

Kvaliteta električne energije integralni del sistemov avtomatizacije

mag. Boris Bizjak

Univerza v Mariboru, FERI

Smetanova 17 2000 Maribor

boris.bizjak@uni-mb.si, tel. 02 2207083

Power Quality a Integral Part of Automation Systems

Electrical energy must appropriate to EN 50160, IEC 1000-2-2, IEC 1000-2-4 standards and CBEMA curves. Even a quarter-second voltage sag is sufficient to bring our modern machines to a screeching halt, resulting in hours of interrupted production and irrecoverable scrap. One important aspect of power quality studies is the ability to perform automatic power quality data analysis and categorization. The objective of this paper is to present a technique to record power quality events in a complex automation systems.

1 Uvod

Električna energija, ki napaja sisteme avtomatizacije mora ustrezati standardom EN 50160, IEC 1000-2-2, IEC 1000-2-4 in CBEMA krivuljam. Že upad napetosti v trajanju četrtno sekunde lahko povzroči motnje v delovanju ali ustavitev sistema avtomatizacije. Potrebno je preverjati kvaliteto električne energije v realnem času, da bi lahko pravočasno ukrepali in odpravili pomanjkljivosti v energetske delu sistema za avtomatizacijo [1]. Moderna avtomatizirana tovarna ima vgrajene napetostno občutljive elemente: računalniki, PLC (angl. programmable logic controller), senzorje, servo motorje, robote in CNC krmilja (angl. computer numerical control). Skupno vsem napravam so napetostno in tokovno občutljivi usmerniški deli. Ponavadi proizvajalci usmerniške dele ščitijo proti prenapetosti. Novejše raziskave kažejo [2][4], da je tudi kratka podnapetost v trajanju nekaj period kritična, saj povzroča I²T preobremenitev diod usmerniškega dela. V članku podajamo povzetke standardov kvalitete električne energije [7][8][9]. Prikazujemo

merilni sistem kvalitete in količine električne energije z načinom integracije v kompleksno strukturo avtomatizacije. Aplikacija je uporabniku prijazna, grajena na osnovi programskih (angl. software) standardov, nudi vse kar potrebuje inženir za analizo in kontrolo kvalitete in omogoča podatkovno integracijo z sistemom avtomatizacije.

2 Standardi in priporočila

Področje elektromagnetne združljivosti EMC (angl. electromagnetic compatibility) je zmožnost delovanja električnih naprav brez povzročanja medsebojnih motenj. Po eni strani je to zmožnost elementa, naprave ali sistema, da zadovoljivo deluje v elektromagnetnem okolju (imunost) brez vnašanja nesprejemljivih elektromagnetnih motenj v okolje (emisija).

Predpisi EMC se delijo na obravnavo prevodnih in sevalnih elektromagnetnih motenj. Zaradi medsebojne interference teh dveh tipov ni možno strogo ločiti. Pri študijah EMC ločimo med nizko in visoko frekvenčnimi pojavi. V prvem primeru obravnavamo amplitude do 2 kHz, v drugem primeru pa ugotavljamo prevodne motnje v frekvenčnem rangu med 150 kHz in 30 Mhz. Področje EMC urejajo standardi: CISPR, IEC, ISO, EN o elektromagnetni emisiji, EN o elektromagnetni imunosti in ameriški standardi.

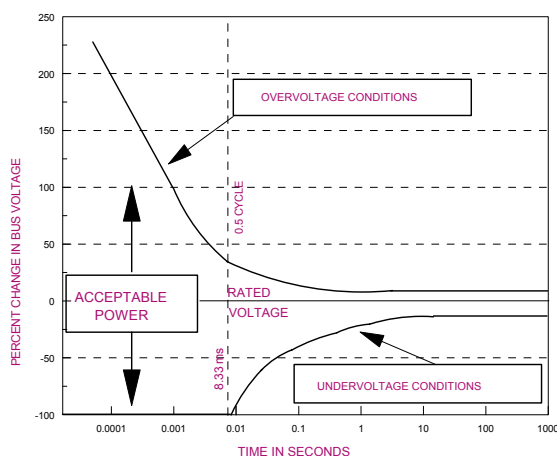
Prvi v verigi morajo izpolnjevati EMC zahteve proizvajalci elektronske opreme za avtomatizacijo [3]. S problemi EMC se kasneje srečujejo snovalci aplikativnih sistemov avtomatizacije, saj se »klasični« EMC problematiki pridruži kvaliteta električne energije [2][4][5]. Električna energija je postala tržno blago, dobavitelj zagotavlja količino in

kvaliteto po pogodbi. Merilni podatki so osnova za izpolnjevanje pogodbenih obveznosti dobavitelja električne energije in oceno tveganja pri uporabniku [1]. Meritve dajejo možnost iskanja vzrokov težav v delovanju sistema avtomatizacije iz naslova kvalitete energije.

