

# استفاده از دیاگرامهای دایره‌ای بمنظور محاسبه افت ولتاژ و انرژی در خطوط کوتاه و بلند انتقال نیرو

تهیه کنندگان :

هوشنگ بنداری و مهدی رفیعیان

فارغ التحصیلان دانشکده فنی و مهندسان وزارت آب و برق

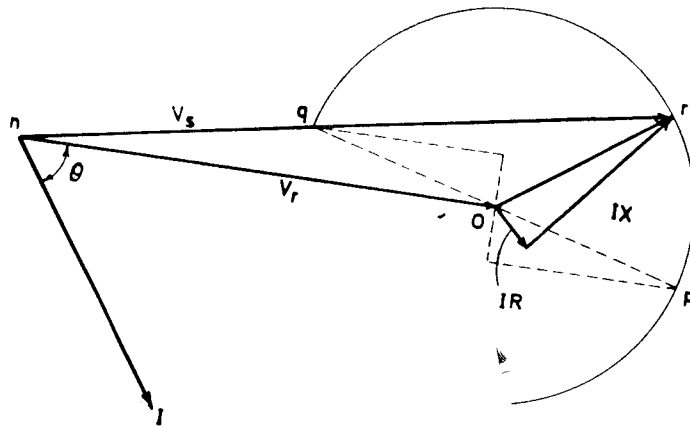
## دیاگرامهای دایره‌ای

(Circle Diagrams)

**دیاگرام دایره‌ای** - استفاده از یک دیاگرام برای مطالعه تغییرات ولتاژ و جریان و قدرت در یک مدار (وقتی که بعضی از پارامترها تغییر میکنند)، نه تنها در مواردیکه تعداد نقاط مورد محاسبه زیاد است از اتلاف وقت جلوگیری میکند، بلکه به تشریح بعضی از نتایج حاصله نیز کمک مینماید. مکان هندسی انتهای بردارهای ولتاژ یا جریان در اغلب موارد در حالیکه بعضی از پارامترها تغییر میکنند دایره است. چنین دواپیری را میتوان در یک دستگاه مختصات ترسیم نمود و از روی آن تغییرات بعضی مقادیر مدار را بازاء تغییرات بعضی دیگر از مقادیر نشان داد. اینگونه دیاگرامهای دایره‌ای هنگام طرح و بهره‌برداری یک سیستم الکتریکی مفید و مؤثر است.

بعنوان مقدمه‌ای برای مطالعه دیاگرامهای دایره‌ای یک سیستم انرژی، مدار معادل یک خط کوتاه انتقال انرژی را بررسی مینمائیم. از ادسیتانس موازی با خط (کاپاسیته) صرفنظر میشود و در اینصورت خط کوتاه بوسیله یک امپدانس سری  $Z = R + jX$  بین نقطه ورودی (Sending End) و نقطه خروجی (Receiving End) شبکه نشان داده میشود. (شکل شماره ۱) دیاگرام برداری (Phasor Diagram) مدار است و ولتاژ نقطه ورودی  $V_s$  را مجموع ولتاژ نقطه خروجی  $V_r$  و افت ولتاژ در مقاومت اهمی  $R$  و مقاومت اندوکتیو  $X$  خط یعنی  $IR$  و  $IX$  مشخص مینماید. اکنون فرض میکنیم که مقادیر ولتاژ و جریان خروجی ثابت نگهداشته شده و ضریب توان  $(\cos \phi)$  بار تغییر نماید، دیاگرام برداری نشان میدهد که با ثابت بودن

تفاضل بردارهای  $V_s$  و  $V_r$  بردار  $V_s$  تغییر نموده و انتهای آن روی نیم دایره  $prq$  حرکت مینماید. مثلثهای اسپدانس (در شکل خط چین نشان داده شده) باوترهای  $op$  و  $oq$  مقادیر افت ولتاژ را با ضریب توان صفر ( $90^\circ$  پس فاز Lagging) و ( $90^\circ$  پیش فاز Leading) مشخص مینماید. نظر باینکه فاز جریان پیش از  $90^\circ$  از ولتاژ  $V_r$  عقب یا جلونخواهد بود نقاط  $p$  و  $q$  حد نهائی نقاط انتهای بردار  $V_s$  خواهند بود. رسم دیاگرامی



ش ۱

دیاگرام برداری یک خط کوتاه که برای مقادیر ثابت  $|V_r|$  و  $|I|$  و مقادیر مختلف ضریب توان رسم شده است

شبهه شکل ۱ ساده است. اگر رسم چنین دیاگرامی با دقت کافی و مقیاس نسبتاً بزرگ انجام شود در اندازه گیری مقادیر لازم برای محاسبه تنظیم ولتاژ، ویاتهبه دیاگرام تغییرات ولتاژ ورودی نسبت بضریب توان باربرای ولتاژ خروجی معین و KVA بار باسانی انجام خواهد شد.

