

X POWER / ACADEMY

Reaktivna snaga: rasprava o značenju

Složena pitanja

Elektroenergetika ume da iznenadi i tamo gde su formule poznate već stotinu godina. Instrument pokazuje kvar, oprema se zagreva, a ugovor stvara obavezu. Šta je tačno izmereno? Zašto se ova veličina naziva snagom? Da li fizičar, inženjer, metrolog i učesnik na tržištu pod njom razumeju isto?

Ovaj udžbenik nastao je iz pitanja o samoindukciji, klatnu, Tesli, rezonansi i plaćanju kompenzacije. Pomaže čitaocu da proveri objašnjenje, ponovi proračun i utvrdi koji dokaz zahteva određena transakcija. Brojčani primeri su hipotetički. Izvori su provereni 23. septembra 2026.



Izdanje 1.0 · 23.09.2026.

xpower.agency / Složena pitanja

Sadržaj

1. Jedan pojam, četiri različita pitanja
2. Formule i granice njihovog značenja
3. Dva primera koja menjaju uobičajenu sliku
4. Može li drugačije da se nazove?
5. Ko je raspravljao i o čemu?
6. Harmonici: jedan trougao nije dovoljan
7. Šta brojilo zapravo meri?
8. Šta donosi kompenzacija: kompletan proračun
9. Napon, mesto i mogućnosti invertora
10. Tesla, rezonansa i veoma veliki kvar
11. Ko kome plaća?
12. Šta može da se tokenizuje?
13. Pasoš rezultata i hipotetička transakcija
14. Kako osmisliti ubedljiv eksperiment
15. Pitanja za samostalnu proveru
16. Šta ostaje otvoreno?

Izvori i granice provere

Na sajtu su dostupna dva interaktivna proračuna: trenutna snaga jedne i tri faze i kompenzacija pri stalnoj aktivnoj snazi. Brojčani primeri su u poglavljima 2, 3 i 8 ovog PDF-a.

1. Jedan pojam, četiri različita pitanja

U razgovoru o reaktivnoj snazi predmet rasprave često se promeni neprimetno. Počinje se energijom uskladištenom u polju, zatim se prelazi na izračunatu veličinu Q , smanjenje struje kabla i, konačno, cenu usluge. Svaka tvrdnja može imati smisla u svom kontekstu. Poteškoća nastaje kada prelazi između tih konteksta ostanu neobjašnjeni.

Nivo	Pitanje	Dokaz
Fizika	Kako se menja energija polja i kuda se prenosi?	Energetski bilans, naponi i struje, model polja
Teorija električnih kola	Kako je Q definisano za dati režim?	Formula i jasno navedene pretpostavke
Merenje	Kako je instrument dobio broj?	Veza, algoritam, vremenski prozor, nesigurnost
Ekonomija	Ko kome plaća i za koju radnju?	Ugovor, pravilo obračuna, prihvaćen rezultat

Elektrodinamika daje proverljiva predviđanja. Ipak, načini da se složen proces svede na jedan broj mogu biti različiti. Standard utvrđuje korisnu i ponovljivu mernu konvenciju. Teorija objašnjava izabrana svojstva sistema. Ugovor određuje obavezu. Njihovu usklađenost treba posebno proveriti.

Pitanje „da li reaktivna snaga postoji?” zato treba precizirati: da li postoji razmena energije polja; da li Q može da se izračuna; da li izabrani pokazatelj opisuje dodatnu struju; da li je priznat kao osnov plaćanja? To su različita pitanja. Rasprava o nazivu sama po sebi malo govori o tome da li kondenzatorsko postrojenje radi.

2. Formule i granice njihovog značenja

Počnimo jednom fazom u ustaljenom sinusoidalnom režimu i pasivnom konvencijom znaka: pozitivna snaga ulazi u potrošač. U i I su efektivne vrednosti; φ je pozitivan kada struja kasni za naponom. Kružna učestanost je $\omega = 2\pi f$.

$$\begin{aligned} u(t) &= \sqrt{2} U \cos(\omega t); i(t) = \sqrt{2} I \cos(\omega t - \varphi) \\ p(t) &= u(t)i(t) = P + P \cos(2\omega t) + Q \sin(2\omega t) \\ P &= UI \cos \varphi; Q = UI \sin \varphi; S = UI; S^2 = P^2 + Q^2 \end{aligned}$$

Trenutna snaga $p(t)$ opisuje brzinu prenosa energije kroz izabranu granicu. Njena srednja vrednost P daje neto prenos tokom perioda. P je pozitivno pri potrošnji, a negativno pri regeneraciji u ovoj konvenciji. Aktivna snaga može preći u mehanički rad, toplotu, svetlost ili energiju akumulatora. Reč „aktivna” sama ne govori da li je proces koristan ili nepovratan.