Standardi o kvaliteti električne energije predstavljajo osnovni dogovor o zagotavljanju parametrov kvalitete med dobaviteljem in porabnikom. Neizpolnjevanje teh standardov pomeni tveganje za veliko skupino porabnikov električne energije. EN 50160 velja za dobavljeno energijo preko javnih distribucijskih omrežij na nizki in srednji napetosti. Standarda IEC 1000-2-2, IEC 1000-2-4 uporabljamo za zaključene industrijske elektroenergetske mreže. V razredu 2 se standard IEC 1000-2-4 po amplitudah mejnih vrednostih pokriva s EN 50160.

Kritični pojavi za delovanje naprav avtomatizacije in širše, so kratki upadi (angl. sags, dip) in porasti napetost (angl. swell) v trajanju od 10 ms do nekaj 10 s [2][4]. Mejne vrednosti za ta popačenja podaja krivulja CBEMA (slika 1), ki jo je izdal Computer and Business Equipment Manufactures Association v letu 1978 in je podana v publikacijah IEEE 1100-1992.

Modificirana priporočila uporabljamo v Evropi. Strožje so novejša ITIC krivulje, ki jih je izdal tehniški komite Information Technology Industry Concily v ZDA.



Slika 1: Krivulje CBEMA

Izpolnjevanje mejnih vrednosti CBEMA in ITIC zagotavlja nemoteno delovanje računalniških, komunikacijskih in občutljivih profesionalnih aparatov.

Za kategorizacijo popačenj napetosti so pomembni še prehodni pojavi (angl. transients) v časih, manjših od polovico periode. Omenimo standarde o kvaliteti električne energije za vojaško okolje (MIL) in ladje.

3 Industrijska energetska omrežja

Standard IEC 1000-2-4 velja za zaključena industrijska energetska območja in določa tri elektromagnetne razrede združljivosti 1, 2 in 3 (angl. classes 1, 2, 3) za nizko in srednje napetostne nivoje. Nivoji kompatibilnosti so podani za medfazno efektivno napetost.

Razred združljivosti 1 zagotavlja kvalitetnejšo električno napetost, kot je zagotovljena v javnih omrežjih. Uporabljamo ga za priključitev občutljivih naprav, kot so posebni računalniki, merilne naprave v laboratorijih, medicinske naprave in občutljive naprave v avtomatizaciji. Te kriterije ponavadi zagotavljamo s priključitvijo porabnikov preko UPS naprav. Velja za nizko napetost do 1 kV.

Razred 2 je tako imenovani generalni razred za industrijske energetske mreže. Stalno ga uporabljamo na točki, kjer se stikata javno energetska omrežje in industrijska energetska mreža. Razred 2 dovoljuje uporabo naprav, ki so narejene za javno omrežje v industrijskem okolju. Velja za napetosti do 35 kV.

Razred 3 se uporablja za tako imenovane industrijske naprave in sisteme. To so veliki pretvorniki, napajalni sistemi, veliki motorji s hitro spreminjajočimi se bremenami in varilni sistemi. Razred 3 velja za napetosti do 35 kV.

Tabela 2: Primerjava nekaterih mejnih vrednosti standardov EN 50160 in IEC 1000-2-4

Standard	SIST EN 50160	SIST EN 61000-2-4 Razred 1	SIST EN 61000-2-4 Razred 2	SIST EN 61000-2-4 Razred 3
Parameter	Nizka in srednja napetost	Nizka napetost	Nizka in srednja napetost	Nizka in srednja napetost
Frekvenca	± 1%	± 1%	± 1%	± 3%
Nihanje napetosti	± 10%	± 8%	± 10%	+10%/ - 15%
Utripanje napetosti	Plt < 1	/	/	/
Nesimetrija	2%	2%	2%	3%
Harmoniki	0,5% - 6% (tabela)	0,2% - 3% (tabela)	0,2% - 6% (tabela)	0,2% - 8% (tabela)
Med harmoniki	/	0,2%	0,2%	1 – 2,5%
THD	8%	5%	8%	10%

Standard IEC 1000-2-4 je strožji v primerjavi z EN 50160 in predvideva drugačno statistično obdelavo meritev. Tako na primer EN 50160 predvideva za kontrolo skladnosti amplitude napetosti, da mora biti 95% 10 min povprečij amplitude znotraj 10% meje v opazovanem intervalu. IEC je strožji in je merilo vsa 10 min povprečja znotraj meje 10% v opazovanem intervalu. Utripanje napetosti (angl. fliker) ni pomembno iz stališča delovanja naprav splošno – pomembno je za kvaliteto razsvetljave.

