فصلنامه سیستم‌های پردازشی و ارتباطی چندرسانه‌ای هوشمند
Intelligent Multimedia Processing and Communication Systems (IMPCS)

Winter, 2021, 2 (4), 13-19
DOR : 20.1001.1.27832570.1400.2.2.1.4

Rcceived: 25 July2021
Accepted: 11 Sep 2021

Definition of Bus Priority Vector to Solve Distribution Load Flow for Radial Networks using MATLAB

Peyman Nazarian

Assistant Professor, Faculty of Electrical and Computer Engineering Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran. pay_naz@iauz.ac.ir
Assistant Professor, Research Center of Energy and System, Islamic Azad University, Zanjan, Iran. pay_naz@iauz.ac.ir

Abstract

Introduction: Load distribution analysis is a fundamental and basic study for all power networks, including distribution networks, which are used in steady-state conditions. Power system planning and operation, power network reorganization, and many optimization studies require a large number of load distribution calculations in normal and emergency situations. Due to the nonlinearity of the system of load distribution equations, it is necessary to use iterative solution methods to solve it. In addition, due to a large number of power grid buses, matrix algebra is used. Some of these applications require fast iterative solutions of load distribution and therefore it is very important that load distribution analysis is performed efficiently. A number of load distribution algorithms are specifically designed for distribution systems. One of these methods considers bus voltages as state variables and works based on an iterative algorithm and uses special methods to increase convergence.

Method: The proposed algorithm of this paper called SDLF in this article does not need special matrices and complex programming. In this method, load distribution can be achieved easily with only a simple vector that shows the priority of buses, which we call BPV, and by using the forward-backward sweeper algorithm. It is worth mentioning that the BPV vector itself is extracted from the network topology. This work can be done both visually from the electrical diagram of the network and from the data matrix of network D by MATLAB software.

Finding: In terms of the convergence of the solution, increasing the repetition has led to an increase in accuracy, and as a result, the 10th repetition has been chosen as a relatively accurate result to confirm the validity of the method, considering the required engineering precision. The obtained results show that even in the first iteration, an acceptable accuracy for the voltage range has been obtained. In steady state analysis of power networks, the voltage amplitude is more important than the voltage phase. The noteworthy point is that in calculating the voltage phase, it is not necessary to update its value in each step, and it is enough to calculate the voltage phase after obtaining the voltage ranges.

Conclusion: In this article, a new method called SDLF is introduced to study the load distribution of distribution networks. The results of the implementation of the proposed method, with an acceptable engineering error, can be used in the common applications of power networks in the first iteration, and based on this, it can be used as an online load distribution in SCADA systems. The effectiveness of the method was checked on the test network of 33 IEEE buses in the text of the article and its validity was confirmed. The introduction of the BPV bus priority vector made it possible to avoid using complex matrices and additional calculations and to reduce the time of load distribution calculations.

Keywords: MATLAB software, online load flow analysis, radial distribution systems, SCADA.

تعریف بردار اولویت شین برای حل پخش بار شبکه‌های شعاعی بااستفاده‌از نرم‌افزار MATLAB

تاریخ دریافت: ۱٤۰۰/۰۵/۰٤ سال دوم، زمستان ۱٤۰۰
تاریخ پذیرش: ۱٤۰۰/۰٦/۲۰ شمارهٔ چهارم، صص: ۱۳-۱۹

پیمان نظریان

استادیار دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران. pay_naz@iauz.ac.ir
استادیار مرکز تحقیقات انرژی و سیستم، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران. pay_naz@iauz.ac.ir

