

Sledenje pretokov po energetskih omrežjih

Network Flow Tracing

Miloš Pantoš - Ferdinand Gubina

V razviti civilizaciji zadovoljujemo raznovrstne potrebe, vendar v ta namen potrebujemo čim bolj preprost, gospodaren in cenen dostop do dobrin. Primerna rešitev so prenosna omrežja, to so plinovod, naftovod, toplovod, električno omrežje, s katerimi prenašamo snov ali energijo od proizvodnih virov do centrov porabe. Z razvojem, ki je posledica vse večjih zahtev, postajajo omrežja vse bolj prepletena. Če se vprašamo, katero pot skozi omrežje ubere neko »blago« iz določenega vira k določenemu porabniku, ugotovimo, da je težko neposredno odgovoriti na navidez popolnoma preprosto vprašanje. Prispevek tako predstavlja novo metodo za sledenje pretokov po omrežjih od proizvodnih virov do porabnikov. Dejanske prenosne poti ugotovimo na podlagi matričnega izračuna, ki je v primerjavi z znanimi rešitvami računsko preprostejši in z vidika potrebnega računskega časa manj zahteven. Ker je elektroenergetski sistem zapleteno omrežje, pri čemer je na voljo opazovanje pretokov električne energije, smo preizkusili novo zamisel na elektroenergetskem testnem omrežju Nove Anglije, ZDA. Predvidevamo, da je novo metodo sledenja pretokov električne energije mogoče uporabiti tudi pri drugih omrežjih, ne glede na njihovo fizikalno različnost, saj so osnovna načela delovanja omrežij skupna. Rezultati bi pripomogli k boljši preglednosti dogajanja v omrežjih, boljšemu nadzoru, oblikovanju morebitnih trgov, pri čemer je treba ločiti ne samo proizvajalce od porabnikov, temveč tudi proizvajalce in porabnike med seboj. Z razvojem trga pričakujemo tudi plačevanje prenosnih storitev omrežja, torej potrebujemo učinkovito orodje za porazdelitev stroškov prenosa in prenosnih izgub med uporabnike omrežja.

© 2003 Strojniški vestnik. Vse pravice pridržane.

(Ključne besede: omrežja prenosna, sledenje pretokov, faktorji generacijsko distribucijski, faktorji linijski, faktorji vozliščni)

In the developed world, people's demands are increasing rapidly. The main problem is to find appropriate ways of supplying the consumption centres with the goods that are produced in distant production units. The main criteria are the preservation of the quality of the transacted goods and the minimization of the transmission losses, and both of these are affected by economic aspects, such as minimising costs. In an attempt to solve these problems, mankind has built transmission networks, such as pipelines, gas networks, heat networks and electrical power networks. At first sight the question of which producer supplies a particular consumer seems to be very trivial, but nowadays, with rapid developments, transmission networks are becoming more sophisticated, i.e. more complex, meshed and widespread. In this paper a new network-flow-tracing method is presented. The major goal of this new method is to define flow paths from producers to consumers across a network. In the past a few methods were already proposed; however, this method is based on a matrix calculation. Although it considers the transmission losses, it is still very simple to understand and also very fast. The new approach was tested on the New England test power system. Since all transmission systems have some common characteristics, knowledge from one engineering field could probably be used in other fields. The idea is to spread the knowledge and to find some of the basic principles of observed phenomena that will enable us to solve problems in a proper manner. In this way, a better insight into the system operation and control can be obtained, especially nowadays when deregulation and liberalization of transmission systems are being introduced.

© 2003 Journal of Mechanical Engineering. All rights reserved.

(Keywords: transmission networks, flow tracing, distributed generation, line factors, nodal factors)

0 UVOD

Dandanes si težko predstavljamo življenje brez določenih dobrin, kakor so topla voda, plin, gorivo, prenos informacij, električna energija. Zaradi geografske lege, podnebja, naravnih danosti in še mnogo drugih vplivov

0 INTRODUCTION

People demand some essential goods, such as gas, oil, hot water, and electricity, which usually have to be supplied from distant production centres. Transmission networks are

največkratni morebitnih dobrin v neposredni bližini porabniških središč, torej jih je treba nekako dobiti ter omogočiti porabnikom čim lažji dostop. Praktična rešitev so prenosna omrežja, ki zaradi vse večjih življenjskih potreb in napredovanja tehnološkega razvoja, postajajo vse bolj zahtevna in terjajo nove načine izvajanja nadzora, vodenja obratovanja in drugih funkcij. V svetu se čutijo ekonomski pritiski na marsikaterem tehničnem področju. V elektroenergetiki se uvaja trg z električno energijo, pri čemer je tržno blago prav električna energija. Tudi na preostalih področjih se pričakuje uvedba tržnih zakonitosti ter bo tako treba ločiti proizvodnjo, porabo in prenos tržnega blaga. V nadzorovanem sistemu je država nadzorovala delovanje omrežij in tudi ni bilo potrebe po notranji ločitvi proizvajalcev in porabnikov. V novih tržnih razmerah se pričakuje razvoj novih orodij, ki bodo na podlagi dosedanjih podatkov o delovanju omrežij skušala določiti vlogo posameznih udeležencev ter omogočala bolj zanesljivo in bolj kakovostno delovanje sistemov.

