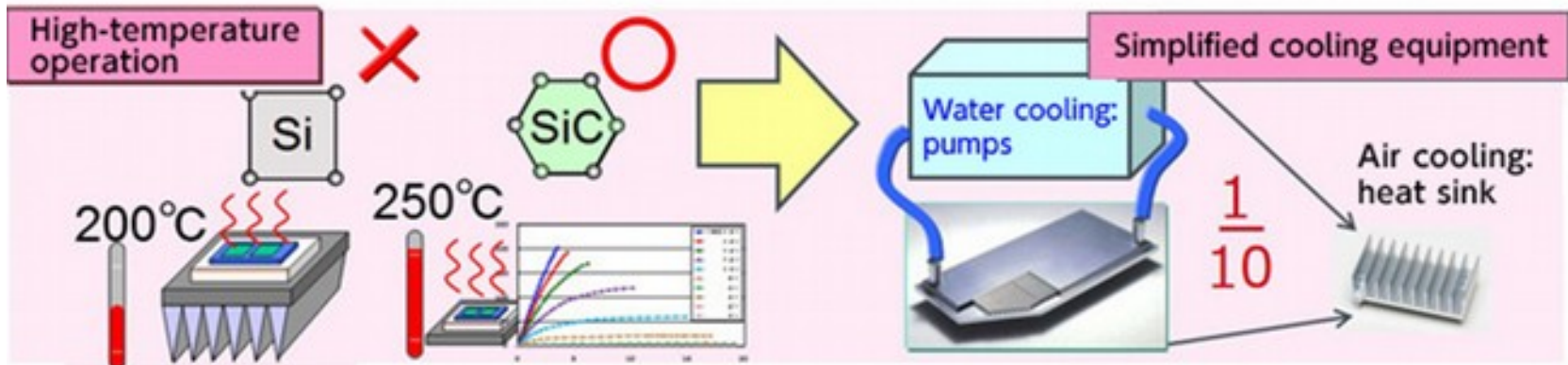
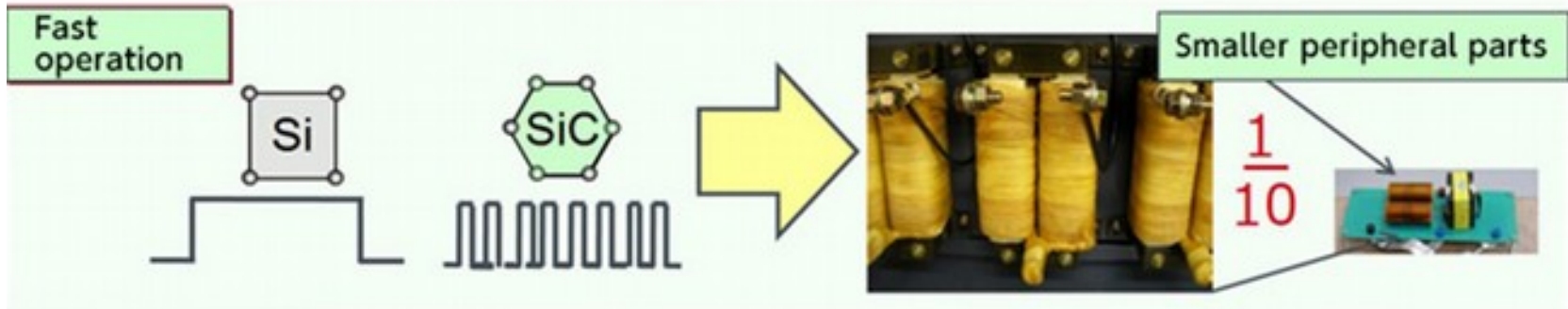
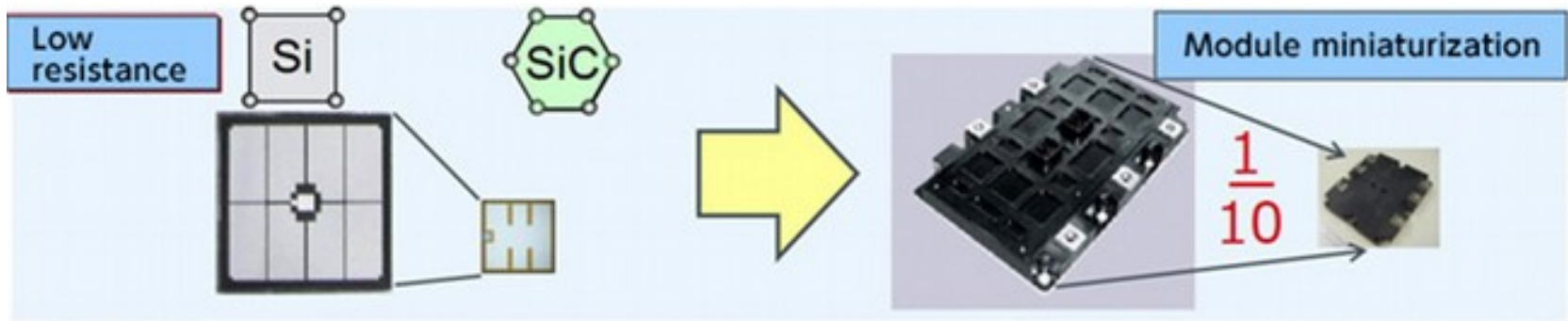
Figure 9: Basic power electronics circuit of the three phase inverter in B6 topology