چکیده: در این مقاله، بادرنظرگرفتن روابط ساده مداری و بااستفاده‌از یک الگوی پایه، یک شبکه شعاعی به شاخه‌های خود تقسیم‌می شود و با استفاده از توان معادل دیده شده در شین‌ها و اعمال یک بردار اولویت شین غیریکتا، روش SDLF پیشنهادمی شود. نتایج اولین تکرار از روش SDLF در مقایسه با سایر روش‌ها و با یک تلرانس قابل‌قبول، به‌قدری دقیق است که می‌تواند در عملیات سیستم اسکادا، جهت پخش بار برخط، مورد استفاده قرارگیرد. اثربخشی روش پیشنهادی، با استفاده از نرم‌افزار MATLAB بر روی شبکه آزمون ۳۳ شینه IEEE نشان‌داده‌می‌شود. همچنین این مقاله برخلاف سایر مقالات مرتبط، شامل کدهای خلاصه و ساده MATLAB است به‌طوری که از تعریف ماتریس‌های اضافی و پیچیده در روش پیشنهادی، اجتناب‌می شود. استفاده از یک تکرار به جای چند تکرار و همچنین کاهش حجم محاسبات باعث‌می‌شود که زمان انجام مطالعات پخش بار کاهش‌یابد.

واژه‌های کلیدی: نرم‌افزار MATLAB، آنالیز پخش بار برخط، سیستم‌های توزیع شعاعی، اسکادا.

۱. مقدمه

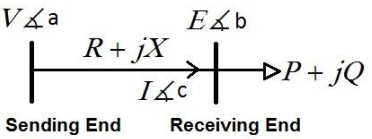
آنالیز پخش بار، مطالعه‌ای اساسی و پایه برای تمامی شبکه‌های قدرت از جمله شبکه‌های توزیع است که در شرایط حالت ماندگار مورداستفاده قرارمی‌گیرد. برنامه‌ریزی سیستم‌های قدرت، بهره‌برداری، بازآرایی شبکه قدرت و بسیاری از مطالعات بهینه سازی، به تعداد زیادی از محاسبات پخش بار در حالت های نرمال و اضطراری نیاز دارند. به‌لحاظ غیرخطی‌بودن دستگاه معادلات پخش بار ضروری‌است تا از روش‌های حل تکراری برای حل آن استفاده‌شود. علاوه‌بر این، به‌دلیل پرتعدادبودن شین‌های شبکه قدرت، از جبر ماتریس‌ها استفاده‌می شود. تعدادی از این کاربردها، به حل‌های تکراری سریعی از پخش بار نیازدارند، ازاین‌رو بسیار مهم است که آنالیز پخش بار تا حد امکان با بازدهی خوبی انجام‌گیرد.

تعدادی از الگوریتم‌های پخش بار به‌طور خاص برای سیستم‌های توزیع طراحی شده‌اند. یکی از این روش‌ها، ولتاژ شین‌ها را به‌عنوان متغیر های حالت درنظرگرفته و براساس یک الگوریتم تکراری کارمی‌کند و از روش‌های خاصی جهت افزایش همگرایی بهره‌می‌برد [۱]. در مرجع [۲]، اصلاحی روی روش جاروب پیشرو-پسرو ارائه‌می شود که همگرایی را روی شبکه آزمون شبکه توزیع یک کشتی افزایش‌می‌دهد. تعدادی از روش‌ها، ماتریس‌های خاص BIBC و BCBV را استفاده می‌کنند [۳-۵]. تعدادی از الگوریتم های پخش بار روی سیستم‌های توزیع حلقوی عمل‌می‌کنند [۶-۱۵].

الگوریتم پیشنهادی که در این مقاله ما آن را SDLF نام گذاری‌کرده‌ایم؛ به ماتریس های خاص و برنامه‌نویسی پیچیده نیازی‌ندارد. در این روش، تنها با یک بردار ساده که اولویت شین‌ها را نشان‌می‌دهد و آن را BPV نامیده‌ایم و با استفاده از الگوریتم جاروب پیشرو-پسرو به سادگی می‌توان پخش بار را به‌نتیجه‌رساند. شایان‌ذکر است که خود بردار BPV از روی توپولوژی شبکه استخراج می‌شود. این کار می‌تواند هم به‌صورت دیداری از روی دیاگرام الکتریکی شبکه و هم از روی ماتریس داده‌های شبکه D توسط نرم‌افزار MATLAB انجام‌شود که در بخش‌های بعدی، به جزئیات آن پرداخته‌می‌شود.