Za določitev dejanskih pretokov električne energije od proizvajalcev do porabnikov so v svetu že razvili nekaj metod ([1] do [3]), ki so žal nekoliko pomanjkljive z vidika oblikovanja modela elektroenergetskega omrežja in s tem povezanimi poenostavitvami, ki vplivajo na natančnost rezultatov, ter z vidika potrebnega daljšega časa obravnave.

Omenjene pomanjkljivosti metod so vodile v razvoj nove metode PGPF (LGDF) za sledenje pretokov električne energije po omrežju. S tem namenom se izračunavajo progovni generacijski porazdelitveni faktorji PGPF, ki predstavljajo deleže proizvajalcev na prenosnih poteh, in vozliščni generacijski distribucijski faktorji VGDF (NGDF), ki opisujejo deleže proizvajalcev na porabniških mestih v sistemu. Nova metoda PGPF povzema prednosti in hkrati odpravlja pomanjkljivosti dosedanjih metod, saj temelji na matričnih izračunih, ki so časovno varčnejši in zahtevajo manjšo zasedbo računalnikovega pomnilnika, zaradi upoštevanja prenosnih izgub pa je natančnejša v primerjavi z drugimi metodami.

Zamisel o posplošitvi uporabe nove metode še na drugih tehničnih področjih izhaja iz primerjave splošnih lastnosti vseh prenosnih omrežij ali omrežja vodov, to so vodovodno, toplovodno, plinovodno, naftovodno in električno omrežje. Vsako omrežje povezuje proizvajalce na eni in porabnike na drugi strani z nalogo kakovostnega prenosa. Vsa prenosna omrežja so dinamični sistemi, ki se bolj ali manj pogosto spreminjajo v smislu obratovalnega režima, razporeda, obremenjenosti, izpadov določenih povezav, vplivu zunanjih dejavnikov. Povzamemo lahko, da so si prenosna omrežja medsebojno različna zaradi različnih fizikalnih ozadij, a vseeno ostajajo skupne splošne lastnosti, ki omogočajo preslikavo svojih znanstvenih dognanj nekega strokovnega področja na druga področja.

Ker menimo, da lahko s posplošenim gledanjem na problematiko, izbiro primernega skupnega orodja in njegovim nadaljnjim dopolnjevanjem rešimo nemalo število posebnih, ozko usmerjenih težav, predstavljamo v nadaljevanju novo metodo za sledenje pretokov električne energije po omrežju in naše videnje glede njene uporabe na drugih raziskovalnih področjih.

the current solution for managing the long distances between production and consumption centres that are the result of geographical and weather conditions, natural resources, etc. In the first place, a supply quality that includes continuous delivery must be obtained. In addition, transmission-loss management based on economic factors is becoming a significant part of network operation and control, which are influenced by deregulation and the liberalization of network use. Another important feature of the market environment is transmission-service pricing, which demands a fair allocation of the costs among the network users. This is connected to a fair attribution of the network costs and transmission losses to the consumers according to their network usage.

A few methods for electrical-power flow tracing have already been proposed ([1] to [3]). Each method has a specific approach and operates with a simplified model of a power system. These methods, however, tend to neglect transmission losses, and require long processing times, and large memory storage requirements, which finally lead to inaccurate results.

To overcome those problems, a new approach based on a matrix calculation has been proposed. It calculates the Line Generation Distribution Factors, i.e. the production units' shares in the line flows, and the Nodal Generation Distribution Factors, i.e. the producers' shares in the consumptions at the nodes of the system. Although it considers transmission losses, it is still very simple to understand as well as being very fast. The new LGDF method certainly overcomes the weaknesses and unites the benefits of the other methods.

Electrical networks consist of a number of producers and consumers that are connected by transmission lines. Hence, they present very complex networks that are appropriate for testing. The new method was tested on the New England test power system. The results are presented later in the paper.