### دیاگرام دایره‌ای قدرت در نقطه خروجی

(Receiving-end Power Circle Diagram)

یک دیاگرام چند جانبه (Versatile) برای یک شبکه  $\pi$  قطبی (Two-terminal pair) دارای مختصات قدرت حقیقی ( $\cos \theta \times \text{آمپر} \times \text{ولت}$ ) روی محور افقی و قدرت راکتیو ( $\sin \theta \times \text{آمپر} \times \text{ولت}$ ) روی محور قائم میباشد. انتهای بردار بار در نقطه خروجی بر روی دیاگرام (Chart) بوسیله مقدار بار حقیقی و راکتیو بدست میآید. اگر نقاط مشخص شده بوسیله قدرت حقیقی و راکتیو در نقطه خروجی یک شبکه  $\pi$  قطبی بر روی دستگاه مختصات برای بارهای مختلف معین شود این نقاط نیز بر روی دایره واقعند، بشرطی که مقدار ولتاژ در دو انتهای شبکه ثابت بماند.

اگر دوایر برای چندین مقدار ولتاژ ورودی و یک مقدار ولتاژ خروجی ترسیم شوند برای هر مقدار  $|V_s|$  یک دایره با قطر معین خواهیم داشت ولی کلیه این دوایر متحدالمرکزند.

دوایر ترسیم شده روی نقشه که شامل قدرت حقیقی و راکتیو نقطه خروجی بر روی محورهای افقی و قائمند ، دیاگرامهای دایره‌ای قدرت در نقطه خروجی نامیده میشوند .  
 دیاگرام دایره‌ای که در بالا شرح داده شد از دیاگرام برداری یک شبکه  $\pi$  قطبی با توجه بدور رابطه :

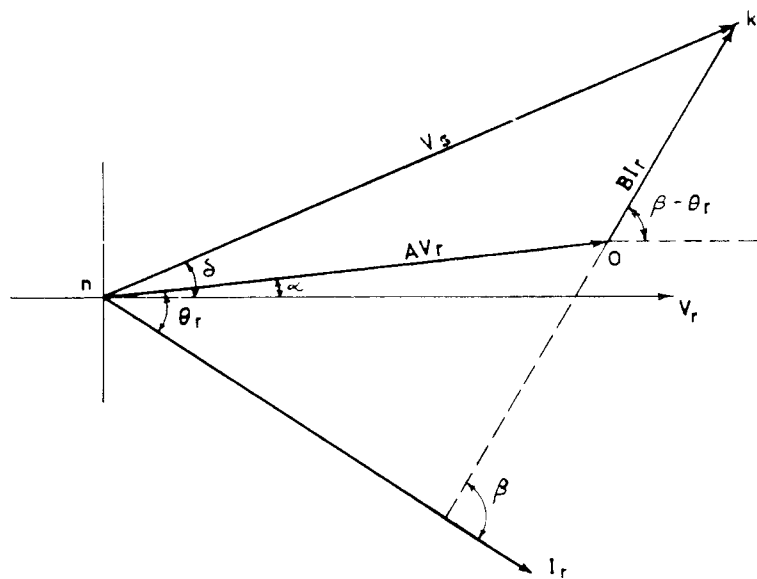
$$\begin{aligned} V_s &= AV_r + BI_r \\ I_s &= CV_r + DI_r \end{aligned} \quad (1)$$

نتیجه میشود . برای ترسیم دیاگرام برداری چنین فرض میشود :

$$\begin{aligned} A &= |A| \angle \alpha \\ B &= |B| \angle \beta \\ D &= |D| \angle \Delta \end{aligned} \quad (2)$$

ثابت C برای دیاگرامهای دایره‌ای لازم نیست و D فقط برای دیاگرامهایی که با روابط مربوط به قدرت در نقطه ورودی رسم میشوند ، مورد استفاده است .