۲. معرفی الگوی پایه مداری

شبکه نشان‌داده‌شده در شکل ۱ به‌عنوان یک الگوی پایه مداری جهت تشکیل‌دادن بردار اولویت شین‌ها BPV و حل پخش بار در بخش ۴ استفاده‌خواهدشد.



شکل ۱: الگوی پایه مداری

جریان بار در سر انتهایی الگوی پایه نشان‌داده‌شده در شکل ۱، توسط دو رابطه به شکل رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$I\angle c = \frac{V\angle a - E\angle b}{R+jX} = \frac{P-jQ}{E\angle -b} \qquad (۱)$$

با معادل‌گرفتن دو طرف رابطه (۱) می‌توان به رابطه (۲) رسید.

$$VE\angle(a-b) - E^2 = (R+jX)P - j(R+jX)Q \qquad (۲)$$

حال با مساوی‌گرفتن بخش‌های حقیقی و موهومی رابطه (۲)، به دو رابطه (۳) و (۴) می‌رسیم.

$$VE\cos(a-b) = E^2 + RP + XQ \qquad (۳)$$

و

$$VE\sin(a-b) = XP - RQ \qquad (۴)$$

حال اگر دو طرف روابط (۳) و (۴) را به توان دو برسانیم و با هم جمع‌کنیم؛ رابطه (۵) را خواهیم‌داشت.

$$E^4 + \left[2(RP+XQ) - V^2\right]E^2 + (RP+XQ)^2 + (XP-RQ)^2 = 0 \qquad (۵)$$

از طرفی به‌راحتی می‌توان اتحاد رابطه (۶) را نشان‌داد.

$$(RP+XQ)^2 + (XP-RQ)^2 = (R^2+X^2) \times (P^2+Q^2) \qquad (۶)$$

با جایگزین‌کردن رابطه (۶) در رابطه (۵) و حل معادله درجه دو می‌توان به نقاط کار پایدار و ناپایدار ولتاژ رسید که به‌ترتیب در روابط (۸) و (۹) آورده شده‌اند. ضمناً مطابق رابطه (۷)، از پارامتر تعریف شده K برای سهولت در نوشتن روابط استفاده‌شده‌است.

$$K = 0.5V^2 - (RP+XQ) \qquad (۷)$$

با استفاده از این پارامتر، جواب پایدار عبارت‌است‌از

$$E^2 = K + \sqrt{K^2 - (R^2+X^2)(P^2+Q^2)} \qquad (۸)$$

همچنین برای جواب ناپایدار ولتاژ داریم.

$$E^2 = K - \sqrt{K^2 - (R^2+X^2)(P^2+Q^2)} \qquad (۹)$$

برای تعیین اختلاف فاز ولتاژ در ابتدا و انتهای الگوی مداری، با تقسیم رابطه (۴) بر رابطه (۳) می‌توان رابطه (۱۰) را به‌دست‌آورد.

$$a-b = \tan^{-1}\left(\frac{XP-RQ}{E^2+RP+XQ}\right) \qquad (۱۰)$$

درنهایت می‌توان تلفات اکتیو و راکتیو الگوی مداری را به‌ترتیب به‌صورت روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه‌کرد.

$$P_{Loss} = R\frac{P^2+Q^2}{E^2} \qquad (۱۱)$$

و

$$Q_{Loss} = X \frac{P^2 + Q^2}{E^2} \qquad (۱۲)$$

۳. تعریف بردار اولویت شین BPV

همان‌طور که در مقدمه گفته‌شد؛ BPV برداری است که می‌تواند به‌صورت دیداری از روی توپولوژی شبکه به‌دست‌آید. این بردار در سرعت‌بخشیدن به مطالعات پخش بار و ساده سازی آن کمک مؤثری خواهدکرد. برای تعیین BPV می‌توان از روش پیشنهادی ساده زیر طی چهار گام استفاده‌کرد.

