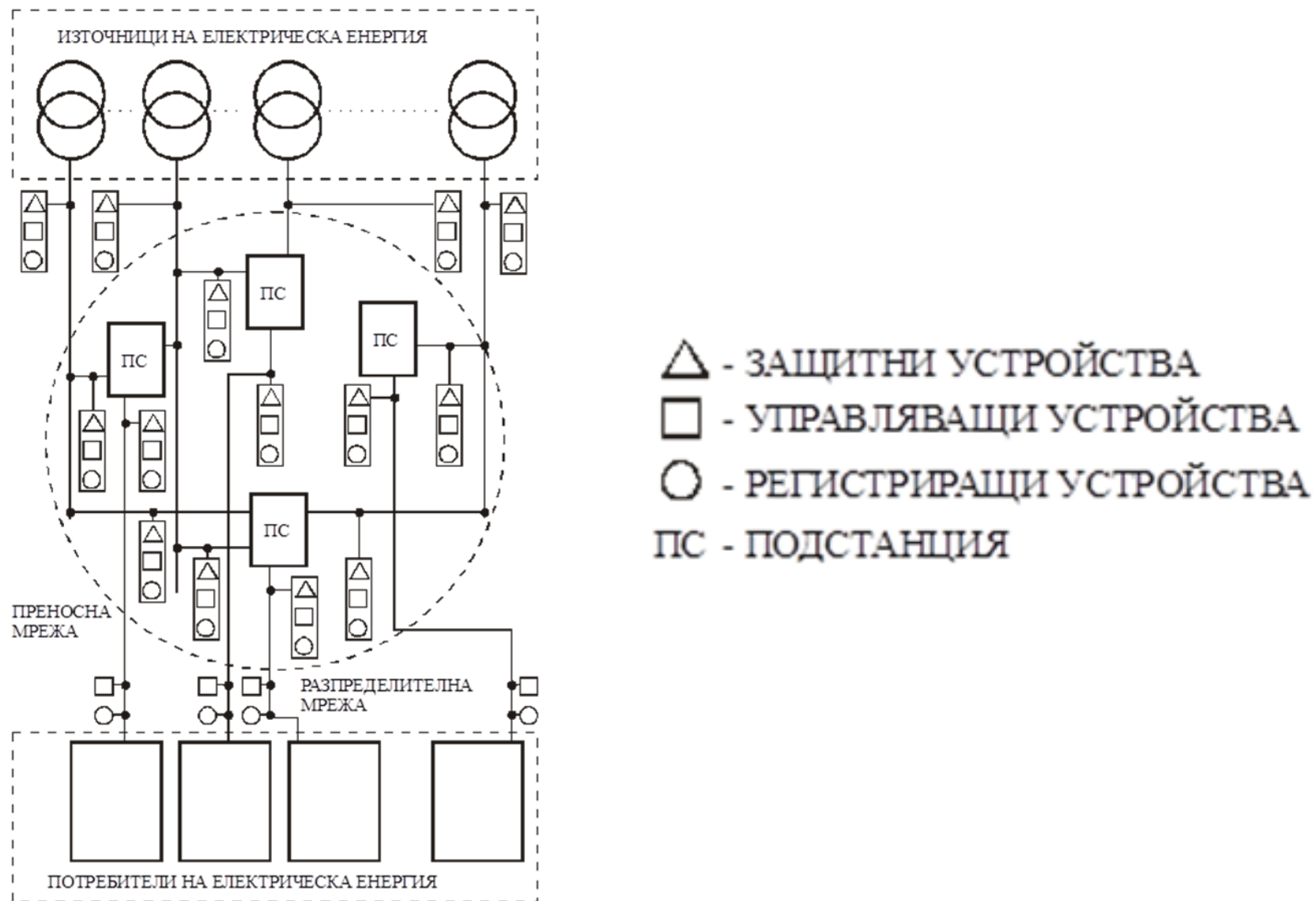


# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)



# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

Електроенергийната система (ЕЕС) включва производството (източниците на енергия), преносът (далекопроводи, подстанции, трансформатори, прекъсвачи) и разпределението до потребителите на електрическата енергия. За следене и управление на процесите на всяко едно ниво от системата са включени голям брой различни защитни, управляващи и регистриращи системи и устройства, които да осигурят необходимата степен на надеждност и качество на работата във всички етапи от производството до потреблението.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

Отделните части на ЕЕС се свързват чрез подстанции. Чрез тях се контролира качеството на електроенергията и се предпазва системата от “разпадане”. Качествените показатели на електрическата енергия включват напрежение, честота, нелинейни изкривявания, симетричност (трифазна мрежа). Когато цялата система е свързана в паралел (това означава, че всички генератори, макар и през трансформатори са свързани един с друг) честотата е една и съща, но напрежението, симетричността, нелинейните изкривявания са различни в отделните участъци.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

Целта на управлението на електроенергийната система е да осигури надеждна, устойчива и безопасна работа при увеличаване на енергийната ефективност.