Q je koeficijent uz kvadraturni član ovog izraza. U ustaljenom režimu Q je konstantno i njegova srednja vrednost jednaka je njemu samom. Nultu srednju vrednost ima član $Q \sin(2\omega t)$. Amplituda celog promenljivog dela $p(t)$ jednaka je S . Zato tvrdnja „ Q je amplituda oscilacije snage” zahteva pojašnjenje: koje komponente i i u kom modelu?

Za idealan otpornik $\varphi = 0$ i $Q = 0$, ali $p(t)$ pulsira od nule do $2P$. Pulsiranje snage samo po sebi ne dokazuje vraćanje energije. Za idealan kalem $P = 0$ i $Q > 0$, a $p(t)$ zaista menja znak. Klatno je ovde korisna analogija: uskladištena energija periodično menja oblik, a gubici zahtevaju dopunu.

$$W_L = Li^2/2; W_C = Cu^2/2; Q_L = \omega Li^2; Q_C = -\omega Cu^2$$

W se meri u džulima, a Q u varima. Za pojedinačni idealni L ili C pri sinusoidalnim veličinama važi $|Q| = \omega W_{\max}$. Ovaj odnos povezuje uskladištenu energiju i učestanost razmene. Povećanje učestanosti može povećati kvar pri istoj zalihi džula. Iz toga ne proizlazi univerzalno pretvaranje kvar u kWh.

3. Dva primera koja menjaju uobičajenu sliku

Tri faze. Posmatrajmo simetrično sinusoidalno trofazno opterećenje. Fazni naponi i struje međusobno su pomereni za 120° . Sabiranjem tri izraza $p(t)$ poništavaju se članovi dvostruke učestanosti:

$$p_a(t) + p_b(t) + p_c(t) = 3U_{\text{phase}} I_{\text{phase}} \cos \varphi = P_{\text{total}}$$

Ukupna trenutna snaga je konstantna, dok $Q_{\text{total}} = 3U_{\text{phase}} I_{\text{phase}} \sin \varphi$ može biti različito od nule. Za tri jednaka idealna kalema $P_{\text{total}} = 0$, a ukupna uskladištena magnetna energija takođe je konstantna. Razmena unutar svake faze postoji. Jednostavna jednofazna slika ne može se bez izmena preneti na zajedničku trofaznu granicu. Granica sistema je bitna.

Upravljeni otpornik. Idealan otpornik sa simetričnim faznim upravljanjem tiristorom ili trijakom može imati struju čiji osnovni harmonik kasni za naponom. Tada $Q_1 \neq 0$, iako je $p(t) \geq 0$, a idealan otpornik ne skladišti energiju. Uzrok su komutacija i oblik struje. Ovu vrstu kontraprimera razmatra Lešek Čarnecki. [S4]

Oba primera mogu se proveriti proračunom. Oni ograničavaju tumačenje Q isključivo energijom koja se vraća izvoru. Takvo objašnjenje ostaje korisno za konkretno jednofazno LC kolo. Jedna slika ne može obuhvatiti sve instrumente, režime i definicije.

4. Može li drugačije da se nazove?

Predlog da se sve nazove samoindukcijom privlačan je jer vraća razgovor na mehanizam. Samoindukcija povezuje promenu struje, magnetnog fluksa i indukovane elektromotorne sile; za jednostavan linearan kalem važi $e = -L \, di/dt$. Međutim, postoji i kapacitivno ponašanje, a upravljeni otpornik može imati nenulto Q_1 . Taj naziv obuhvata samo deo teme.

Naziv	Šta pomaže da se razume	Gde je potreban oprez
Reaktivna snaga	Uobičajen jezik proračuna i ugovora	Navesti definiciju Q
Kvadratura snaga	Geometrija sinusoidalnih komponenti	Za harmonike navesti učestanost i način sabiranja
Bezvatna snaga	Istorijsko odsustvo srednje snage idealne reaktivne grane	Struja i dalje izaziva aktivne gubitke u realnoj mreži
Razmena energije polja	Fizika kalema i kondenzatora	Opisu procesa može odgovarati više pokazatelja
Amplituda razmene energije	Intuitivna slika jednostavnog oscilatornog sistema	Razlikovati džule i vate; trofazno uopštavanje je ograničeno
Neaktivna snaga	Ostatak izvan P u izabranom razlaganju	Može uključivati izobličenje i nesimetriju i ne mora biti jednaka Q

Tabela sadrži urednička nastavna objašnjenja. Istraživačima ne pripisuje izmišljene termine i ne proglašava zamenu standarda. U dokumentima je korisno zadržati prihvaćen naziv i navesti stvarnu veličinu, na primer „reaktivna snaga osnovnog harmonika Q_1 ”.