Kontrolne merilne točke za preverjanje EMC v energetske mreži določimo glede na zelene razrede združljivosti v posameznem delu, kar izhaja iz značilnosti priklopljenih naprav [4].

4 Zapisovalnik kvalitete električne energije

Tržišče ponuja veliko število različnih merilnikov kvalitete električne energije [1].

Izbrali smo Simeas Q, ki zapisuje kvaliteto električne energije po EN 50160, IEC 1000-2-4, CBEMA in strožjih kriterijih. Merilnik smo preko mreže Profibus DP povezali v sistem avtomatizacije in skladiščili merilne podatke v industrijski bazi podatkov.

Simeas Q lahko meri do 250 različnih vrednosti, kot so: napetost, tok, THD, dolgotrajni fliker, napetostni harmoniki, tokovni harmoniki, frekvenca, nesimetrija, itd. Za našteje parametre in za vsako fazo beleži povprečno, maksimalno in minimalno vrednost določenega merilnega signala. Informacijsko jedro regulatorja sta signalni procesor in A/D pretvornik, ki vzorči z 0,1 ms in 14-bitno resolucijo. Interni pomnilnik recorderja je 1Mb RAM, kar je dovolj za 10000 merilnih vrednosti opremljenih s časom.

Merilnik pozna dva načina snemanja podatkov: kontinuirane meritve in meritve dogodkov. Pomembna podrobnost, oba načina delujeta istočasno. Za kontinuirane meritve si lahko izberemo časovno bazo od 20 ms do 1 min. Torej interni merilni signali 0,1 ms niso dostopni uporabniku. Interval povprečnih vrednosti za kontinuirane meritve je od 1 s do 60 minut. Dogodke beležimo v intervalu od 10 ms naprej. Meritev dogodkov beleži kdaj je merilni podatek prestopil nastavljen in kdaj se je spet vrnil pod izbrano mejo.

Prednost merilnika SIMEAS Q je v njegovih komunikacijskih zmožnostih. Merilnik je lahko opremljen s komunikacijskimi vmesniki : RS232, RS485 ali Profibus DP. Komunikacija z merilnikom deluje v kontinuiranem ali cikličnem spominskem načinu. V kontinuiranem načinu deluje regulator kot senzor in merilne podatke neprenehoma transportira na merilni strežnik. Takšen način je primeren za procesno vodenje, kjer potrebujemo podatke v realnem času. Pomembno je, da se količina prenesenih merilnih podatkov v telegramu uskladi z izbrano propustnostjo mreže Profibus.



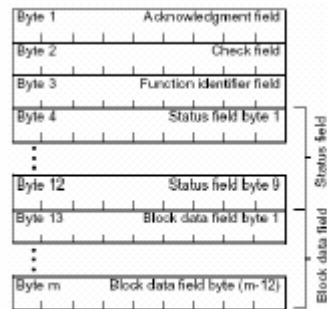
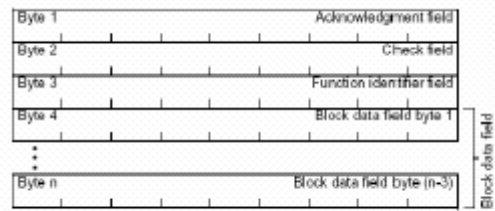
Slika 2: Zapisovalnik kvalitete električne energije SIMEAS Q

V cikličnem spominskem režimu se podatki najprej zapisujejo v interni RAM merilnika. Merilni strežnik ciklično, z definiranim telegramom dostopa do merilnika (slika 4), prebere podatke, jih prenese in zbríše interni RAM pomnilnik. V tem primeru je potrebno računati količino merilnih podatkov, ki jih je sposoben prevzeti interni RAM pomnilnik merilnika med dvema cikloma prenosa merilnih podatkov na strežnik.

Profibus DP ima maksimalno teoretično hitrostjo 35 Mbitov na sekundo (bps). Izvedba merilnika SIMEAS Q z integriranim Profibus DP vmesnikom omogoča do 12 Mbps. Industrijska mreža Profibus DP deluje po principu žetona (angl. token ring) in v načinu gospodar/suženj (angl. master/slave). Naš merilnik je stalno slave. V eni merilni mreži lahko imamo 125 merilnikov.