1. transformerless, unipolar switching, SiC
2. transformerless, unipolar switching, Si
3. transformerless, bipolar switching, Si
4. HF-transformer (16 kHz), Si
5. LF-transformer (50/60 Hz), Si

Conventional and Transformerless Inverters



SiC ve Si anahtarların karşılaştırılması



SiC ve Si anahtarların karşılaştırılması

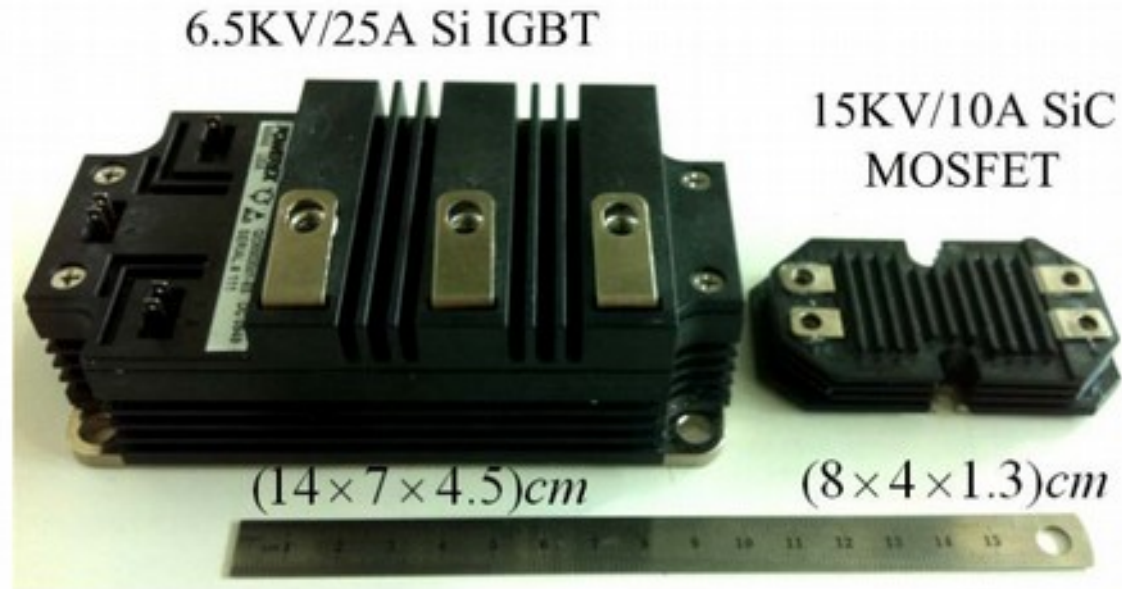
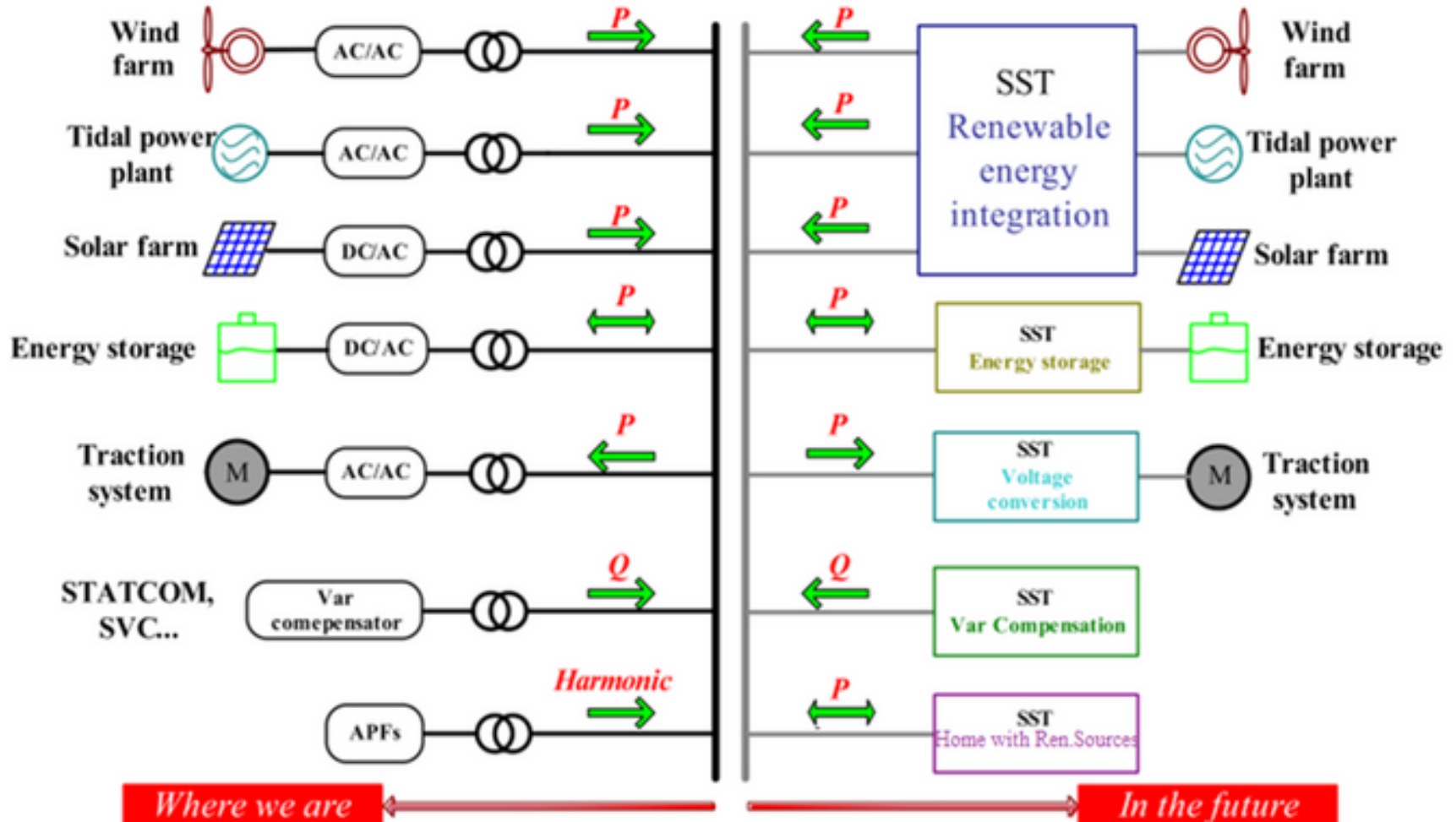