В производството, преноса и разпределението на електрическа енергия първостепенна роля за устойчивата работа и сигурността изпълняват защитните и управляващите устройства и системи - релейни защиты, регулатори, и измервателните – датчици, регистратори и др.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

При потреблението с оглед на растящите цени на електрическата енергия и стремежа за повишаване на ефективността е необходимо точното регистриране на консумираната енергия и правилното управление на товарите. За изпълнение на тези изисквания се разработват и внедряват управляващи и регистриращи устройства с висока точност и надеждност на работа - електромери, регистратори на показателите за качество на консумираната енергия, регулатори на фактора на мощността и др.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

Основните предизвикателства пред управлението на съвременните енергийни системи са въвеждането на възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) и бързо променящи се товари, които имат не напълно предвидим характер. Производството на ВЕИ зависи от параметрите на околната среда – вятър, слънцегреене и т.н. Затова прогнозата за времето става съществен фактор при управлението на електроенергийната система. С цел максимално използване на произведената енергия от ВЕИ, тя трябва да се пренасочва към консуматорите и да се изключват традиционните производства.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

Пример за бързо променящи се товари са зарядните станции за електрическите превозни средства. За да се осигури необходимото количество енергия към тези станции са необходими превключвания в системата, които да се изпълняват за кратко време и също така да не водят до аварии.

Възможен подход за преодоляване на предизвикателствата е статистическа обработка на натрупаната информация за генерацията от ВЕИ и консумацията на зарядните станции, която да подпомага диспечерите при взимането на решения за управление на системата.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

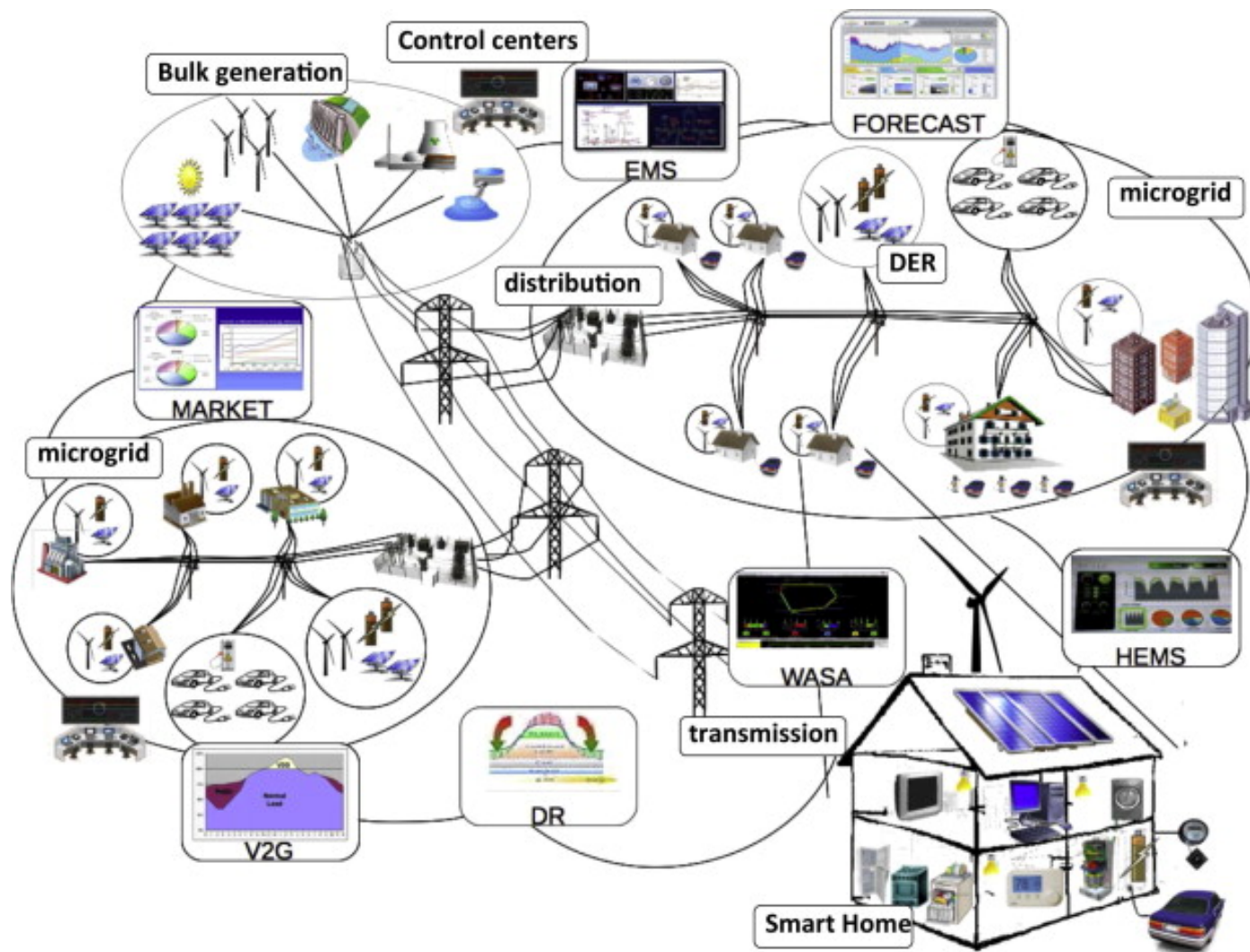
Развитието на информационните и комуникационните технологии и тяхното интегриране в управлението на електроенергийната система води до изграждането на Smart grids.

По дефиниция това са интелигентни, енергийни мрежи, които могат ефективно да интегрират поведението и действията на всички свързани към тях участници - производители, потребители и тези, които са и двете - за да се гарантира икономически ефективна и устойчива енергийна система с ниски загуби и високо качество, сигурност на доставките и безопасност.



# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

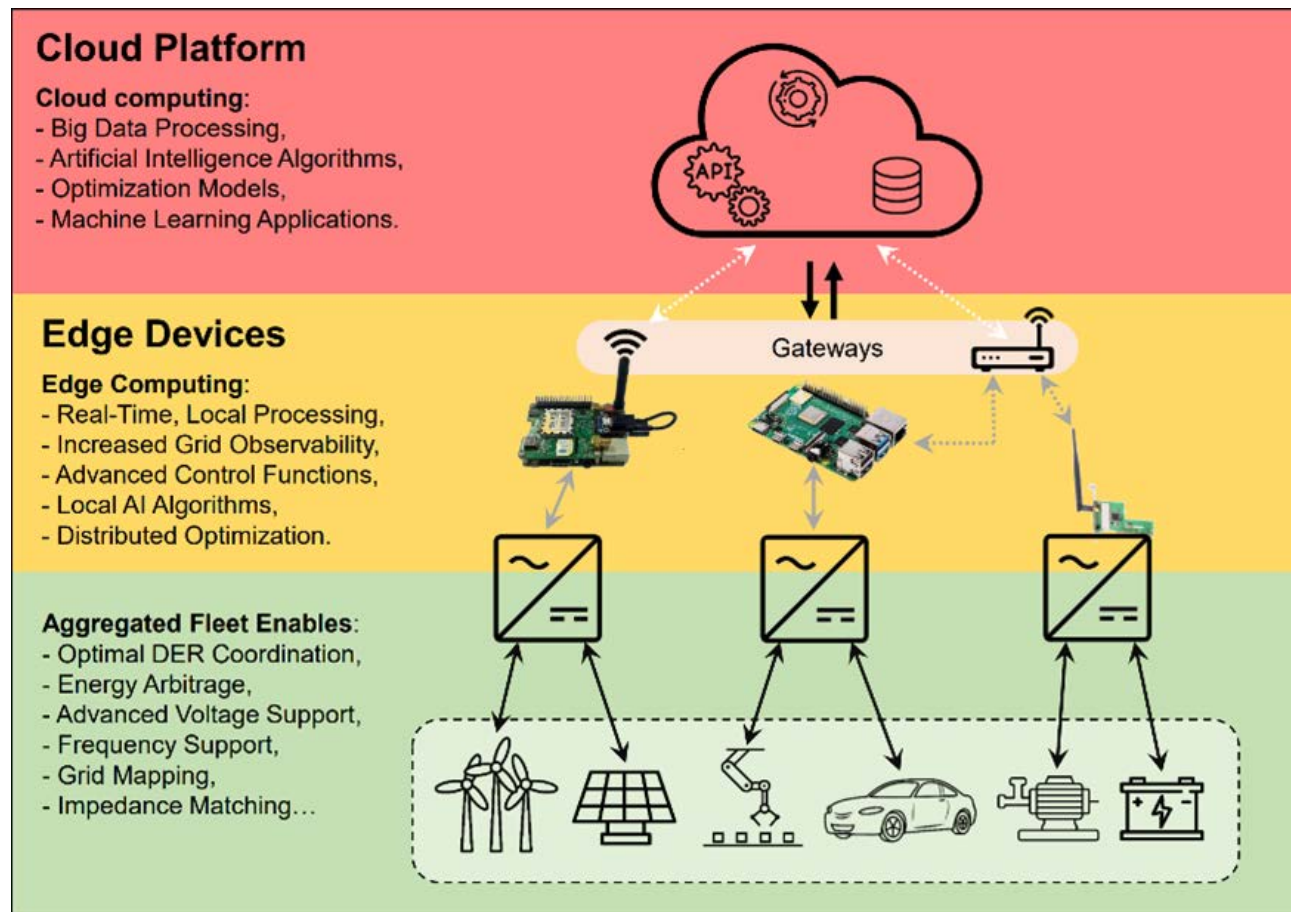


DER - Distributed Energy Resources  
DG - Distributed generation  
DR - Demand response  
EMS - Energy management system  
V2G - Vehicle-to-grid  
WASA - Wide-area situational awareness

Основен модел на  
интелигентна енергийна  
мрежа

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)



Облачни платформи и периферните изчислителни устройства за следене и управление на силови електронни преобразуватели