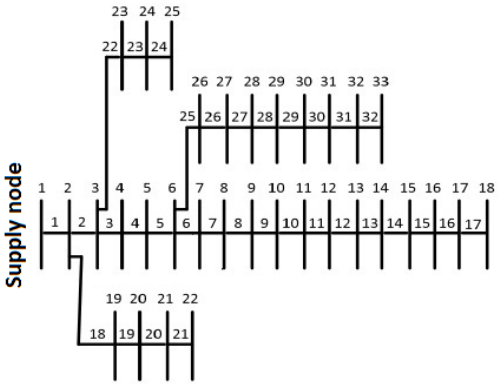
گام اول- یکی از شاخه‌های انتهایی شبکه را انتخاب‌کنید.

گام دوم- مطابق الگوی پایه شکل ۱، شماره شین انتهایی را به بردار BPV بیافزایید.

گام سوم- شین ذکرشده در گام دوم و شاخه متصل به آن را روی دیاگرام حذف‌کنید.

گام چهارم- به گام اول برگردید و مراحل فوق را به‌قدری تکرارکنید تا به شین آخر برسید.

باتوجه‌به اینکه انتخاب شاخه انتهایی در گام اول روش، به‌دلخواه است؛ لذا بردار BPV در اغلب اوقات یکتا نبوده و می‌تواند به روش‌های مختلف نوشته‌شود. به‌عنوان مثال، در شکل ۲ سیستم توزیع ۳۳ شینه شعاعی استاندارد IEEE را درنظربگیرید.



شکل ۲: سیستم توزیع ۳۳ شینه IEEE

اگر از شین انتهایی شماره ۲۵ شروع کنیم؛ بردار BPV را به‌صورت زیر می‌توان‌نوشت:

BPV= [25 24 23 33 32 31 30 29 28 27 26 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 22 21 20 19 6 5 4 3 2 1]

ولی اگر از شین انتهایی ۲۲ شروع‌کنیم خواهیم‌داشت:

BPV= [22 25 21 24 20 23 19 18 17 16 15 14 13 12 11 10 9 8 7 33 32 31 30 29 28 27 26 6 5 4 3 2 1]

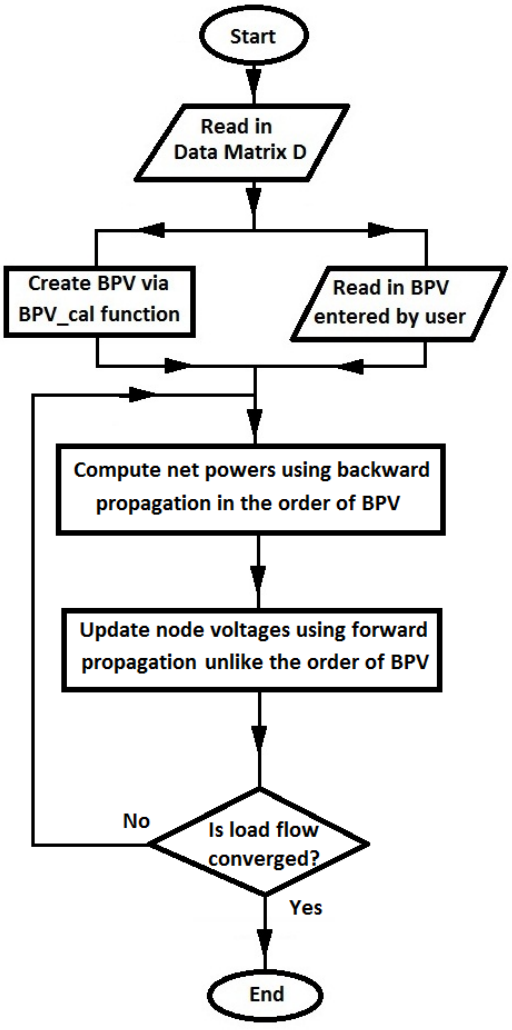
و به‌همین‌ترتیب، بردارهای زیادی از ترکیب‌کردن ترتیب شاخه‌های مختلف انتهایی می‌توان‌نوشت.