Since all transmission systems have some common characteristics, knowledge from one technical field can be used in another. The idea is to spread the knowledge and to find some of the basic principles of the observed phenomena that will enable us to solve problems in a proper manner. The new LGDF method can be used as a new system tool in a wide range of different technical fields. In this way, a better insight into the system operation and control can be obtained, especially in the phase of deregulation, liberalization and open access to a transmission network.

1 ZAMISEL SLEDENJA PRETOKOV

1 THE FLOW-TRACING CONCEPT

1.1 Izhodiščna načela

Prenosna omrežja povezujejo središče proizvodnje z zemljepisno oddaljenimi porabniškimi središči. V elektroenergetiki srečujemo omrežja, ki povezujejo proizvajalce s porabniki električne energije. Z medsebojno primerjavo omrežij ugotovimo, da zaradi značilnosti električne energije, števila uporabnikov omrežja in zemljepisne razsežnosti, uvrščamo elektroenergetska omrežja v skupino najbolj zahtevnih omrežij.

Prenosne poti, kakor so omrežja pri toplovodih, plinovodih in naftovodih ter vodi pri elektroenergetskih omrežjih, se združujejo v stičnih točkah, tj. vozliščih. Na teh mestih tako prihaja do združitve in mešanja dotokov, ki se nadalje enakomerno porazdelijo po odvodnih poteh iz vozlišča. Razmere prikazuje slika 1, kjer dotoka pritekata v vozlišče i po prenosnih poteh j - i in k - i ter ga nadalje pomešana zapuščata po poteh i - l in i - m .

Za vsako vozlišče sistema velja, da je vstopajoča količina enaka izstopajoči, kar na področju elektrotehnike opisuje tokovni Kirchhoffov zakon. Če s I_i označimo celotni pretok skozi vozlišče i na sliki 1, lahko zapišemo:

$$I_i = 0,25 \text{ p.u.} + 0,75 \text{ p.u.} = 0,30 \text{ p.u.} + 0,70 \text{ p.u.} = 1,00 \text{ p.u.} \quad (1),$$

kjer je p.u. (na enoto) enota sistema relativnih vrednosti in omogoča lažjo primerjavo veličin. Po sorazmernostnem porazdelitvenem zakonu [2] določimo deleže vstopnih količin v izstopnih pretokih. Deleža pretokov na poteh j - i in k - i na prenosni poti i - l , $d_{j,i,l}$ in $d_{k,i,l}$, izračunamo kot:

$$d_{j,i,l} = 0,30 \frac{0,25}{1,00} \text{ p.u.} = 0,075 \text{ p.u.} \quad (2),$$

$$d_{k,i,l} = 0,30 \frac{0,75}{1,00} \text{ p.u.} = 0,225 \text{ p.u.} \quad (3),$$

pri čemer velja, da je vsota obeh deležev enaka celotnemu pretoku na poti i - l . Podobne izračune bi lahko zapisali še za prenosno pot i - m .

1.1 Basic principles

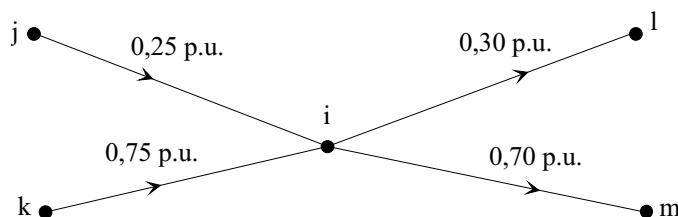
Transmission networks are links between production centres and consumption areas. In the electrical power industry there are power plants that produce electricity and then transmit this electricity via a network to the consumers. Since electrical power systems have many users and connecting lines they are some of the most sophisticated types of systems. In addition, it should be stressed that electricity cannot be stored in the same way as other goods; all that is produced has to be consumed at the same time. This characteristic adds to the complexity of electrical networks and makes them a good reference for further study and testing.

Transmission networks for other products include gas pipelines and heating water, which are connected at nodes in the same way as electrical power systems. We assume that the flows entering a node are distributed proportionally among the outflows from a node or, in other words, that a network node is a perfect "mixer" of incoming flows. The conditions are described in Fig. 1, where the inflows of lines j - i and k - i are further distributed by the lines i - l and i - m .