5. Ko je raspravljao i o čemu?

Istorija ove teme pokazuje promenu zadataka. Tesla se bavio uređajima, faznim odnosima i oscilacijama. Kasnije teorije obuhvatale su sve složenije režime, dok je metrologija tražila ponovljive definicije. Slede kratki prepričani stavovi, bez izmišljenih citata.

Autor ili pristup	Doprinos ili stav	Šta čitalac treba da proveri
Nikola Tesla, 1891. i 1896.	US464666A koristi kondenzator za fazni pomeraj; US568179A opisuje punjenje i pražnjenje uz samoindukciju. [S1] [S2]	Konkretno kolo, izvor i mernu granicu
Charles Steinmetz	Simbolički proračun naizmenične struje povezuje fazu, impedansu i bezvatnu komponentu. [S3]	Sinusoidalne pretpostavke i oznake
Konstantin Budeanu	Q_B sabira reaktivne komponente harmonika sa znakom. [S5]	Komponente različitih učestanosti mogu brojčano da se ponište, dok struja ostaje
Stanislav Frize (Stanisław Fryze)	Struja se deli na aktivnu komponentu proporcionalnu naponu i ortogonalni ostatak. [S5]	Ostatak objedinjuje više uzroka dodatne struje
Akagi, Kanazava i Nabae, 1984.	Trenutna p-q teorija služi upravljanju trofaznom kompenzacijom. [S6]	Njeno q i uobičajeno Q imaju različite definicije
Lešek Čarnecki, CPC	Fizičke komponente struje; kritika oscilovanja energije kao univerzalnog objašnjenja Q. [S4] [S7]	Razlikovati reaktivnost, izobličenje i nesimetriju
R. Fetea i A. Petroianu	Ukazuju na mešanje srednje vrednosti i amplitude i razmatraju napuštanje naziva reactive power. [S8]	Zaključke čitati uz pretpostavke modela
Gaunt, Chisepo i Malengret, GPT	Predlažu model sistema sa gubicima, nesimetrijom i izobličenjem; osporavaju uobičajeno fizičko tumačenje Q. [S9]	Objašnjen autorski stav u raspravi koja traje
IEEE i IEC	Standardizuju definicije i merenje. IEEE 1459-2025 zamenio je izdanje iz 2010; IEC 62053-24:2020 izdvaja osnovne harmonike. [S10] [S11]	Izdanje, oblast primene i stvarni algoritam instrumenta

Učesnici rasprave ne pripadaju dvema jednostavnim grupama. Moguće je kritikovati fizičko tumačenje veličine i istovremeno je koristiti za upravljanje. Koristan algoritam kompenzacije može otvoriti pitanja o svom uopštavanju. Objavljivanje u časopisu CIGRE samo po sebi ne znači da su zaključci članka postali standard cele organizacije.

U ranijim razgovorima pojavila se i opaska pripisana Kolinu Šauderu o neprikladnom nazivu. Pouzdan primarni izvor upravo te formulacije nije utvrđen u proverenim materijalima, pa se ovde ne prikazuje kao citat. Dopadljive atribucije zaslužuju istu proveru kao formule.

6. Harmonici: jedan trougao nije dovoljan

Za periodične nesinusoidalne signale srednja aktivna snaga predstavlja zbir po odgovarajućim učestanostima: $P = \sum U_h I_h \cos \varphi_h$, uz pravilno obuhvatanje eventualne jednosmerne komponente. U jednofaznom kolu $S = U_{rms} I_{rms}$. Odnos P/S daje faktor snage PF pri potrošnji. Kosinus φ_1 odnosi se samo na osnovni harmonik.

Budeanuov pristup daje $Q_B = \sum U_h I_h \sin \varphi_h$. Pozitivni i negativni doprinosi različitih učestanosti mogu se poništiti. $N = \sqrt{(S^2 - P^2)}$ opisuje ukupan neaktivni ostatak pri izabranom S . Q_B , Q_1 i N uglavnom se razlikuju. Jednostavan izraz $S^2 = P^2 + Q^2$ zahteva proveru pretpostavki.