همان‌طور که در مقدمه نیز ذکرشد؛ بردار BPV را می‌توان از روی ماتریس داده‌های شبکه D نیز به‌دست‌آورد که در این حالت، سرعت محاسبات پخش بار نیز به‌مراتب بیشتر خواهد شد. کدهای MATLAB مربوط به استخراج BPV از ماتریس داده‌های شبکه D در بخش پیوست‌ها آورده شده‌است. به‌عنوان مثال، با استفاده از این کدها، بردار BPV به‌صورت زیر استخراج‌می‌شود که البته یکی از شکل‌های قابل قبول این بردار منعطف می‌باشد:

BPV= [18 22 25 33 17 21 24 32 16 20 23 31 15 19 30 14 29 13 28 12 27 11 26 10 9 8 7 6 5 4 3 2 1]

۴. تدوین الگوریتم

الگوریتم مورد استفاده جهت حل آنالیز پخش بار SDLF از دو ورودی BPV و D استفاده‌می‌کند. BPV، هم می‌تواند به صورت دستی، توسط کاربر واردشود و هم می‌تواند از طریق کدهای نرم‌افزاری پیوست‌ها ایجادشود. الگوریتم کلی را در شکل ۳ می‌توان‌مشاهده‌کرد.



شکل ۳: فلوچارت روش SDLF بااستفاده‌از BPV

۵. نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی

جهت شبیه سازی و تست، روش پیشنهادی SDLF روی شبکه آزمون ۳۳ شینه IEEE پیاده‌سازی‌شد. داده‌های مربوط به این شبکه آزمون در جدول ۲ بخش پیوست‌ها و همچنین دیاگرام الکتریکی معادل یک‌فاز آن در شکل ۲ آورده‌شده‌اند. پروفیل ولتاژ شبکه را می‌توان در جدول ۱ برای شین‌های مختلف مشاهده‌نمود. برای دامنه ولتاژ، نتایج تکرارهای

اول تا سوم با روش SDLF محاسبه‌شده و جهت تعیین خطا و تأیید اعتبار نتایج، این مقدار با نتیجه تکرار دهم روش مذکور مقایسه‌شده‌است. شایان‌ذکر است که به‌لحاظ همگرا بودن جواب، افزایش تکرار به افزایش دقت منجرشده و درنتیجه، تکرار دهم باتوجه‌به دقت مهند سی مورد نیاز، به‌عنوان نتیجه نسبتاً دقیق برای تأیید اعتبار روش، انتخاب شده‌ا ست. نتایج به‌د ست‌آمده نشان‌می‌دهند که حتی در تکرار اول، دقت قابل‌قبولی برای دامنه ولتاژ به‌د ست‌آمده‌ا ست. در آنالیز حالت ماندگار شبکه‌های قدرت، دامنه ولتاژ از اهمیت بالاتری نسبت به فاز ولتاژ قراردارد. در روش SDLF هم اگر به محاسبه فاز ولتاژ نیاز با شد، می‌توان از رابطه (۱۰) ا ستفاده‌نمود. نکته قابل‌توجه این ا ست که در محاسبه فاز ولتاژ نیاز نیست که در هر مرحله مقدار آن به‌روز شود و کافی‌ا ست پس از به‌د ست‌آمدن دامنه‌های ولتاژ، نسبت به محا سبه فاز ولتاژ اقدام‌شود. نتایج فاز ولتاژ شین‌های شبکه نیز در ستون آخر جدول ۱ آورده‌شده‌اند.