(شکل شماره ۲) دیاگرام برداری یک شبکه چهار قطبی میباشد در حالیکه ولتاژ نقطه خروجی بعنوان بردار مبنا (Reference) انتخاب شده است ، بردار  $AV_r$  نسبت به  $V_r$  با اندازه زاویه  $\alpha$  پیش فاز است . اگر



(شکل ۲)

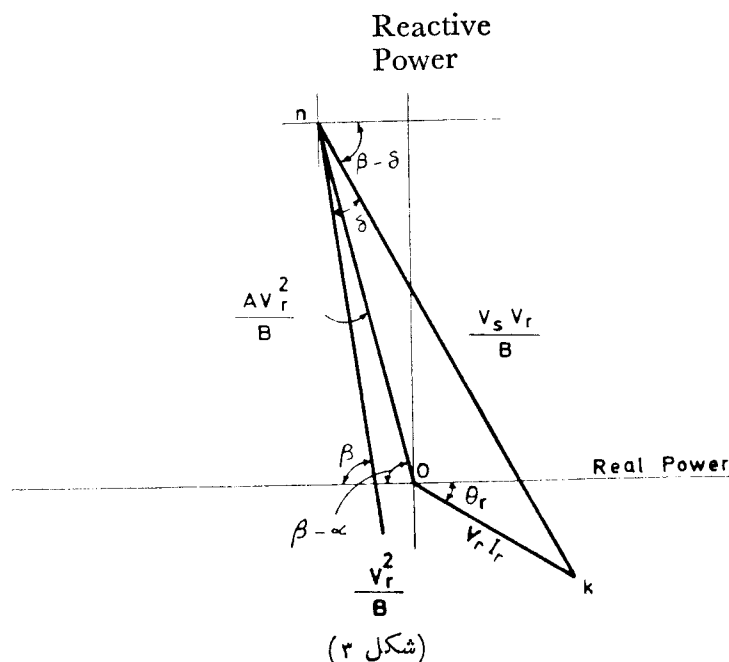
دیاگرام برداری یک شبکه  $\pi$  قطبی با جریان بار  $I_r$  ، بعنوان بردار مبنا انتخاب شده است

جریان  $I_r$  نسبت به  $V_r$  معادل زاویه  $\theta_r$  پس فاز باشد . بردار  $BI_r$  با اندازه  $\beta - \theta_r$  پیش فاز خواهد بود . ولتاژ نقطه ورودی  $V_s$  با توجه بروابط (۱) مجموع  $AV_r$  و  $BI_r$  میباشد کلیه بردارهای دیاگرام (شکل ۲) بجز  $I_r$  ولتاژ میباشد بنابراین برای بدست آوردن دیاگرامی با قدرت حقیقی و قدرت راکتیو بایستی کلیه مقادیر (شکل ۲) را در جریان ضرب نمائیم ، و چون مقادیر قدرت در نقطه خروجی شبکه مورد نیاز است لذا  $V_r/B$  را بعنوان

عامل ضرب شونده اختیار مینمائیم ،  $V_r/B$  دارای دیمانسیون جریان بوده و حاصلضرب ولتاژ  $B I_r$  و جریان  $V_r/B$  برابر  $V_r I_r$  است یعنی ولت آمپر در نقطه خروجی شبکه میباشد .  
 اکنون به بررسی دیاگرام حاصله میپردازیم از آنجائیکه  $V_r$  بردار مبدأ در شکل ۲ میباشد . زاویه فاز (Phase Angle) صفر بوده و بردار  $V_r/B$  با زاویه  $\beta$  - نسبت به بردار مبنا (Reference Phasor) قرار میگیرد زیرا :

$$\frac{|V_r|}{|B|} \angle \beta = \frac{|V_r|}{|B|} \angle -\beta = \frac{|V_r|}{|B|} e^{-j\beta}$$

بنابراین ضرب کردن بردارهای ولتاژ دیاگرام شکل ۲ در  $V_r/B$  کلیه بردارها و در نتیجه دیاگرام را باندازه زاویه  $\beta$  - تغییر مکان میدهد . نتیجه آن دیاگرام قدرت (شکل ۳) میباشد .