Hipotetički primer: napon sadrži samo osnovni harmonik $U_1 = 230$ V. Osnovni harmonik struje $I_1 = 10$ A u fazi je sa naponom; peti harmonik struje je $I_5 = 5$ A. Tada:

$I_{rms} = \sqrt{(10^2 + 5^2)} = 11,18$ A
 $P = 2\,300$ W; $Q_1 = Q_B = 0$
 $S = 2\,571,5$ VA; $PF = 0,8944$; $N = 1\,150$ VA

Instrument koji računa Q_1 pokazuje nulu. Instrument koji kao Q označava $\sqrt{(S^2 - P^2)}$ pokazuje 1 150. Pod tom oznakom drugi instrument koristi drugačiji pokazatelj. Poređenje brojeva bez uputstva za merenje nije dovoljno. Dodatna struja i zagrevanje su stvarni.

Pri sinusoidalnom naponu struja i dalje može sadržati više harmonike. Ako struja nema jednosmernu komponentu, važi $PF = \cos \varphi_1 / \sqrt{(1 + THD_I^2)}$. Pri $\cos \varphi_1 = 1$ i $THD_I = 50\%$ ponovo dobijamo $PF = 0,8944$. Kondenzatorska baterija izabrana samo prema $\cos \varphi_1$ ne rešava taj problem. [S12]

7. Šta brojilo zapravo meri?

Digitalni instrument uzorkuje napon i struju, obrađuje ih i daje izračunate pokazatelje. Za P su potrebni vremenski usklađeni proizvodi $u \cdot i$. Za Q primenjuje odabran postupak: izdvajanje osnovnog harmonika, spektralno sabiranje, kvadraturnu obradu ili drugi algoritam. Oznaka „true RMS” ne određuje algoritam za Q.

IEC 62053-24:2020 izričito povezuje svoju konvencionalnu reaktivnu energiju sa osnovnim harmonicima napona i struje. Obuhvata odgovarajuća brojila i njihova tipska ispitivanja. Ne propisuje jedinu definiciju za sve istraživačke analizatore. [S11]

Kašnjenje od četvrtine perioda daje 90° samo za osnovni harmonik. Za harmonik h pomeraj je $h \cdot 90^\circ$. Jednostavno kašnjenje $T/4$ i jednak kvadraturni pomeraj svih harmonika zato daju različite rezultate. Filtri, vremenski prozor i nestacionarnost takođe utiču na procenu.

Polje protokola	Šta upisati
Granica	Ulaz objekta, izvod, priključci motora ili LC grana
Veličina	P, Q_1 , Q_B , N i definisano S; PF i $\cos \phi_1$ odvojeno
Veza	Tri/četiri provodnika, raspored faza, smer i prenosni odnosi mernih transformatora
Vreme	Učestanost uzorkovanja ili dokumentovan metod, prozor usrednjavanja, vremenska zona
Kvalitet	Harmonici, nesimetrija, opseg napona, nedostajući podaci
Znaci	Smerovi P i Q, kvadranti i tačni registri
Sledljivost	Model, firmver, overavanje/kalibracija i merna nesigurnost

Registar kvarh sabira vremenski integral ugovorno izabranog Q. Može rasti dok idealna reaktivna grana ima nultu srednju aktivnu snagu. Zapis opisuje režim tokom intervala; nije jednak zalihi energije koja se kasnije može u celosti preuzeti. Značenje kvadranta i sabiranje registara proveravaju se prema dokumentaciji brojila.

8. Šta donosi kompenzacija: kompletan proračun

Pretpostavimo simetrično sinusoidalno trofazno opterećenje $P = 700$ kW pri međufaznom naponu 400 V. Faktor snage menja se sa 0,80 na 0,95. Korisna aktivna snaga i napon ostaju stalni. Svi brojevi su hipotetički.

Pokazatelj	Pre	Posle
Aktivna snaga P	700 kW	700 kW
Prividna snaga $S = P/PF$	875,00 kVA	736,84 kVA
Reaktivna snaga $Q = P \tan(\arccos PF)$	525,00 kvar	230,08 kvar
Linijska struja $I = P/(\sqrt{3} U_{LL} PF)$	1 262,95 A	1 063,54 A

Potrebna kompenzacija Q_c iznosi približno 294,92 kvar. Prividna snaga opada za 138,16 kVA, a struja za 15,79%. Pri istom otporu, gubici I^2R rasterećene deonice padaju na $(0,80/0,95)^2 = 0,7091$ prethodne vrednosti, odnosno smanjuju se za 29,09%.