جدول ۱: نتایج پخش بار شبکه ۳۳ شینه IEEE بااستفاده‌از روش SDLF

Bus no.	Voltage (1st Iter.) $\left(Max\ Error = 3.0796\times10^{-4}\right)$	Voltage (2nd Iter.) $\left(Max\ Error = 1.2951\times10^{-6}\right)$	Voltage (3rd Iter.) $\left(Max\ Error = 5.4836\times10^{-9}\right)$	Phase angle (rad) (1st Iter.) $\left(Max\ Error = 3.0878\times10^{-5}\right)$
1	1	1	1	0
2	0.9970285949	0.9970183368	0.9970182935	0.000235
3	0.9829646271	0.9829009224	0.9829006529	0.001657
4	0.9755010954	0.9754010748	0.9754006495	0.002802
5	0.9681190902	0.9679840140	0.9679834384	0.003963
6	0.9497213302	0.9495164530	0.9495155822	0.002323
7	0.9462136933	0.9459940280	0.9459930943	-0.001706
8	0.9326009657	0.9323417881	0.9323406905	-0.004384
9	0.9262873266	0.9260105906	0.9260094211	-0.005684
10	0.9204432433	0.9201542982	0.9201530793	-0.006805
11	0.9195763631	0.9192856849	0.9192844590	-0.006677
12	0.9180646182	0.9177710704	0.9177698329	-0.006474
13	0.9118970480	0.9115959358	0.9115946684	-0.008099
14	0.9096093930	0.9093061029	0.9093048268	-0.009499
15	0.9081839583	0.9078793812	0.9078781001	-0.010170
16	0.9068030713	0.9064974886	0.9064962034	-0.010584
17	0.9047559669	0.9044495112	0.9044482224	-0.011959
18	0.9041428922	0.9038362284	0.9038349388	-0.012130
19	0.9965002564	0.9964899771	0.9964899338	0.000046
20	0.9929226927	0.9929123346	0.9929122910	-0.001123
21	0.9922181912	0.9922078213	0.9922077777	-0.001461
22	0.9915807700	0.9915703933	0.9915703497	-0.001816
23	0.9793805785	0.9793154115	0.9793151371	0.001117
24	0.9727103469	0.9726440837	0.9726438058	-0.000432
25	0.9693854590	0.9693189678	0.9693186889	-0.001194
26	0.9477994843	0.9475878260	0.9475869270	0.003010
27	0.9452452838	0.9450249507	0.9450240157	0.003987
28	0.9338310668	0.9335859247	0.9335848904	0.005436
29	0.9256215054	0.9253669709	0.9253659001	0.006796
30	0.9220660313	0.9218090849	0.9218080046	0.008633
31	0.9179059108	0.9176472787	0.9176461917	0.007160
32	0.9169906189	0.9167317158	0.9167306277	0.006758
33	0.9167070116	0.9164480283	0.9164469399	0.006623

۶. نتیجه‌گیری

در این مقاله، روش جدیدی به نام SDLF، برای مطالعات پخش بار شبکه‌های توزیع معرفی‌شده‌است. نتایج پیاده‌سازی روش پیشنهادی، با یک خطای مهندسی قابل‌قبول، در اولین تکرار نیز قابلیت استفاده در کاربردهای متداول شبکه های قدرت را دارد و براین‌اساس، می‌تواند در سیستم‌های اسکادا نیز به‌عنوان پخش بار برخط استفاده‌شود. اثربخشی روش، بر روی شبکه آزمون ۳۳ شینه IEEE در متن مقاله بررسی‌شد و اعتبار آن به‌تأییدر سید. معرفی بردار اولویت شین BPV باعث شد تا از به‌کار بستن ماتریس‌های پیچیده و محاسبات اضافی اجتناب‌شود و زمان محاسبات پخش بار کاهش‌یابد.