Merilnik se vselej obnaša pasivno, to pomeni, da komunicira z masterjem le takrat, ko je zahteva naslovljena nanj. Master dobi odgovor telegrama, iz katerega sklepa, da je bila komunikacija uspešna. Podatkovni nizi niso brani izbirno, kar pomeni, da je podatkovni pomnilnik merilnika bran z bloki in ne po posameznem tipu podatka (slika 4). Simeas Q ima dva telegrama:

- zahteva telegrama Master -> Simeas,
- odgovor telegrama Simeas ->Master.



Slika 4: Telegram za zahtevo in telegram za odgovor

Najprej opravimo sistemsko konfiguriranje merilnika, izberemo način komuniciranja, naslov sinhroniziramo uro in podobne stvari. Naslednja faza je izbira merilnih podatkov in časovnih baz meritev. Nato merilnik povežemo z ostalimi udeleženci Profibus DP mreže. Kasneje lahko vse nastavitve opravljamo preko komunikacijske mreže.

Vlogo prvega masterja za merilno mrežo kvalitete električne energije smo dodelili PLC krmilniku Siemensove serije 300. Aplikativni program v jeziku Step 7 popolnoma upravlja z merilnikom, ima realizirano komunikacijo na DP vodilu, telegramski prenos podatkov in shranjevanje merilnih podatkov v ustrezne DB bloke:

OB1	// Standardni organizacijski blok
OB 100	
FB30, FB31	
FC1, FC2	
DB41	// Merilni podatki
DB30	
DB31	

Organizacijski blok OB1, ki ga operacijski sistem PLC starta najprej:

CALL »FB30«, »DB30«		
INIT	:=FALSE	
I_ADDRESS	:=512	//Vhodni naslovi
I_SIZE	:=96	//Št. prenašanih vrednosti
O_ADDRES S	:=512	//Izhodni naslovi
O_SIZE	:=12	//12 bytov po vrednosti
MV_DB	:=41	//Data blok za podatke
Mon_Timer	:=T30	//Monitoring timer

Za vertikalno integracijo v ethernet mrežo smo PC z Windows Server 2003 dodatno opremili s Profibus DP master karto CP 5611A2. Prenos merilnih podatkov v Windows okolje iz PLC krmilnika smo opravili z OPC strežnikom (angl. Object Linking and Embedding for Process Control). Ta standardiziran format in način prenosa, naredi podatke univerzalno uporabne v Windows okolju. Kot programski strežnik smo uporabili OPC DP server iz programskega paketa SIMATIC NET.

V Windows okolju je mnogo OPC odjemalcev, največkrat uporabljeni so HMI in SCADA programi, ter industrijske baze podatkov. V večjih avtomatiziranih sistemih se v industrijsko bazo podatkov stekajo tudi ostali produkcijski in tehnološki podatki. Tako je možno z SQL stavki enostavno tvoriti relacije med produktivnostjo, kvaliteto izdelkov in kvaliteto električne energije.

Tudi simulacijski program MATLAB zna preko OPC tool box dvosmerno komunicirati z OPC serverjem. Tako lahko v MATLAB npr. z mehko logiko (angl. fuzzy) klasificiramo merilne podatke v realnem času 1 s [6].

Do sedaj smo opisovali primer, ko so podatki o kvaliteti električne energije integralni del večjega sistema za avtomatizacijo, primerno za

vse, ki želijo imeti merilne podatke v realnem času in jih integrirati z ostalimi produkcijskimi podatki. Opisovana rešitev je odprta, dostopni so vsi podatki in parametri merilnega sistema. Od aplikativnega inženirja zahteva solidno poznavanje problematike kvalitete (EN, IEC, CBEMA) in integracije sistemov avtomatike (Profibus, Step 7), saj brez tega ne more vzpostaviti koristnega delujočega merilnega sistema.

Obstaja tudi rešitev, ki je enostavna za uporabo in omogoča izdelavo merilne mreže na bazi Profibus, skladiščenje merilnih podatkov in izdelavo standardiziranih izpisov po EN, IEC normah in CBEMA. Imenuje se programski paket SIMEAS Q manager in kot nadgradnja reporter SIMEAS PQ. Program SIMEAS Q z zlaganjem grafičnih objektov omogoča izdelavo aplikacije in priklop na merilno garnituro. Podatke v realnem času prenaša v interno bazo na merilnem računalniku. SIMEAS PQ je nadgradnja in je namenjen za izdelavo standardiziranih merilnih protokolov. Slabost aplikacije je le v tem, da je off-line povezljiva z ostalimi moduli avtomatizacije. Možno je preko periodično izvoženih txt datotek. Druga slabost je ta, da aplikacija prevzame popolno kontrolo nad DP master karto v osebnem računalniku, tako da morebitni OPC DP server zahteva še eno. Včasih takšen sistem zadovoljuje, pa tudi aplikativni inženir mora poznati le osnove kvalitete, profibus in računalništva.