(شکل ۳)

دیاگرام قدرت در نقطه خروجی که از ضرب بردارهای شکل ۲ در  $V_r/B$  بدست آمده است . قدرت را کتیو جذب شده بوسیله یک باراندوکتیو در زیر محور افقی نشان داده شده است

برای سهولت مرکز مختصات در دیاگرام جدید نقطه O اختیار میشود . اکنون  $V_r I_r$  در امتدادی با زاویه  $-\theta_r$  ، یا زاویه  $\theta_r$  زیر محور افقی واقع است . زیرا  $V_r I_r$  حاصلضرب  $B I_r$  با زاویه  $\beta - \theta_r$  و  $V_r/B$  با زاویه  $-\beta$  میباشد . چون  $V_r I_r$  محور افقی را در مبدأ قطع نموده و با آن دارای همان وضعیتی است که جریان نسبت به ولتاژ دارد لذا مؤلفه افقی آن قدرت حقیقی و مؤلفه عمودی آن قدرت را کتیو میباشد .  
 محورهای مختصات به Watt (وات) و Vars (ولت آمپر را کتیو) درجه بندی میشوند .

در ساختمان شکل ۳ جریان نسبت به ولتاژ بار پس فاز فرض شده بنابراین باراندوکتیو بوده و در روی دیاگرام ولت آمپرهای را کتیو لازم برای یک باراندوکتیو با علامت منفی میباشد . کلیه مهندسين با علامت تعیین شده برای قدرت را کتیو که در بالا شرح داده شد موافق نیستند . بیشتر مهندسين علامت مثبت

را برای Vars پس فاز (Vars باراندوکتیو) انتخاب میکنند، در این صورت یک کاپاسیتور از خط Vars منفی را دریافت میکنند، مهندسین سیستم انرژی بر این عقیده اند که آسانتر است تصور شود کاپاسیتور بعنوان تهیه کننده Vars مثبت است تا اینکه دریافت کننده Vars منفی باشد. این مفهوم عمل یک کاپاسیتور با اختیار علامت مثبت برای Vars دریافت شده بوسیله یک باراندوکتیو کاملاً موافق است.

کاپاسیتور سنکرون مانند مولدی عمل میکند که Vars مورد نیاز یک باراندوکتیو را تهیه مینماید. وقتی که یک کاپاسیتور سنکرون یا استاتیک در یک مرکز بار واقع است میتوان تصور کرد که Vars مورد نیاز یک باراندوکتیو (دارای پس فاز) کلاً یا قسمتی از آن بوسیله کاپاسیتور تامین میشود.

نظر باینکه خط انتقال نیرو Vars پس فاز را تهیه نمیکند لذا در خطی که ضریب توان بیشتر باشد تنظیم ولتاژ کمتری لازم است.

**قدرت مرکب (Complex Power)** بوسیله  $P + jQ$  تعریف میشود که  $P$  قدرت حقیقی و  $Q$  قدرت راکتیو میباشد چون مزدوج یک بردار، بردار دیگری با همان مقدار و زاویه که علامت زاویه آن مخالف علامت زاویه بردار قبلی است لذا قدرت مرکب در نقطه خروجی یک شبکه  $\epsilon$  قطبی چنین است.

$$(۲) \quad \hat{V}_r \hat{I}_r = V_r \cdot I_r \cos \theta_r + V_r | \cdot I_r | \sin \theta_r = P_r + jQ_r$$

علامت  $(\wedge)$  نشان میدهد که مزدوج بردار  $I_r$  در نظر گرفته شده است.

زاویه  $\theta_r$  معادلت با زاویه فاز ولتاژ منهای زاویه فاز جریان و بنابراین زاویه اسپدانس مرکب (Complex Impedance) در نقطه خروجی میباشد. در نتیجه وقتی که فاز جریان نسبت به ولتاژ عقب است  $\theta_r$  مثبت و زمانی که پیش فاز دارد  $\theta_r$  منفی میباشد.

علامتی که از رابطه (۳) برای  $Q$  بدست آمد باین قرارداد که ضمن آن قدرت راکتیو لازم برای باراندوکتیو با علامت مثبت مشخص میشود، توافق دارد. در صورتیکه مزدوج ولتاژ در جریان ضرب شود علامت قدرت راکتیو برعکس خواهد بود.

مطالب فوق و اندیس های مخصوص در رابطه (۳) بحث ما را در مورد کمپلکس و علامت قدرت راکتیو محدود نمیسازد.

در این بحث برای Vars پس فاز که برای باراندوکتیو لازم است علامت مثبت در نظر گرفته میشود در این صورت تنها تغییری که لازمست در دیاگرام قدرت شکل ۳ داده شود تغییر محل نقاط بالا و پائین محور افقی بوسیله دوران تمام دیاگرام حول محور افقی میباشد در نتیجه برای دیاگرام قدرت (شکل ۴) را خواهیم داشت.