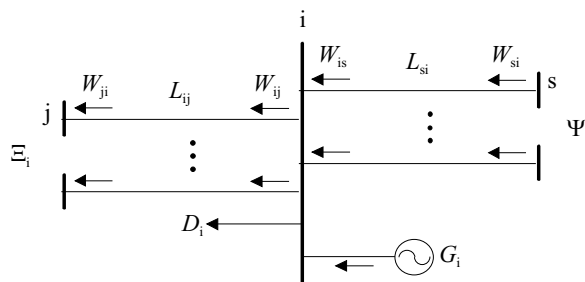
The flow balance for the i -th network node is reflected in the following equation:

where I_i is the total nodal flow. For a better comparison of the values in (1), (2) and (3), the system of relative values, i.e. the per unit (p.u.) system, was used. According to the proportional sharing principle [2], shares of the inflows on the lines j - i $d_{j,i,l}$ and k - i $d_{k,i,l}$ in the outflow i - l can be calculated as:

where the sum of both shares is equal to the inflow on line i - l . A similar result can be established for the transmission path i - m .



Sl. 1. Pretok skozi vozlišče i
Fig. 1. Flow through node i



Sl. 2. Razmere v vozlišču i
Fig. 2. Conditions at node i

1.2 Elementi prenosnega omrežja

V nadaljevanju predstavljamo elemente prenosnega omrežja. Slika 2 prikazuje razmere v vozlišču i , kjer simbol G_i pomeni proizvodnjo v vozlišču i , D_i porabo, Ψ_i pa je množica vseh sosednjih vozlišč, ki napajajo vozlišče i . Množica Ξ_i zajema vozlišča, ki se neposredno napajajo iz i -tega vozlišča. Simbola W_{is} in W_{si} pomenita pretok po prenosni poti i - s v smeri od vozlišča s proti vozlišču i . W_{is} pomeni vrednost pretoka ob vozlišču i , W_{si} pa velja za pretok ob vozlišču s .

1.3 Sledenje pretokom

Za vsako vozlišče prenosnega sistema lahko določimo pretok skozi vozlišče. Pretok skozi vozlišče i Π_i je enak vsoti vseh pretokov v vozlišče, enačba (4), ali pa vsoti vseh pretokov, ki vozlišče i zapuščajo, enačba (5):

$$\Pi_i = \sum_{s \in \Psi_i} W_{is} + G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4),$$

$$\Pi_i = \sum_{j \in \Xi_i} W_{ij} + D_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5).$$

Za sledenje pretokov po omrežju od virov do porabnikov v nadaljevanju upoštevamo enačbo (4). Pri prenosu nastajajo tudi izgube, ki so posledica upornosti in morebitnih okvar prenosnih poti. Pri prenosu tekočin, kakor so plin, nafta in voda, prihaja do spuščanja snovi v okolico zaradi okvar ventilov, počenih cevi in napak na stičnih mestih prenosnih poti. Pri elektroenergetskih omrežjih pa največ izgub povzročajo električne upornosti vodov in drugih elektroenergetskih elementov. Izgube tako določimo kot zmanjšanje pretoka z vrednosti na začetku prenosne poti na vrednost na koncu, pri toplovodih pa kot izgubo upoštevamo tudi zmanjšanje temperature vode. Za prenosno pot i - s lahko zapišemo izgube kot $L_{si} = W_{si} - W_{is}$ (sl. 2). Z upoštevanjem teh izgub preoblikujemo enačbo 4 v naslednjo obliko:

$$\Pi_i - \sum_{s \in \Psi_i} \frac{W_{si} - L_{si}}{\Pi_s} \Pi_s = G_i \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (6),$$

iz česar izhaja matrični zapis:

1.2 Transmission network elements

Transmission lines connect the network nodes. Fig. 2 presents the conditions at node i , where G_i is the production and D_i is the consumption. Ψ_i presents the set of nodes that directly supply node i , and Ξ_i is the set of nodes that are directly supplied by node i , Fig. 2. Symbols W_{is} and W_{si} are the flows on line i - s directed from node s to node i . Since the line flow changes due to transactions, the values W_{is} and W_{si} differ. Hence, W_{is} is the value nearby node i and W_{si} is the value nearby node s .

1.3 Flow Tracing

For each node the total nodal flow Π_i can be defined. It is equal to the sum of all the inflows (4) or outflows (5) from node i :

In the remainder of the text (4) is used to find the flow paths from the producers to the consumers. As already mentioned, the line flows change due to transaction. The difference $L_{si} = W_{si} - W_{is}$ is the line transmission loss that cannot be avoided, but can be successfully minimized. When we are talking about networks in general, we can find a set of reasons that cause transmission losses. In the electrical power system the main reason for losses is line heating caused by line resistances. Other type of networks, for example, for gas, oil or heating water, are also exposed to problems such as the leakage of pipes, problems with valves, errors at connecting points, etc. Considering the loss equation $L_{si} = W_{si} - W_{is}$, (4) can be rewritten as:

which leads to the matrix notation:

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{\Pi} = \mathbf{G} \quad (7),$$

pri čemer so Π vektor pretokov skozi vozlišča, \mathbf{G} vektor proizvedenj in \mathbf{A} distribucijska matrika z (i,s) -tim elementom:

$$a_{is} = \begin{cases} 1 & i = s \\ -(W_{si} - L_{si})/\Pi_s & s \in \Psi_i; i \neq s \\ 0 & s \notin \Psi_i; i \neq s \end{cases} \quad (8).$$

Nadaljnji razvoj enačb, z upoštevanjem sorazmernega porazdelitvenega zakona [2], pripelje do definicije progovnega generacijskega porazdelitvenega faktorja $PGPF_{ij,k}$ - $LGDF_{ij,k}$, deleža k-tega proizvajalca na prenosni poti i-j:

$$LGDF_{ij,k} = h_{ik} \frac{G_k}{\Pi_i} \quad \text{za } j \in \Xi_i \quad (9),$$

pri čemer je h_{ik} element obratne porazdelitvene matrike \mathbf{A}^{-1} . Podrobnejši razvoj enačbe za izračun $PGPF$ -jev zasledite v [4].

Z novo metodo $PGPF$ lahko vsakemu porabniku določimo množico proizvajalcev, ki ga napajajo, in njihove deleže. Z upoštevanjem enačbe (9) zapišemo vozliščni porazdelitveni faktor, delež k-tega proizvajalca v w-tem vozlišču $VGDF_{w,k}$ - $NGDF_{w,k}$, kot:

$$NGDF_{w,k} = \frac{\sum_{c \in \Psi_w} LGDF_{cw,k} \cdot W_{wc}}{\Pi_w} \quad (10),$$

pri čemer je $PGPF_{cw,k}$ - $LGDF_{cw,k}$ delež k-tega proizvajalca na prenosni poti c-w, W_{wc} pretok ob vozlišču w na prenosni poti c-w, Π_w je pretok skozi opazovano vozlišče w, Ψ_w pa je množica vseh sosednjih vozlišč, ki napajajo vozlišče w.

2 REZULTATI

Novo metodo $PGPF$ smo preizkusili na testnem elektroenergetskem sistemu Nove Anglije (NA), ki vsebuje 39 vozlišč in 46 prenosnih vodov, 10 proizvajalcev in 19 porabnikov električne energije. Rezultati nove metode $PGPF$ kažejo, da vsak proizvajalec oskrbuje del sistema, ki obsega množico prenosnih vodov in v vozlišča priključenih porabnikov (sl. 3). Izkaže se, da nekateri deli sistema spadajo v dvoje ali več območij, torej se ne napajajo samo iz enega vira. V teh primerih priskočijo na pomoč faktorji $PGPF$, ki povedo deleže vseh proizvodnih virov na posameznih prenosnih vodih ter tako omogočajo pravično porazdelitev stroškov obratovanja in vzdrževanja sistema med proizvajalce. Preglednica 1 in slika 4 prikazujeta faktorje $VGDF$, tj. deleže proizvajalcev na mestih odjema, ki rabijo kot podlaga za določitev dejanskih proizvodnih stroškov, ki jih morajo poravnati porabniki. Rezultati kažejo, da se porabniki v večini primerov napajajo iz najbližjih proizvodnih virov, saj pretoki izberejo energijsko gledano najbližjo pot od proizvajalcev do porabnikov. V primeru sistema NA je porabnik električne energije v vozlišču 4 tako velik v

where Π is the vector of nodal flows, \mathbf{G} is the vector of productions and \mathbf{A} is the distribution matrix with the (i,s) -th element equal to:

Furthermore, the proportional share principle [2] is considered to define the Line Generation Distribution Factor $LGDF_{ij,k}$, which represents the share of the k-th producer on the transmission line i-j:

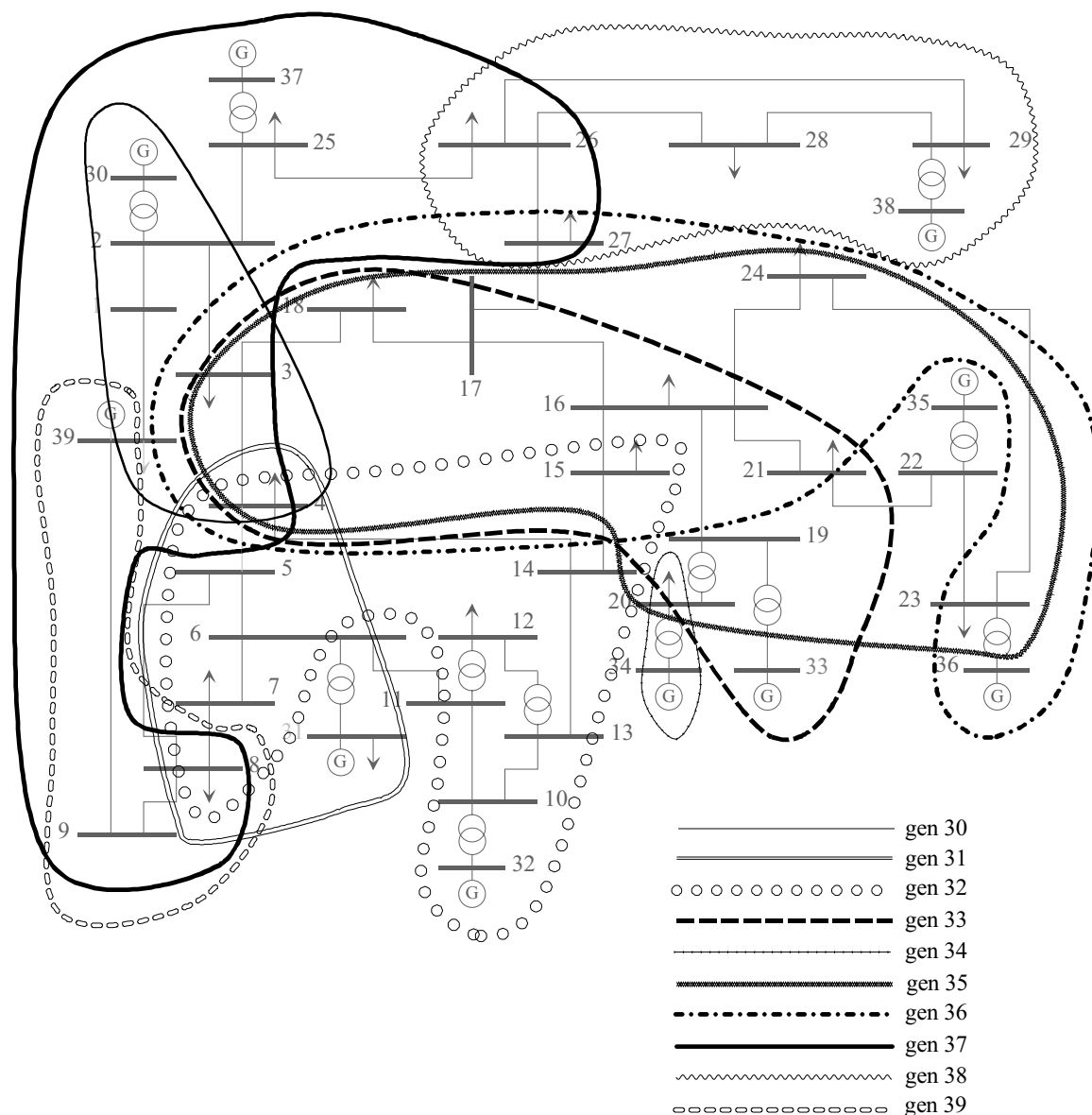
where h_{ik} is the (i,k) -th element of the inverse distribution matrix \mathbf{A}^{-1} . A detailed description and explanation of the LGDFs' calculation can be found in [4].

The new method also obtains the producers' shares in supplying the network loads. The Nodal Generation Distribution Factor $NGDF_{w,k}$ that presents the share of k-th producer at the node w can be calculated as:

where $LGDF_{cw,k}$ is the share of the k-th producer on the transmission line c-w, W_{wc} is a flow on line c-w beside node w, Π_w represents the flow through the observed node w and Ψ_w is the set of nodes that are directly supplied by node w.

2 RESULTS

The new LGDF method was tested on the New England (NE) electrical power system that consists of 39 nodes, 46 transmission lines, 10 producers and 19 consumers. The results show that each consumer supplies a specific area of the system, Fig. 3. It is clear that some areas are covered, i.e. some consumers are supplied by more than one producer. If so, the LGDFs, i.e. the shares of producers on the transmission lines, can be used to fairly allocate the operation and maintenance costs among the producers. Tab. 1 and Fig. 4 show the shares of the generation units in the consumption at a certain node. This information is useful for allocating the production costs among all the consumers in the system. The results show that, in general, it is the production units in the vicinity that supply the consumers. It can be concluded that a certain flow takes the nearest path through the network in the sense of the minimum transaction energy consumed. In the case of the NE system the load at node 4 is relatively big compared to the others. Hence, the distant



Sl. 3. Testni sistem NA z območji proizvajalcev
 Fig. 3. NE test system with producers' areas

primerjavi s preostalimi porabniki, da se napaja tudi iz bolj oddaljenih virov kakršna sta 35 in 36.