پیوست‌ها

- کدهای MATLAB جهت پخش بار SDLF

```
n=33; % Number of buses
maxiter=10; % Determine the max. iteration
% Convert to per unit
Sb=1; Vb=12.66; Zb=Vb^2/Sb;
D(:,4:5)=D(:,4:5)/Zb; D(:,6:7)=0.001*D(:,6:7);
% Initialize bus voltages
Vref=1; ang=0; v(1:n-1,1)=Vref; v(1:n-1,2)=ang;
% Cell array for input and output branches of buses
out_br(n)={[]}; in_br(n)={[]};
for k = 1:n-1,
  out_br(D(k,2))={[out_br{D(k,2)} D(k,1)]};
  in_br(D(k,3))={[in_br{D(k,3)} D(k,1)]};
end
% You can use BPV directly instead of  BPV_cal function
BPV= BPV_cal(D, in_br, out_br);
% Load Flow Iterations
for iter=1:maxiter,
% Calculation of Net Powers at Buses (Backward sweep)
  for k=1:n-1,
    out=out_br{BPV(k)};
    r=in_br{BPV(k)}; ls=length(out);
    F(r,1)=D(r,6);  F(r,2)=D(r,7);
    if ls>0
      for m=1:ls,
        s=out(m);
        P=F(s,1); Q=F(s,2); V=v(BPV(k),1);
        F(r,1)=F(r,1)+P+D(s,4)*(P^2+Q^2)/V^2;
        F(r,2)=F(r,2)+Q+D(s,5)*(P^2+Q^2)/V^2;
      end
    end
  end
% Calculation of Bus Voltages (Forward sweep)
  for k=n-1:-1:1,
    r=[in_br{BPV(k)}];
    P=F(r,1); Q=F(r,2); R=D(r,4); X=D(r,5);
    V=v(D(r,2),1); e=0.5*V^2-R*P-X*Q;
    v(D(r,3),1)=sqrt(e+sqrt(e^2-(R^2+X^2)*(P^2+Q^2)));
  end
end
% Voltage Phase Angle Calculation without any Iteration
for k=n-1:-1:1,
  r=[in_br{BPV(k)}];
  P=F(r,1); Q=F(r,2); R=D(r,4); X=D(r,5);
  E=v(D(r,3),1); del=v(D(r,2),2);
  v(D(r, 3),2) = del-atan((X*P-R*Q)/(E^2+R*P+X*Q));
end
```

- داده‌های ماتریس D

جدول ۲: داده‌های شبکه توزیع ۳۳ شینه IEEE (ماتریس D)

Branch no.	Sending bus	Receiving bus	R (Ohms)	X (Ohms)	Load at Rec.	
					PL (kW)	QL (kVAR)
1	1	2	0.0922	0.0477	100	60
2	2	3	0.493	0.2511	90	40
3	3	4	0.366	0.1864	120	80
4	4	5	0.3811	0.1941	60	30
5	5	6	0.819	0.707	60	20
6	6	7	0.1872	0.6188	200	100
7	7	8	1.7114	1.2351	200	100
8	8	9	1.03	0.74	60	20
9	9	10	1.04	0.74	60	20
10	10	11	0.1966	0.065	45	30
11	11	12	0.3744	0.1238	60	35
12	12	13	1.468	1.155	60	35
13	13	14	0.5416	0.7129	120	80
14	14	15	0.591	0.526	60	10
15	15	16	0.7463	0.545	60	20
16	16	17	1.289	1.721	60	20
17	17	18	0.732	0.574	90	40
18	2	19	0.164	0.1565	90	40
19	19	20	1.5042	1.3554	90	40
20	20	21	0.4095	0.4784	90	40
21	21	22	0.7089	0.9373	90	40
22	3	23	0.4512	0.3083	90	50
23	23	24	0.898	0.7091	420	200
24	24	25	0.896	0.7011	420	200
25	6	26	0.203	0.1034	60	25
26	26	27	0.2842	0.1447	60	25
27	27	28	1.059	0.9337	60	20
28	28	29	0.8042	0.7006	120	70
29	29	30	0.5075	0.2585	200	600
30	30	31	0.9744	0.963	150	70
31	31	32	0.3105	0.3619	210	100
32	32	33	0.341	0.5302	60	40