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

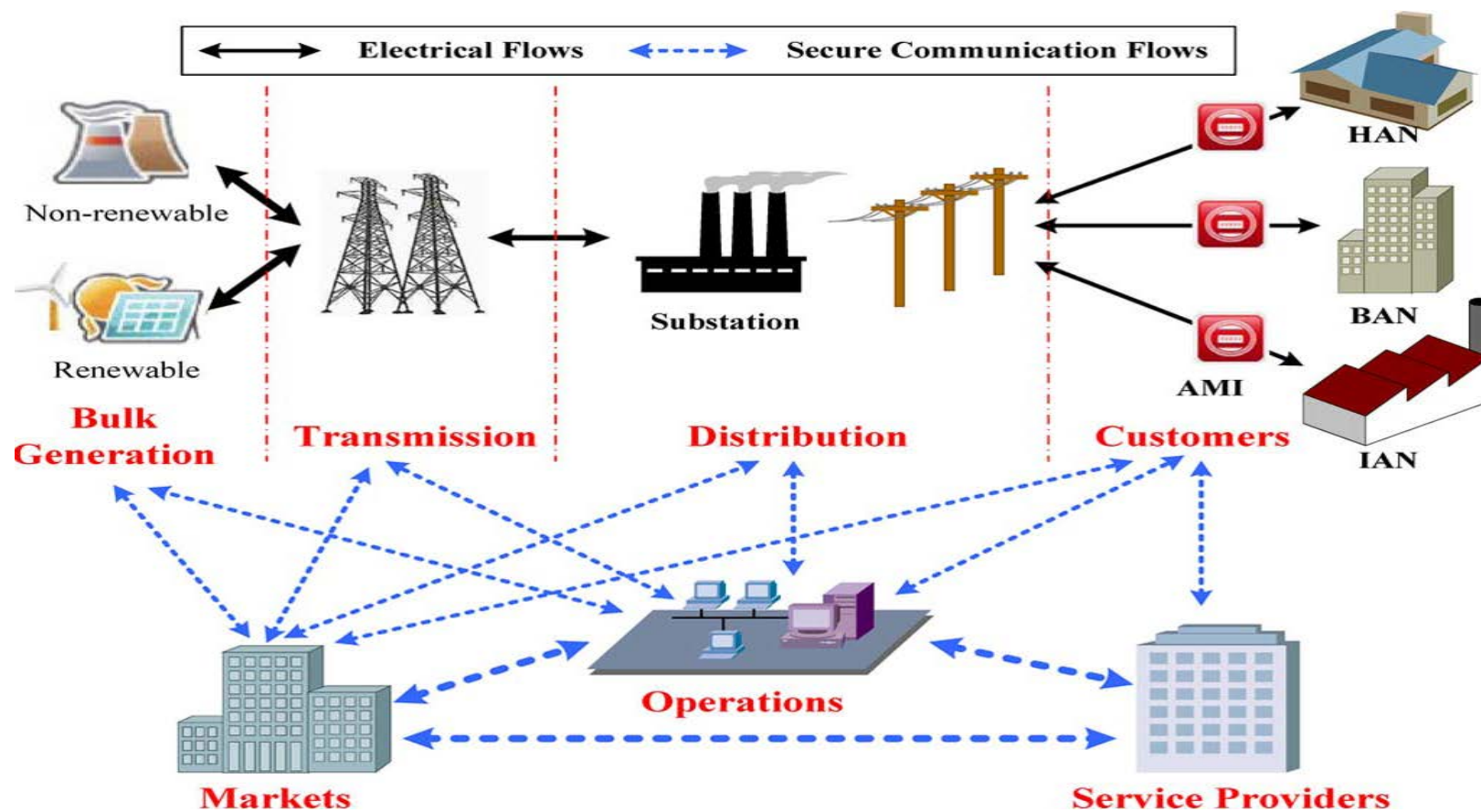
## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)

В съвременните енергийни системи се появяват нови участници във веригата между производителите и потребителите. Това са пазарите, операторите и доставчиците на услуги. Следователно в интелигентните системи освен енергийни потоци се обменят и информационни потоци.

Развиват се нови инфраструктури като AMI (Advanced metering infrastructure), Home automation networks (HAN) и Building automation networks (BAN), както и Industrial automation networks (IAN).

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Структура на електроенергийната система (ЕЕС)



Енергийни и  
информационни потоци  
в интелигентна мрежа

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Основни задачи при управление на ЕЕС

### 1) Регулиране на напрежението и честотата.

Напрежението се регулира в отделните части от мрежата с превключване на изводи от трансформаторите. Поддържането на честотата е по сложно. Когато системата е в паралел, всички генератори се въртят синхронно. Техните управления работят за отдаване на максимална мощност, а една от електроцентралите поддържа честотата като “води” останалите. При свързване на електроенергийните системи на две страни обикновено по-голямата определя честотата.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Основни задачи при управление на ЕЕС

2) Защита на системата от аварии.

3) Компенсиране на реактивните загуби.

Обикновено товарите имат комплексен характер. Повечето електрически машини имат индуктивна съставка в товара (особено на празен ход), а токоизправителите - капацитивна. Преносът на реактивна енергия води до загуби. Компенсирането става като в непосредствена близост до реактивния консуматор се включват елементи с “обратна” реактивност – при товари с индуктивен характер се включват компенсиращи кондензаторни батерии.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Основни задачи при управление на ЕЕС

### 4) Оперативно управление (диспечеризация) на ЕЕС.

Това означава непрекъснато следене на параметрите на системата, пренасочване на енергийните потоци, включване и изключване на електростанции и изключване на консуматори при аварийна ситуация, което се налага когато консуматорите са повече от максималната генерирана мощност. Случва се (освен при аварии) при особени поводи – едновременно включване на битови консуматори в празнични дни или отоплителни уреди при рязко застудяване когато централното отопление не е включено.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Основни задачи при управление на ЕЕС

5) Измерване на активна и реактивна електрическа енергия.

Количествата отдадена, пренесена и консумирана електрическа енергия се измерват на възлови места в електроенергийната система. Това става при производителите на енергия (електростанции), в подстанциите (пренос) и най-вече при крайните консуматори. От изключителна важност са надеждността и точността, тъй като в резултат на тези измервания се извършва заплащане.



# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Предназначение и основни свойства на релейните защиты

Повредите и ненормалните режими са неизбежни в работата на електроенергийната система. За да се осигури непрекъснато и качествено електроснабдяване на потребителите, незасегнати пряко от повредите, и да се намалят до минимум стопанските загуби е необходимо повреденият участък да се изключи от мрежата за десети и стотни от секундата след появяването на повредата. Тази задача се възлага на специална автоматика в електроенергийната система, наречена релейна защита.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Предназначение и основни свойства на релейните защиты

За целта тя непрекъснато следи състоянието на защитавания обект, като получава от него информация под формата на електрически величини (най-често ток, напрежение). При повреда, под действието на получената информация от обекта тя реагира, съгласно предварително заложената в нея програма. Така релейната защита функционира като кибернетично устройство, което управлява електрическите съоръжения при аварийни режими. Смята се, че тя е едно от първите електрически кибернетични устройства.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Предназначение и основни свойства на релейните защиты

Определението за релейна защита според Българския Държавен Стандарт е: “реле или група релета и спомагателни устройства, предназначени в случай на повреда или ненормални условия да изключат чрез въздействие върху прекъсвача определен елемент на уредбата (машина, трансформатор, линия и др.) или да задействат сигнал.”

Релейната защита се поставя към определено съоръжение от електроенергийната система (генератор, трансформатор, електропровод и др.), което е обект на защитата.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Предназначение и основни свойства на релейните защиты

Нарушаването на нормалната работа става както от повреди в защитавания обект, така и от повреди извън него. То може да се предизвика и от други причини извън защитавания обект. При всички нарушения стойностите на електрическите, а в някои случаи и на неелектрическите величини, се изменят. Изменението им може да служи на защитата като указател за появяването на повреди и нарушаването на нормалния режим в защитаваните съоръжения. Затова тези величини се използват като въздействащи величини на релейните защиты.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Предназначение и основни свойства на релейните защиты

Основните свойства на функционирането на релейните защиты се определят от изискванията към тях за селективност, бързодействие, чувствителност и надеждност. Те се поставят на три равнища: на най-високото е селективността на защитата, на второто - устойчивостта на функционирането и на третото - надеждността на функционирането. Селективността и устойчивостта се включват в техническото съвършенство. Селективността на релейната защита е най-главното й свойство. Чрез нея се осигурява ефективно изключване на повредения участък от най-близките прекъсвачи.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Предназначение и основни свойства на релейните защиты

В зависимост от въздействащата величина защитите се разделят на: токови - реагират на изменението на тока или на съставките му; напрежителни - реагират на изменението на напрежението; посочни - реагират на посоката (на фазовия ъгъл) на тока или на пренасяната мощност; дистанционни - реагират на измереното от основните релета на релейната защита отношение на напрежението и тока, което има размерност на съпротивление и е пропорционално на разстоянието от защитата до мястото на късото съединение.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

## Предназначение и основни свойства на релейните защиты

Съществуват също термични, които реагират на температурата на съоръженията или на отделни техни елементи и газови - реагиращи на скоростта на движението, на налягането или на нивото на газ в защитавания обект.

Релейните защиты заработват при повишаване или при понижаване на въздействащата величина. В първия случай се наричат максимални, а във втория - минимални. Има защиты, които заработват тогава, когато има разлика между измерените стойности на една и съща величина, които се наричат диференциални.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

За целите на оперативното управление на електроенергийната система се извършва дълговременно следене (мониторинг) на стойностите на величините от електроенергийната система чрез използване на различни видове измервателни преобразуватели.

Електрическите величини са напрежение, ток и честота на трифазна система. След тяхното измерване се изчисляват производните величини – активна ( $P$ ), реактивна ( $Q$ ) и пълна ( $S$ ) мощност и енергия, фазова разлика, фактор на мощността, нелинейни изкривявания и др.



# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Основните видове измервателни преобразуватели са:

- преобразуватели на средна стойност на променлив ток (AC Average Current transducers) или на истинска ефективна стойност (true RMS) на входния ток;
- преобразуватели на средна стойност на променливо напрежение (AC Average Voltage transducers) или на истинска ефективна стойност (true RMS) на входното напрежение;
- преобразуватели за честота на входното променливо напрежение;

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

- преобразуватели на активна ( $P$ ), реактивна ( $Q$ ) или пълна ( $S$ ) мощност. Използват се за наблюдаване и управление на енергийни потоци и при компенсиране на реактивната енергия. Те измерват ефективната стойност на токовете и напреженията;

- универсални преобразуватели. Тези устройства измерват напреженията и токовете в трите фази и след това чрез изчисления дават информация за всички параметри: напрежение, ток, честота, мощност, енергия, посока на енергията, нелинейни изкривявания, фазови разлики и т.н.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

- специфични измерватели на отделни величини - на върхови стойности на ток или напрежение и др. Обикновено те се използват в електростанциите при пускане (развъртане) на генераторите;
- измерватели на постоянно напрежение и ток – най-често за следене на заряда на акумулаторите за резервно хранване в подстанциите;
- измерватели на неелектрически величини – температура на трансформаторите, вибрации на генераторите и др.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Входните параметри на измервателните преобразуватели за променлив ток са стандартизирани.

- входното напрежение е  $100V$  линейно или  $57,7V$  фазно;
- входният ток е  $5A$  или  $1A$ .

Тези стойности са за трансформаторно присъединяване на напрежителните и токовите вериги на преобразувателите. Това са номиналните стойности, като преобразувателите трябва да работят точно и при претоварване 20-30%, т.е до  $130V$  и  $6A$  ( $1,2A$ ).

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Директно присъединяване на преобразувателите се извършва само при мрежи за ниско напрежение (400V).