Glede na to, da omrežja uporabljajo tudi porabniki, bi z enačbo (5) določili deleže porabnikov v pretokih po omrežju [4] ter bi tako lahko porazdelili stroške obratovanja in vzdrževanja tudi med porabnike.

Poleg proizvodnih in obratovalnih stroškov srečamo tudi stroške prenosnih izgub, ki jih je treba prav tako pravično porazdeliti med uporabnike omrežja. Predvidevamo, da deleži proizvajalcev PGPF na prenosnih poteh predstavljajo tudi deleže proizvajalcev prenosnih izgub na vodih sistema, torej omogočajo preprost in pregleden obračun prenosnih izgub. Z namenom, da bi porazdelili stroške prenosnih izgub med porabnike v omrežju, bi izhajali iz deležev porabnikov na prenosnih poteh, ki jih dobimo z razvojem enačbe (5).

producers, such as the ones at nodes 35 and 36, also supply it.

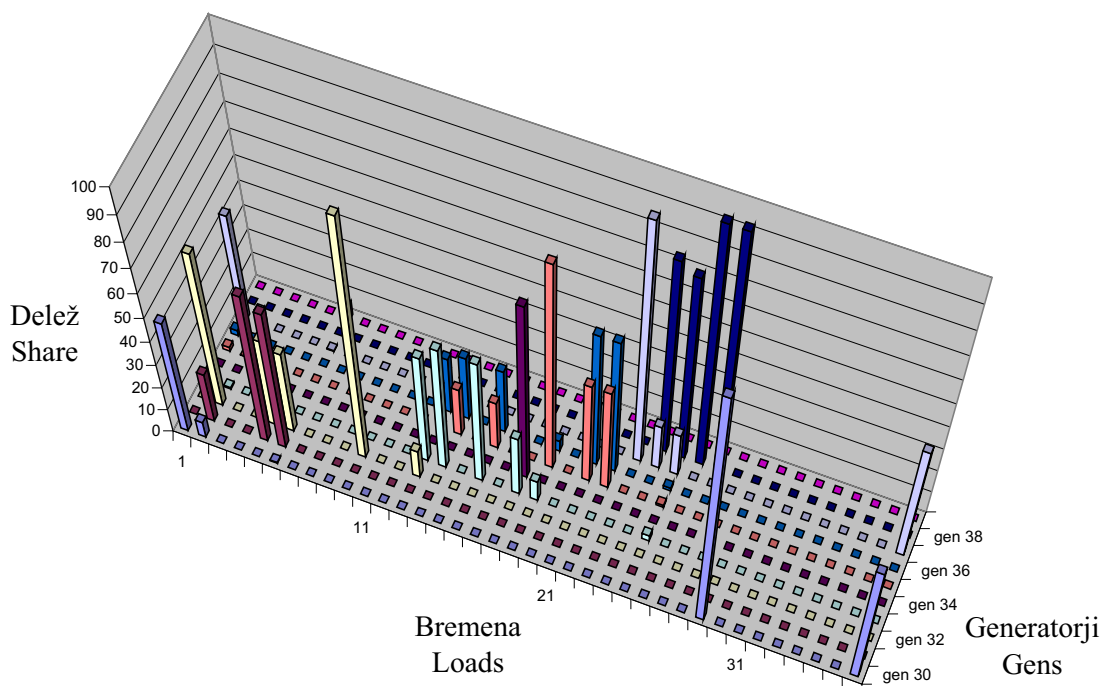
It is possible to calculate the load shares in the line flows [4]. In this case (5) should be further considered and information about the membership of consumers to a certain area can be obtained. In this way the transmission costs can be fairly allocated among all the market players, including the consumers.

The proposed method also tries to correctly distribute the transmission losses. If it is assumed that the LGDFs also represent the producers' shares of the transmission losses, the allocation of costs among all the market players can be obtained in a transparent and simple manner.