- کدهای MATLAB جهت محاسبه بردار BPV

```
function BPV=BPV_cal(D, in_br, out_br)
BPV=[];
for k=1:n,
  lo(k)=length(out_br{k});
end
f=1:n;
lon=lo;
while ~isempty(f)
  [d,I]=sort(eq(lon,0));
  e=setdiff(d.*I,0);
  b=f(e);
  f=setdiff(f,b);
  BPV=[BPV b];
  le=length(b);
  for k=1:le,
    [c,ind]=sort(eq(D(:,3),b(k)));
    br=ind(n-1);
    lo(D(br,2))=lo(D(br,2))-1;
  end
  lon=lo(f);
end
```

مراجع

[1] A. Augugliaro, L. Dusonchet, M. G. Ippolito, and E. R. Sanseverino, “An Efficient Iterative Method for Load-flow Solution in Radial Distribution Networks,” in Proc. IEEE Porto Power Tech Conf., Porto, Portugal, pp. 10 -13, 2001.

[2] T. L. Baldwin and S. A. Lewis, “Distribution Load Flow Methods for Shipboard Power Systems,” IEEE Trans. Industry Applications, vol. 40, no. 5, pp. 1183-1190, Sep./Oct. 2004.

[3] P. Aravindhababu, S. Ganapathy, and K. R. Nayar, “A novel technique for the analysis of radial distribution systems,” Elect. Power Energy Syst., vol. 23, no. 3, pp.167–71, 2001.

[4] K. V. S. R. Murthy, M. R. Raju, G. G. Rao, and K. N. Rao, “Topology based approach for Efficient Load flow Solution of Radial Distribution Networks,” in Proc. 16th Nat. Pow. Sys. Conf., Heyderabad, A.P, India, pp. 176-179, 2010.

[5] J. H. Teng, “A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions,” IEEE Trans. on Power delivery, vol. 18, no. 3, pp.882-887, July 2003.

[6] G. W. Stagg and A. H. El-Abiad, *Computer Methods in Power System Analysis*, New York, McGraw Hill, 1968.

[7] R. T. Bhimarasetti and A. Kumar, “A New Contribution to Distribution Load Flow Analysis for Radial and Mesh Distribution Systems,” in Proc. IEEE Int. Conf. on Comput. Intel. and Commun. Net., Bhopal, India, pp. 14-16, 2014.

[8] D. Shirmohammadi, H. W. Hong, A. Semlyen, and G. X. Luo, “A compensation-based power flow method for weakly meshed distribution and transmission networks,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 3, no. 2, pp. 753–762, May 1988.

[9] G. X. Luo and A. Semlyen, “Efficient load flow for large weakly meshed networks”, IEEE Trans. Power Syst., vol. 5, no. 4, pp. 1309–1316, Nov. 1990.

[10] C. S. Cheng and D. Shirmohammadi, “A three phase power flow method for real time distribution system analysis,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 10, no. 2, pp. 671-679, May 1995.

[11] M.H. Haque, “Efficient load flow method flow distribution systems with radial or mesh configuration,” in Proc. IEE. Generat. Transm. Distrib., vol. 143, no. 1, pp. 33–38, 1996.

[12] M. H. Haque, “A general load flow method for distribution systems”, Elect. Power Syst. Res., vol. 54, issue. 1, pp. 47–54, Apr. 2000.

[13] G. Chang, S. Y. Chu, M. F. Hsu, C. S. Chuang and H. L. Wang, “An efficient power flow algorithm for weakly meshed distribution system” Elect. Power Syst. Res., vol. 84, issue. 1, pp. 90-99, Mar. 2012.

[14] J. H. Teng, “A Direct Approach for Distribution System Load Flow Solutions”, IEEE Trans. on Power delivery, vol. 18, no. 3, pp. 882-887, July 2003.

[15] W. M. Lin and J. H. Teng, “Phase-decoupled load flow method for radial and weakly-meshed distribution networks” in Proc. IEE. Generat. Transm. Distrib., vol. 143, no. 1, pp. 39–42, 1996.