Има ограничения за консумираната от преобразувателя мощност от измервателните вериги. От напрежителните вериги се допуска консумация с мощност до 10VA, а от токовите - 4VA. Консумацията се задава в пълна мощност VA, а не в активна – W. В някои случаи входните вериги се използват и за захранване на преобразувателя при спазване на това ограничение.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Точността, която се изисква от тези преобразуватели се определя от мястото където ще се използват. Изискваната от преобразувателите точност се отнася към обхвата (приведена грешка), а не към измерваната величина (относителна грешка). Типичните стойности са 1%-2%, а в определени случаи 0,5%-0,2%, рядко 0,1%. Това се определя от възможностите за регулиране, от параметрите които се изискват от стандартите, както и от съществуващата система.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

В зависимост от приложението, вида на захранващата мрежа (еднофазна или трифазна) и товара (балансиран или небалансиран) съществуват различни конфигурации на измервателните преобразуватели, които се различават по броя на напржителните и токовите входове (брой елементи).

Елемент е електронна схема в преобразувател за мощност, която има напржителен и токов вход.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

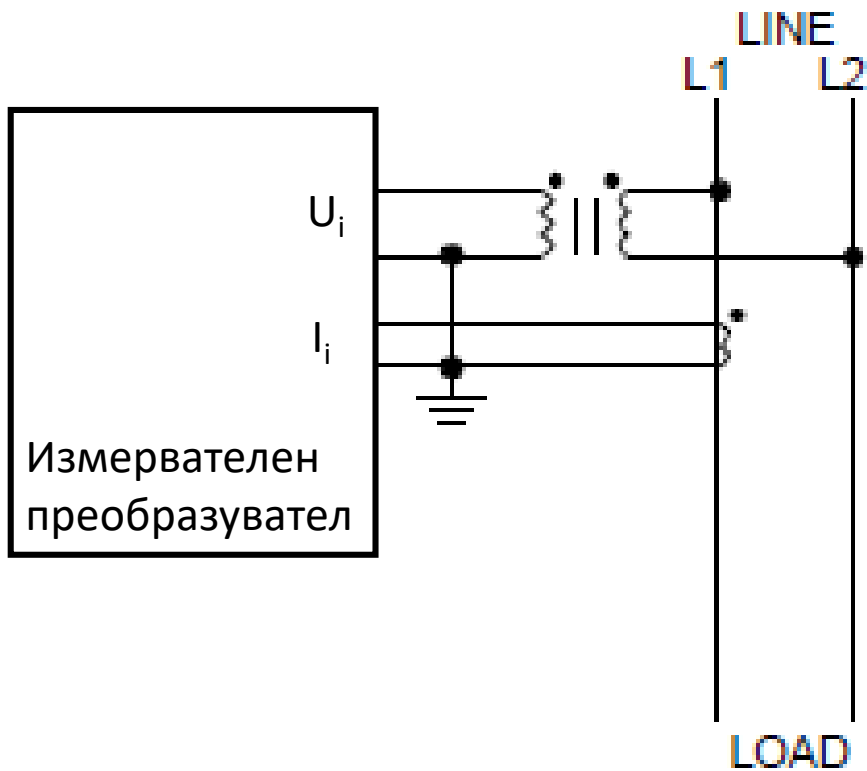
## Измерване на основните величини в електроенергийната система

Конфигурация на преобразувателя	Захранваща мрежа	Типично приложение / ограничения
1 елемент	120/240V	Домашни уреди и осветление
1½ елемент	120/240V	Жилища / балансиран товар
2 елемента	240 и 480V линейно напрежение (схема триъгълник)	Подстанции и индустриални задвижвания
2½ елемента	120/208 и 277/480V (схема звезда)	Индустриално и търговско / балансиран товар
3 елемента	120/208 и 277/480V (схема звезда)	Индустриално и търговско / небалансиран товар