Preglednica 1. Deleži proizvajalcev na odjemnih mestih testnega sistema NA

Table 1. Shares of producers in the consumers of the NE test system

Breme Load	VGDF / NGDF %									
	gen 30	gen 31	gen 32	gen 33	gen 34	gen 35	gen 36	gen 37	gen 38	gen 39
3	47,53	0,00	0,00	4,28	0,00	1,68	2,23	44,29	0,00	0,00
4	6,78	21,11	64,64	0,61	0,00	0,24	0,32	6,31	0,00	0,00
7	0,00	62,83	37,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8	0,15	61,11	36,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	2,45
12	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15	0,00	0,00	11,98	46,03	0,00	18,05	23,94	0,00	0,00	0,00
16	0,00	0,00	0,00	52,30	0,00	20,50	27,20	0,00	0,00	0,00
18	0,00	0,00	0,00	52,30	0,00	20,50	27,20	0,00	0,00	0,00
20	0,00	0,00	0,00	25,65	74,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
21	0,00	0,00	0,00	8,87	0,00	86,52	4,61	0,00	0,00	0,00
23	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,98	57,02	0,00	0,00	0,00
24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	42,98	57,02	0,00	0,00	0,00
25	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00
26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	18,91	81,09	0,00
27	0,00	0,00	0,00	2,43	0,00	0,95	1,26	18,03	77,32	0,00
28	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
29	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00
31	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
39	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,13	0,00	89,37



Sl. 4. Testni sistem NA, deleži proizvajalcev v odjemih

Fig. 4. NE test system, shares of the producers in the consumption

3 SKLEP

3 CONCLUSION

Prepletanje znanja več strok je značilno za raziskovalna področja. Ob uvedbi trga z električno energijo se na področju elektroenergetike čuti močna potreba po ekonomskem znanju, ki ga zahtevajo novi načini vodenja in obratovanja sistemov. Prispevek predstavlja novo metodo PGPF za sledenje pretokov

In this paper a new LGDF method for flow tracing through a network is presented. It was developed to cope with new problems that arose as a result of the deregulation and liberalization of electrical networks. The new method, which is based on a matrix calculation, analytically obtains the flow paths

v omrežjih, ki temelji na matričnem izračunu ter tako analitično poišče poti pretokov od virov do porabnikov. Področja uporabe nove metode na področju elektroenergetike so razbremenjevanje kritičnih prenosnih poti, obračunavanje omrežnine, obračunavanje prenosnih izgub, napetostne varnostne analize in oblikovanje ukrepov za preprečevanje napetostnega zloma.

Zaradi skupnih, splošnih lastnosti sistemov je mogoča uporaba nove metode tudi na drugih omrežjih, ki dobivajo ob sprostitvi trga podobne naloge organizacije prostega dostopa do omrežij za uporabnike. Njena izhodišča so tudi lahko namenjena za razvoj novih metod za obvladovanje problemov obratovanja, vodenja in ekonomskega vrednotenja storitev v teh omrežjih.

from the sources to the sinks, i.e. the consumers. In the field of electrical power engineering it can be used for congestion management, transmission-service pricing, security analyses and protection against voltage collapse. For other transmission and distribution networks it can offer a fair distribution of the transmission costs, including transmission losses, among the consumers.

We assume that the common characteristics of networks will give the new approach an opportunity to become, with slight modifications, a new tool in network operation, planning and control in other types of networks that are also undergoing deregulation. It may also present the researcher with new ways to solve problems posed by the market environment.

4 LITERATURA 4 REFERENCES

- [1] Bialek, J. (1996) Tracing the flow of electricity. *IEEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution*, Vol. 143, No. 4, 313-320.
- [2] Kirschen, D., R. Allan, G. Štrbac, (1997) Contributions of individual generators to loads flows. *IEEE Transactions on Power Systems*, Vol. 12, No. 1, 52-60.
- [3] Grgič, D., F. Gubina (1999) Določanje deleža moči generatorjev v porabnikovem odjemu. *Elektrotehiški vestnik*, let. 66, št. 2, Ljubljana, 120-124.
- [4] Pantoš, M., F. Gubina (2002) Allocation of line power flows to loads. *Proceedings of Balkan Power Conference 2002*, Beograd, 19.-21. junij 2002.

Naslov avtorjev: Miloš Pantoš
prof.dr. Ferdinand Gubina
Fakulteta za elektrotehniko
Univerza v Ljubljani
Tržaška 25
1000 Ljubljana
milos.pantos@fe.uni-lj.si
ferdinand.gubina@fe.uni-lj.si

Authors' Address: Miloš Pantoš
Prof.Dr. Ferdinand Gubina
Faculty of Electrical Engineering
University of Ljubljana
Tržaška 25
SI-1000 Ljubljana, Slovenia
milos.pantos@fe.uni-lj.si
ferdinand.gubina@fe.uni-lj.si

Prejeto: 13.11.2002
Received:

Sprejeto: 12.9.2003
Accepted:

Odrpto za diskusijo: 1 leto
Open for discussion: 1 year