Sada odredimo granicu uštede. Neka početni aktivni gubici upravo te deonice budu 30 kW. Posle intervencije iznose 21,27 kW, pa je bruto dobitak 8,73 kW. Ako kompenzator troši 0,50 kW, neto dobitak je 8,23 kW. Za 6 000 jednakih sati to je približno 49,35 MWh. Početni gubici i radni sati zadati su za vežbu; u projektu ih treba dokazati.

Procenat od 29,09% odnosi se na izabrane gubitke deonice. Ne određuje jednak procenat smanjenja ukupne potrošnje objekta. Smanjenje kVA takođe ne daje automatski ugovorno pravo na dodatne kW. Oprema, temperatura, profil opterećenja, zaštita, kvalitet napona i dokumenti priključenja ograničavaju novu potrošnju.

Mesto ugradnje menja rezultat. Kompenzacija kod motora rasterećuje veći deo napojnog puta. Zajednička baterija na ulazu smanjuje struju uzvodno, dok struje pojedinačnih izlaznih vodova ostaju. Izbor prema formuli Q_c zahteva posebnu proveru harmonika, komutacije i rezonanse. [S13]

9. Napon, mesto i mogućnosti invertora

U približnom modelu radijalnog voda promena napona zavisi od $R \cdot P + X \cdot Q$. U visokonaponskoj mreži reaktivni član često je posebno značajan; u niskonaponskoj mreži otpor R pojačava uticaj P . Smer, veličina i dozvoljenost delovanja zavise od stvarne šeme i režima.

Jedan Mvar u različitim čvorovima ima različitu vrednost. Usluga mora navesti čvor, opseg napona, vreme odziva, trajanje i raspoložive smerove regulacije. Zbir nazivnih kvar svih prodavnica ne dokazuje garantovan resurs u proizvoljnom čvoru mreže.

Za idealizovan inverter: $P^2 + Q^2 \leq S_{\text{rated}}^2$

Inverter od 100 kVA pri 80 kW ima geometrijsku granicu $|Q|$ od 60 kvar. Pri 100 kW takva rezerva u ovom modelu ne postoji. Stvarne granice određuju struja, temperatura, napon jednosmernog međukola, upravljanje i specifikacija uređaja. Neki uređaji mogu regulisati Q pri P blizu nule ako konstrukcija i režim to dopuštaju; sopstveni aktivni gubici ostaju.

Raspoloživost Q , rezerva aktivne snage, punjenje baterije i isporuka aktivne energije mogu se nadmetati za ista strujna ograničenja. Njihovu spojivost treba izračunati za svaki interval. Istraživanja upravljanja Q distribuiranim inverterima upravo razmatraju takva mrežna ograničenja. [S14]

10. Tesla, rezonansa i veoma veliki kvar

Rezonansa može stvoriti veliku struju u grani i visok napon na elementu uz relativno malu ulaznu snagu za pokrivanje gubitaka. Za razumevanje eksperimenta potrebno je istovremeno pratiti aktivni ulaz, reaktivne veličine pojedinačnih grana i uskladištenu energiju. Patent ili upečatljiva demonstracija ne zamenjuju takav bilans.

U hipotetičkom rednom RLC modelu učestanost je 1 000 Hz, efektivna struja 50 A, a naponi na kalemu i kondenzatoru po 1 000 V. Tada $|Q_L| = |Q_C| = 50\,000$ var. Moduli reaktansi iznose 20 Ω ; $L \approx 3,183$ mH i $C \approx 7,958$ μ F. Pri rezonansi $Q_L + Q_C = 0$ na spoljnoj granici, iako pojedinačni elementi imaju velike kvar.

$$E = |Q_L|/\omega \approx 7,96 \text{ J}$$

$$\text{Faktor dobrote } q_f = \omega E/P_{\text{loss}} = 100 \rightarrow P_{\text{loss}} = 500 \text{ W}$$

q_f označava bezdimenzioni faktor dobrote, dok se Q_L meri u varima. To su različite veličine. Dodavanje korisnog izlaza od 5 kW uz očuvanje ranije energije i amplituda zahteva približno 5,5 kW ulaza prema zadatom modelu gubitaka. Bez dopune, 7,96 J moglo bi da obezbedi 5 kW najviše oko 1,59 ms, čak i kada zanemarimo gubitke.

Odnos 50 kvar prema 0,5 kW zato nije efikasnost od 10 000%. Poredi intenzitet oscilovanja sa gubicima. Provera tvrdnje o neobičnom generatoru zahteva integrale ulazne i izlazne aktivne energije, promene svih zaliha, sve električne i mehaničke ulaze i nezavisno ponavljanje. Regenerativno kočenje motora takođe se proverava aktivnim energetske bilansom; znak Q ga ne određuje.