TABLE V
SWITCHING LOSS COMPARISON OF DEVICES

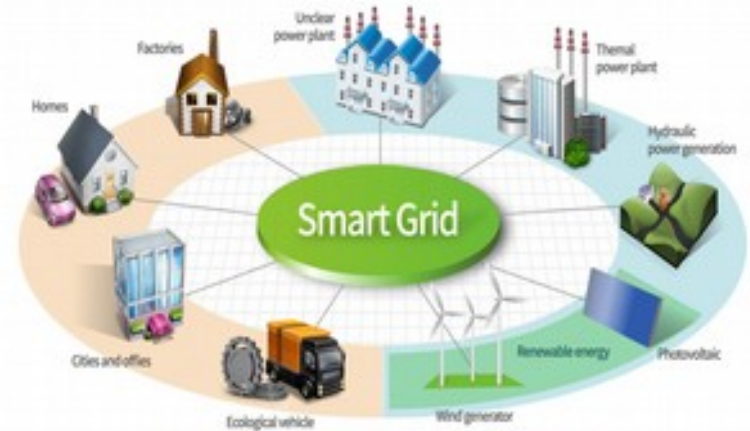
<i>Test condition</i>	<i>3.8kV,10A,25⁰C</i>	<i>6kV,10A,25⁰C</i>
Power device	6.5kV Si IGBT	15kV SiC MOSFET
Turn on loss	64.4mJ	14.46mJ
Turn off loss	32.7mJ	1.88mJ

Gelecekteki dağıtım sistemlerinde olası SST uygulamaları



Akıllı Şebeke (Smart grid)