5 Zaključek

Sodobni sistemi avtomatizacije morajo delovati produktivno in zanesljivo. Kljub skrbnemu načrtovanju in vzdrževanju se elementi kvarijo in sistemi se neplanirano ustavijo. Vzroki težav so različni od človeškega faktorja do odpovedi materiala, eden od vzrokov je lahko tudi EMC. Področje EMC je obširno in nekoliko zapleteno za povprečnega inženirja avtomatike. Kvaliteta električne energije je mala kockica v veliki rubikovi kocki EMC. Standarda EN 50160 in IEC 1000-2-4 postavljata z definicijami pojavov in nivoji združljivosti osnovne okvirje v katerih se mora

gibati kvaliteta (napetost) električne energije. Vsekakor so to okvirji za globalno in lokalno trgovanje z električno energijo. Postavlja se vprašanje, ali je to dovolj dobro za računalnike, PLC, senzorje, servo motorje, robote in CNC krmilja? Vsekakor na tem mestu ne bomo takoj zapisali odrešilnega Da ali paničnega Ne. Različni avtorji poročajo [1][2][4][5], da so glavni problemi v energetskih omrežjih upadi napetosti v območju $>1\% \dots <90\% U_n$ in časih $>10 \text{ ms} \dots <1 \text{ min}$. Standard EN 50160 dovoljuje 10-1000 upadov na leto, ki bi naj bili krajši od 1 sekunde z amplitudo $> 60\%$. IEC je strožji, in dovoljujejo upade le na $> 90\%$ amplitudo in trajanje 3 sekunde.

Tako smo se počasi dokopali do odgovora, kako se v sistemih za avtomatizacijo izogniti tveganju, ki ga prinša slaba kvaliteta električne energije. Zagotoviti moramo napajanje električne energije v skladu z: EN 50160 in IEC 1000-2-4 in CBEMA krivulja. V zadnjem stavku je pomembna podrobnost in to je »in«, kar pomeni logični &. Vsak slovenski trgovec z električno energijo vam bo zagotovil EN 50160, okrog IEC 1000-2-4 in CBEMA pa bo verjetno malo bolj trda, kaj šele strožji kriteriji. Seveda se moramo odločati racionalno in smiselno, glede na konfiguracijo energetskega omrežja in vgrajene komponente avtomatizacije.

Hitre pojave opisan merilnik le registrira (ne zapiše točnega poteka). Kadar so problem hitre motnje je potrebno poseči po analizatorjih kvalitete električne energije (angl. Power Quality Analyzer).

Slabe EMC razmere oz. posledice lahko blažimo z vgradnjo UPS naprav, EMI filtrov, kompenzacijskih naprav in vgradnja bogato dimenzioniranih usmerniški naprav. S kvaliteto električne energije je ponavadi tako, kot z zobozdravnikom. Ko boli je ponavadi že prepozno, zato priporočamo preventivo.

6 Literatura

- [1] Stephen Pauli, Baldur O. Krahl, Blane Leuschner: Know your power, IEEE Industry Applications Magazine, Marec, April 2005.
- [2] Ashish Bendre, Deepak Divan, William Kranz: Are Voltage Sags Destroying Equipment, IEEE Industry Applications Magazine, Julij, Avgust 2006.
- [3] Franc Mihalič, Dejan Kos, Karel Jezernik: EMI in stikalni pretvorniki, AIG 2005.
- [4] Fredrik Carlson: Before and During Voltage Sags, IEEE Industry Applications Magazine, Marec, April 2005.
- [5] Boris Bizjak, Jože Voršič, Jurij Bizjak, Marko Zeme, Preverjanje kakovosti električne energije v zaključeni industrijski energetski mreži, CIGRE 2004.
- [6] Boris Bizjak, Peter Planinšič, Classification of Power Disturbances using Fuzzy Logic, EPE-PEMC 2006.
- [7] EN 50160, Voltage characteristic of electricity supplied by public distribution systems, 1993
- [8] IEC 1000-2-2 (modified) or EN 61000-2-2, Guide to electromagnetic environment for low-frequency line-conducted disturbances and signaling in low voltage public power supply systems.
- [9] IEC 1000-2-4 or EN 61000-2-4, Electromagnetic compatibility (EMC). Environment. Compatibility levels in industrial plants for low-frequency line-conducted disturbances.