11. Ko kome plaća?

Plaćanje može obuhvatiti opremu, održavanje, poštovanje režima, raspoloživost regulacije ili potvrđen rezultat. Izraz „kompenzacija reaktivne snage” u ponudi sam po sebi ne određuje kupljenu uslugu.

Situacija	Smer plaćanja	Predmet plaćanja
Ugradnja i servis	Vlasnik objekta → izvođač	Oprema, montaža, održavanje ili ugovoren rezultat
Prenos u Rusiji	Potrošač → mrežni operator, moguće preko snabdevača	Tačka 16 pravila prema Uredbi 861 predviđa koeficijente za određena odstupanja ili ugovorenu regulaciju; proveravaju se ugovor, postupak i metodologija. [S15]
Sistemska usluga u Rusiji	SO UPS → izabrani izvršilac	Regulacija Q generatorskom opremom bez proizvodnje aktivne energije u okviru odgovarajuće usluge. [S16]
Velika Britanija, ORPS	NESO → ovlašćeni pružalac	Ugovoreno korišćenje; objavljeni mehanizam sadrži plaćanje u £/Mvarh. [S17]
Srbija	Potrošač → snabdevač prema primenljivom računu	EPS razlikuje reaktivnu i prekomernu reaktivnu energiju; granica prekomerne vezana je za $\cos \phi = 0,95$. [S18]

Potrošač može imati trošak zbog svog režima, dok učesnik drugog ugovornog odnosa ostvaruje prihod od regulacije napona. Finansijski model najpre mora utvrditi ulogu objekta i primenljiva pravila. Ovaj udžbenik ne modeluje važeće tarife niti obećava prinos.

Ne postoji univerzalan fizički broj stavki računa za električnu energiju. Energija, obračunska snaga, mrežna usluga, snabdevanje, korekcije i posebne usluge mogu biti različito grupisani. Broj stavki nije jednak broju prava kojima se može trgovati. Za svaku dodatnu uslugu treba proveriti saglasnost kupca, rezultat, prihvatanje i da li je ista obaveza već uključena u drugu naknadu.

12. Šta može da se tokenizuje?

Korisna polazna tačka je konkretno izvršivo pravo vezano za merljivu uslugu ili potvrđeno novčano potraživanje. Sam broj kvar ne određuje dužnika, vlasnika ni uslove izvršenja. Nastavne konstrukcije ispod zahtevaju zasebno pravno uređenje u izabranoj jurisdikciji.

Konstrukcija	Jedinica i dokaz	Obavezan uslov
Raspoloživost regulacije	Raspoloživ opseg kvar tokom intervala, ispitivanje spremnosti	Navedeni čvor, smer, vreme odziva i ograničenja
Izvršena regulacija	kvarh prema dogovorenom algoritmu, nalog i telemetrija	Određeni obračunski intervali i kriterijumi prihvatanja
Ušteda aktivnih gubitaka	kWh posle normalizacije i potrošnje kompenzatora	Dogovoreni granica, referentni model i nesigurnost
Pravo na deo prihoda	Novčani iznos prihvaćene usluge	Utvrđeni platiša, osnov potraživanja i rok
Pristup oslobođenoj rezervi	Provereno dozvoljeno opterećenje u konkretnom čvoru	Potvrđeni fizičko ograničenje i pravo korišćenja

Kvar određen jednim frekvencijskim opsegom i algoritmom ne može se prećutno objediniti sa drugom definicijom. „Slobodni kVA”, „uštede kWh” i „rezervisani kW” zahtevaju različite provere. Jedna instalacija može dati više koristi, ali svaka zahteva samostalan osnov obračuna.

Prodaja raspoloživosti Q i rezerve aktivne snage istog invertora zahteva spojivu P-Q oblast. Ponovno ustupanje jednog potraživanja zahteva proveru prava i tereta; opisivanje iste fizičke koristi pod više naziva zahteva proveru metodologije. Registar treba da čuva poreklo rezultata i već raspodeljene udele.

13. Pasoš rezultata i hipotetička transakcija

Minimalan pasoš potreban je pre razgovora o ceni. Omogućava drugom inženjeru da ponovi proračun, a drugoj strani da razume obavezu.