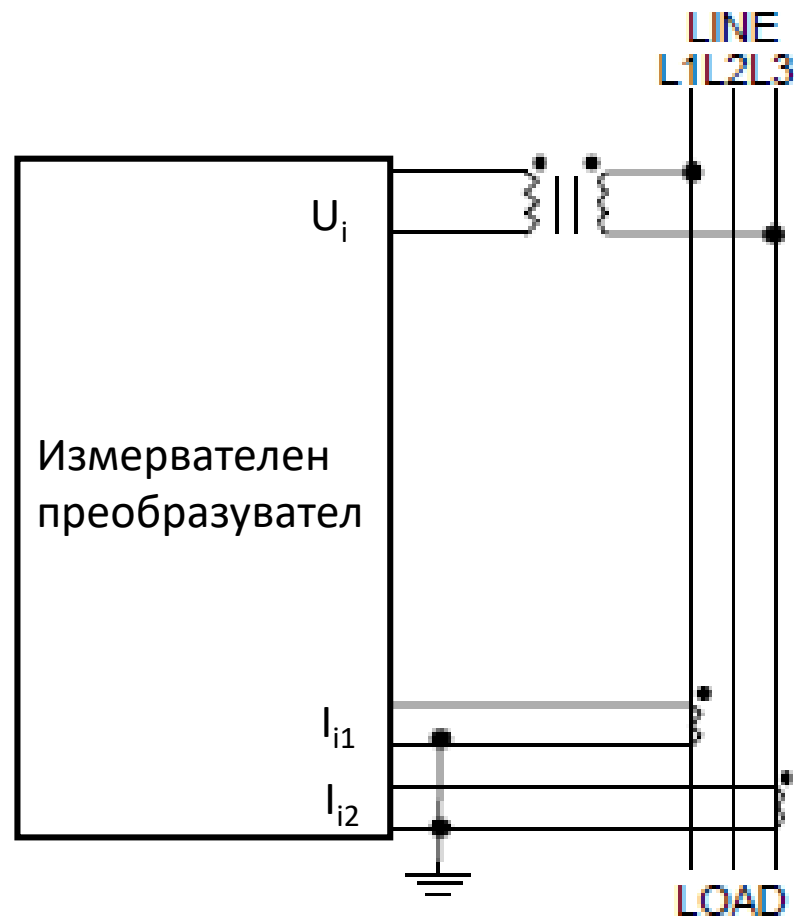


# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система



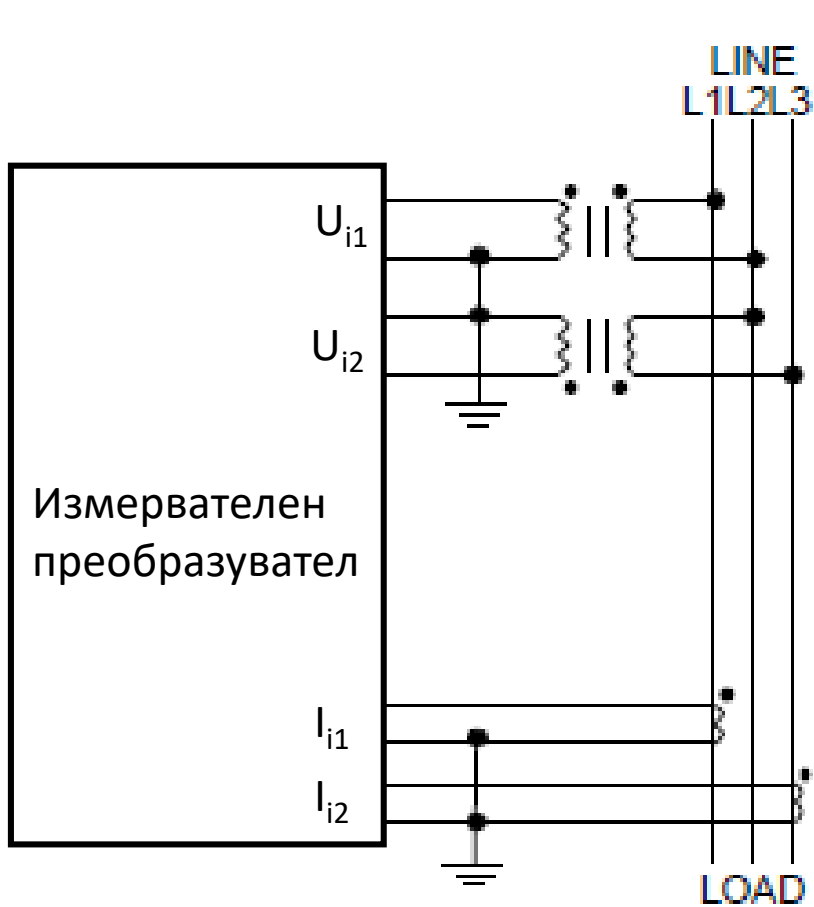
1 элемент



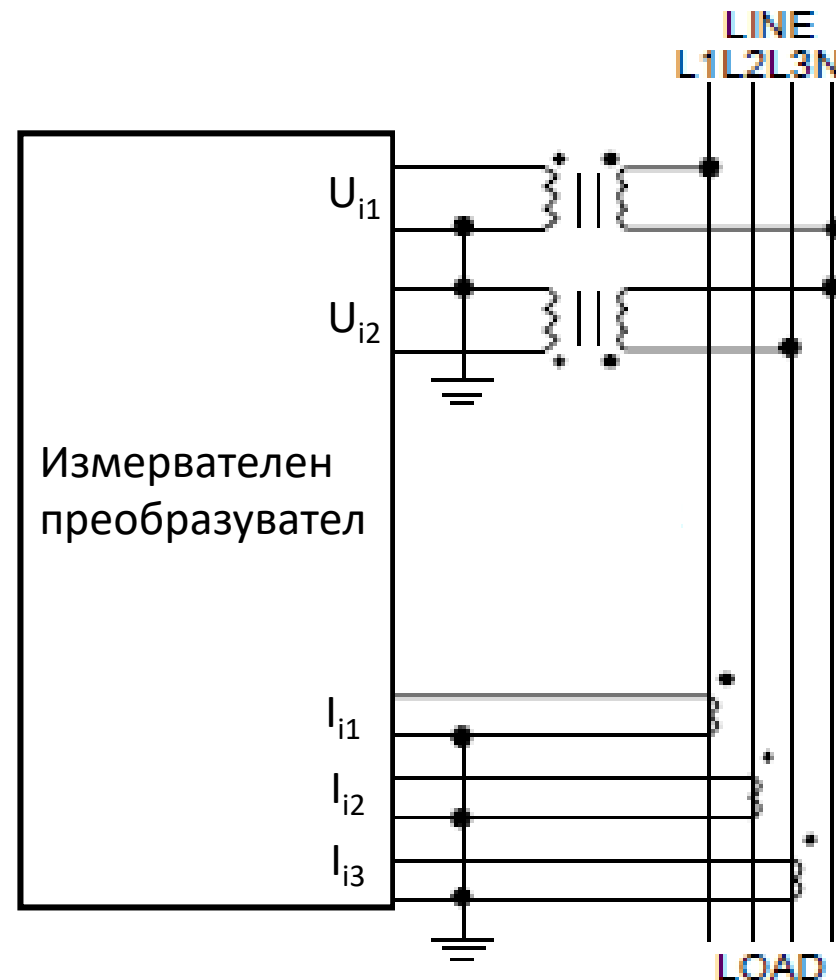
1½ элемент

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система



2 елемента

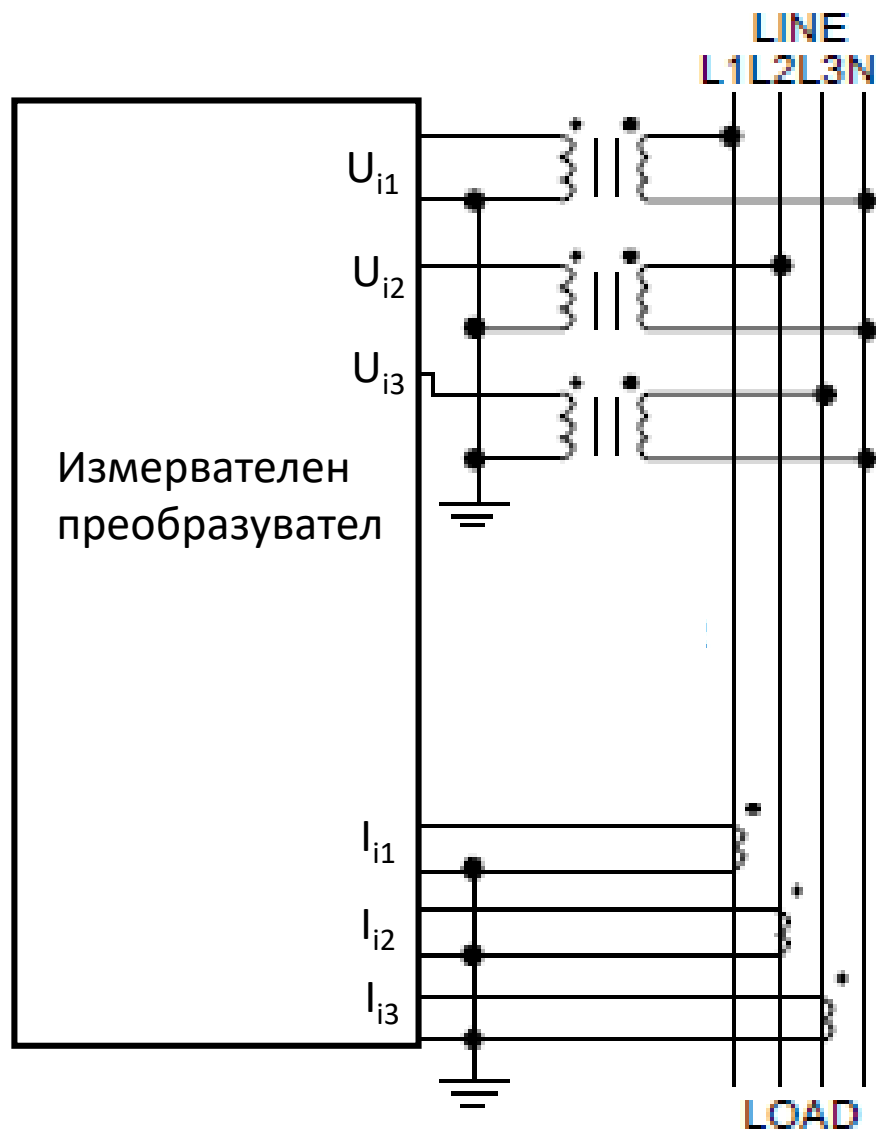


2½ елемента

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

3 елемента



# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Изходите на преобразувателите са няколко вида – аналогови (ток и напрежение), импулсни и цифрови.

От аналоговите по-разпространени са тези с ток поради по-голямата шумоустойчивост на токовата връзка. Използват се стандартни изходи  $0\div 5\text{mA}$ ,  $-5\div +5\text{mA}$ ,  $4\div 20\text{mA}$ . При напрежителен изход се използват стойности от  $-10$  до  $+10\text{V}$ . Двуполярните изходи се използват за предаване на информация за величини с посока като мощност.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Импулсните изходи обикновено се използват при преобразуватели за енергия. Всеки импулс съответства на определено количество енергия. Реализира се най-често с реле или оптично.

При цифровите изходи най-често като физически слой се използва RS 485. Като протоколи се използват Profibus, Modbus и др.

С развитието на индустриалните мрежови технологии и концепцията за IoT се използват Ethernet-базирани протоколи като Profinet.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Захранването на измервателните преобразуватели обикновено е от отделен източник, особено когато се измерват истински ефективни стойности. При изходи  $4\div 20\text{mA}$ , които по стандарт се захранват от апаратурата към която са свързани преобразувателите, 4-те mA може да се използват, ако са достатъчни. При съвременните средства това е възможно, особено за по-прости преобразуватели за средна стойност на ток и напрежение, както и за честота. Източникът на захранване се предпочита да е автономен защото устройството ще работи и когато отпадне измерваната величина.

# Електронни устройства за измерване и управление в електроенергетиката

Измерване на основните величини в електроенергийната система

Много е важно да се обърне внимание на галваничното развързване между входа, изхода и захранването на преобразувателя. Това дава възможност входовете и изходите на отделните преобразуватели да се свързват паралелно и последователно в зависимост от необходимите измервания, без това да влияе върху работоспособността им. Поради големите смущения които възникват в ЕЕС, особено при аварии, преобразувателите трябва да издържат големи напрежения между входовете, изходите и захранването в зависимост от стандартите - 2, 4, 8 kV.