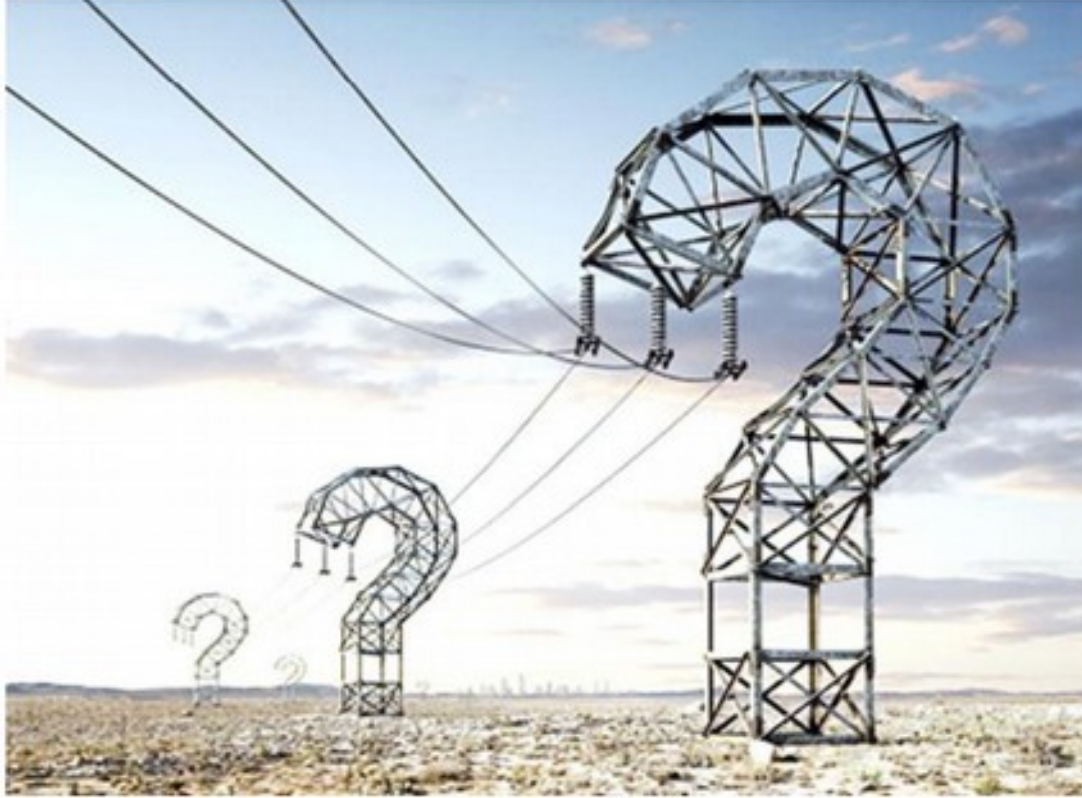
- Akıllı sayaçlar ve akıllı cihazların bulunduğu, yenilenebilir enerji kaynakları ve enerji verimli cihazların kullanıldığı Őebekeleridir.
- Elektronik güç kontrolü ve üretim, dağıtım ve tüketimin sürekli kontrol altında olması akıllı Şebekelerde esastır.
- Hedef güvenilir bir Şebeke elde ederek çevre dostu enerji üretim yöntemleri ile yükleri biraraya getirmek.
- **“Smart grid 1.0”**: Akıllı sayaçlar, sınırlı çapta haberleşme sınırlı oranda akıllı yükler ve akıllı operasyonlar (yani talep yönetimi)
- **“Smart grid 2.0” or “Energy Internet”**: Dağıtık üretim ve depolama, akıllı yükler, gelişmiş kontrol ve izleme sistemi



Kaynaklar

- D. Boroyevich, I. Cvetkovic, R. Burgos, D. Dong, "Intergrid: A future electronic energy network", IEEE J. Of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, 1(3), 2013
- F.Blaabjerg, D.M.Ionel, "Renewable Energy Devices and Systems – State-ofthe-Art Technology, Research and Development, Challenges and Future Trends", Electric Power Components and Systems, 43(12), 1319-1328, 2015.
- J.W.Kolar, J.E. Huber, " Solid-State Transformers (SST) Concepts, Challenges and Opportunities ", SST Workshop 2016, Zurich, Link: www.pes.ee.ethz.ch
- D. J. Becker, "What is a micro-grid?", Link: <https://www.pσμα.com/sites/default/files/uploads/tech-forums-energy-efficiency/presentations/is201-what-micro-grid.pdf>

DİNLEDİĞİNİZ İÇİN TEŞEKKÜRLER



SORULAR?