1. Identifikator objekta, električna šema i merna tačka.
2. Veličina i jedinica: Q_1 , Q_B , N, PF, kvarh ili kWh.
3. Standard, izdanje, algoritam instrumenta, vremenski prozor i znaci.
4. Profil opterećenja, napon, harmonici, nesimetrija i uslovi primene.
5. Instrumenti, prenosni odnosi, merna nesigurnost i nedostajući podaci.
6. Referentni model, intervencija i proverljiva uzročnost kada se plaća ušteda.
7. Oblast P-Q, raspoloživost, nalozi, ograničenja i prihvatanje.
8. Pravo, imalac, obavezano lice, trajanje i formula plaćanja.
9. Nezavisna provera, izvorni podaci i verzija zaključka.
10. Raspodela, spojivost usluga i zaštita od dvostrukog obračuna.

Hipotetički primer SYN-Q-001. U čvoru SYN-NODE-A prihvaćena je raspoloživost ± 100 kvar tokom četiri sata pri $|P| \leq 50$ kW. Nazivna snaga invertora je 125 kVA. U idealizovanom krugu $\sqrt{(50^2 + 100^2)} \approx 111,8$ kVA, pa prijava prolazi samo ovu geometrijsku proveru. Napon, temperatura, specifikacija i nalog proveravaju se dodatno.

Pretpostavimo da nastavni ugovor plaća 2 novčane jedinice po kvar-satu raspoloživosti, računajući samo jedan dogovoren smer od 100 kvar. Bruto iznos je $100 \times 4 \times 2 = 800$. Simetričan opseg ± 100 ne udvostručuje količinu automatski. Prihvatanje i ugovorni uslovi određuju da li nastaje potraživanje. Cena je izmišljena i nije tržišna kotacija.

Drugi ugovor, koji plaća stvarno korišćenje, za ista četiri sata može dati drugačiji iznos ili nulu. Opis tokena zato treba da navede proizvod i status: prijavljen, rezervisan, izvršen, prihvaćen ili plaćen. Promena algoritma Q zahteva novu verziju i dogovoren prelaz između skupova podataka.

14. Kako osmisлити ubedljiv eksperiment

Pri istraživanju kompenzacije najpre se utvrđuju šema, merne tačke i stanje opterećenja. Sinhrono se beleže $u(t)$, $i(t)$, P , izabrano Q , efektivne vrednosti, harmonici i temperature. Zatim se porede uporedivi intervali sa kompenzacijom i bez nje; redosled uključivanja pomaže da se intervencija razdvoji od prirodne promene režima.

Proračun uključuje potrošnju kompenzatora i promene uskladištene energije. Nesigurnost faznog ugla naročito je značajna kada se malo Q meri uz veliko S . Pre zaključka proveravaju se raspored faza, zasićenje strujnih transformatora, vreme i algoritmi. Više decimalnih mesta na ekranu ne povećava tačnost.

Za rezonantni eksperiment korisna su odvojena merenja ulaza, izlaza i elemenata kola. Aktivna energija integriše se tokom pokretanja, ustaljenog rada i zaustavljanja, ili se posebno uzimaju u obzir početna i završna zaliha. Poređenje vršne vrednosti napona sa usrednjenom ulaznom snagom nije prikladno za energetski bilans.

Dobar protokol unapred određuje koji rezultat potvrđuje hipotezu, a koji je odbacuje. Merenje i preklapanje u instalaciji pod naponom treba da obavlja kvalifikovano osoblje uz odgovarajuću zaštitu. Nastavni grafikoni na ovoj stranici mogu se istraživati bez priključenja na mrežu.

15. Pitanja za samostalnu proveru

- 1. Brojilo pokazuje $Q_1 = 0$, a $PF = 0,89$. Protivrečnost?** Ne. Proverite harmonike i nesimetriju, zatim definicije S i PF. Primer iz poglavlja 6 daje takvo stanje zbog izobličene struje.
- 2. Q se nije promenilo posle ugradnje filtra. Nema koristi?** Jedno očitavanje Q nije dovoljno. Mogli su se promeniti harmonici, efektivna struja, gubici, napon ili dozvoljeno opterećenje. Svaki rezultat zahteva svoj pokazatelj.
- 3. Pri rezonansi kalem ima 50 kvar, a izvor daje 500 W. Gde je ostatak?** Ti brojevi ne određuju ostatak koji može da se oduzme. Grana razmenjuje energiju, a izvor pokriva gubitke; Q kondenzatora može poništiti Q kalema na ulaznoj granici.
- 4. Može li Q da se zameni „samoindukcijom“?** Za kalem naziv opisuje mehanizam. Šira tema obuhvata i kapacitivnost, komutaciju, harmonike i izabrani algoritam.
- 5. Gubici voda manji su za 29%. Da li toliko pada ceo račun?** U poglavlju 8 procenat se odnosi na pretpostavljene gubitke od 30 kW. Račun zavisi od merne granice i strukture plaćanja.
- 6. Da li četiri sata spremnosti ± 100 kvar daju 800 kvarh?** Samo ako ugovor na taj način obračunava oba smera. U primeru SYN-Q-001 obračunska raspoloživost je 400 kvar-sati; stvarno korišćenje može se razlikovati.
- 7. Dva istraživača koriste različite Q. Ko greši?** Prvo uporedite zadatak, definicije i pretpostavke. Različiti pokazatelji mogu biti ispravni. Greška nastaje pogrešnim zaključkom ili primenom formule izvan njene oblasti.
- 8. Da li nulti srednji prenos energije znači da usluga nema vrednost?** Ne. Oprema zauzima strujni kapacitet, ima gubitke i može korisno regulisati napon. Cena proizlazi iz prihvaćene usluge i ugovora.

16. Šta ostaje otvoreno?

Sinusoidalni proračun je jednostavan i ponovljiv. Zanimljiva pitanja počinju izobličenjem, komutacijom, nesimetrijom i izborom granice. Koji pokazatelj najbolje predviđa gubitke koji se mogu ukloniti? Kako povezati proračun na priključcima sa ponašanjem cele mreže? Kako objediniti podatke različitih generacija brojila? Kako vrednovati lokalnu uslugu uz jasno razlikovanje mogućnosti i izvršenja?

Ovde postoji prostor za nove algoritme, istraživanja i proizvode. Jasne definicije i otvorena provera koriste svakom od njih. Radoznalost prema elektroenergetici postaje produktivna kada pitanje vodi do šeme, podataka, proračuna i eksperimenta koji drugi mogu ponoviti.

Radno pravilo udžbenika: pre određivanja cene jednog kvar zapišite koji kvar se meri, gde, kada, kojim postupkom i koja je obaveza za njega vezana.

Izvori i granice provere

Stavovi istraživača pripisani su autorima. S10 i S11: proverene su zvanične kartice i opisi standarda; puni normativni tekst nije prenet. S6: provereni bibliografija i sažetak. S15: propis u pravnom informacionom sistemu. Izvori su na izvornom jeziku. Nastavni zaključci, šeme i proračuni su urednički rad.

S1 · Nikola Tesla. US464666A. Electro-Magnetic Motor (1891)

patents.google.com

S2 · Nikola Tesla. US568179A. Method of and apparatus for producing currents of high frequency (1896)

patents.google.com

S3 · C. P. Steinmetz. Theory and Calculation of Alternating Current Phenomena (1897)

books.google.com

S4 · L. S. Czarnecki. Do Energy Oscillations Degrade Energy Transfer? (2021)

czarnecki.study

S5 · L. S. Czarnecki. From Steinmetz to CPC: lectures on power theory

czarnecki.study

S6 · H. Akagi, Y. Kanazawa, A. Nabae. Instantaneous Reactive Power Compensators Comprising Switching Devices without Energy Storage Components. IEEE, 1984. DOI: 10.1109/TIA.1984.4504460

doi.org

S7 · L. S. Czarnecki. Physical Interpretation of the Reactive Power in Terms of the CPC Power Theory (2007)

czarnecki.study

S8 · R. Fetea, A. Petroianu. Reactive Power: A Strange Concept? (2000)

faculty.sist.shanghaitech.edu.cn

S9 · C. T. Gaunt, H. K. Chisepo, M. Malengret. Applying a physics-consistent general power theory. Part 1. CIGRE Science & Engineering 030 (2023)

cse.cigre.org

Izvori i granice provjere · II

S10 · IEEE 1459-2025. Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities

standards.ieee.org

S11 · IEC 62053-24:2020. Static meters for fundamental component reactive energy

webstore.iec.ch

S12 · Schneider Electric. Distortion, displacement and the truth: Understanding True Power Factor (2020)

blog.se.com

S13 · Schneider Electric. Guide for the Design and Production of LV Power Factor Correction Cubicles. PFCED111008EN

www.se.com

S14 · P. Šulc, K. Turitsyn, S. Backhaus, M. Chertkov. Options for Control of Reactive Power by Distributed Photovoltaic Generators (2010)

arxiv.org

S15 · ПП РФ №861 от 27.12.2004. Правила недискриминационного доступа к услугам по передаче электрической энергии, п. 16

www.consultant.ru

S16 · АО «СО ЕЭС». Технологическое обеспечение работы энергетических рынков

www.so-ups.ru

S17 · NESO. Obligatory Reactive Power Service (ORPS)

www.neso.energy

S18 · EPS. Osnovni pojmovi: reaktivna i prekomerna reaktivna energija

www.eps.rs