در شکل ۴ بردارها (فاصله ها) بقدر مطلق نشان داده شده اند زیرا وضعیت زاویه ای آنها نسبت به محور مبدأ (خط افقی مبدأ) با بردار نظیر در شکل ۳ یکسان نمیشود بدیهی است قبول طریقه علامت گذاری قدرت راکتیو تأثیری در دیاگرامهای برداری جریان و ولتاژ نخواهد داشت.



$$(۴) \quad \text{مختصات افقی} \quad \frac{|A| \cdot |V_r|^2}{B} \cos(\beta - \alpha) \quad \text{وات}$$

$$\text{مختصات قائم} \quad \frac{|A| \cdot |V_r|^2}{B} \sin(\beta - \alpha) \quad \text{ولت آمپر رآکتیو}$$

چون روابط (۴) و دیاگرامهای قدرت از ثابت های یک شبکه چهار قطبی نتیجه شده اند لذا اگر شبکه یک مدار سه فاز باشد ولتاژها ، ولتاژ هر فاز نسبت به صفر (نول) و برحسب ولت بوده و دستگاه مختصات برحسب وات و ولت آمپر (Vars) رآکتیو برای هر فاز میباشد . اگر بجای ولتاژ به صفر (نول) ولتاژ فاز به فاز منظور شود ، هر طول در روی دیاگرام قدرت گفته شده در بالا سه برابر میگردد ، زیرا هر طول بوسیله حاصلضرب دو ولتاژ مشخص گردیده و در یک سیستم سه فاز متعادل ، ولتاژ فاز به فاز  $\sqrt{3}$  برابر ولتاژ فاز به صفر میباشد ، بنابراین مقادیر وات و ولت آمپر رآکتیو در روی دیاگرام نیز وقتی که ولتاژ فاز به فاز در روابط (۴) بکار رود برابر مجموع مقادیر قدرت سه فاز خواهد بود . در سیستمهای انرژی معمولاً ولتاژ برحسب کیلو ولت (KV) و فاز به فاز اختیار میشود و مقادیر قدرت برحسب کیلو وات (KW) و کیلوولت آمپر رآکتیو (KVAR) و کیلو ولت آمپر (KVA) یا مگاوات (MW) و مگاوات آمپر رآکتیو (MVAR) و مگاوات آمپر (MVA) انتخاب میشوند. و تیکه ولتاژ برای فاز به فاز و کیلوولت انتخاب میگردد روابط (۴) بصورت زیر خواهند بود .

$$\text{مگاوات آمپر} \quad \frac{|V_s| \cdot |V_r|^2}{B} \quad \text{MVA شعاع دایره در نقطه خروجی}$$

مختصات مرکز دایره در نقطه خروجی :

$$(۵) \quad \text{مختصات افقی} \quad \frac{|A|}{B} |V_r|^2 \cos(\beta - \alpha) \quad \text{مگاوات}$$

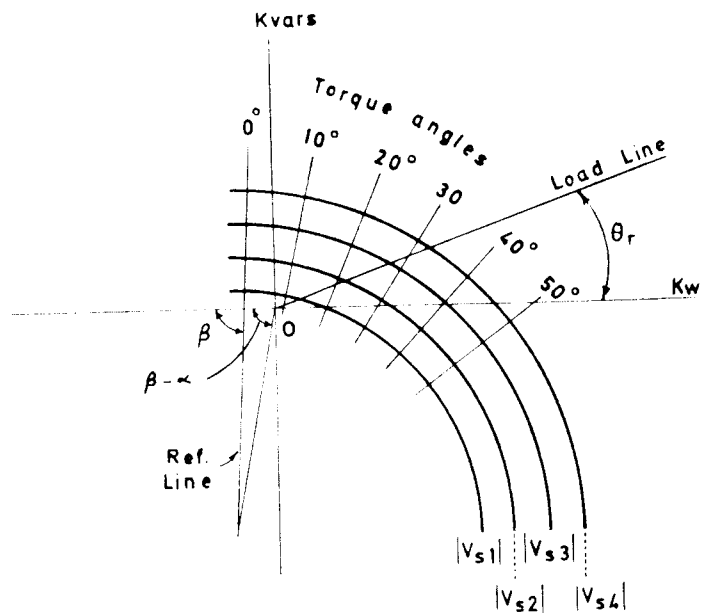
$$\text{مختصات قائم} \quad \frac{|A|}{B} |V_r|^2 \sin(\beta - \alpha) \quad \text{مگاوات آمپر رآکتیو}$$

زاویه بین ولتاژ نقطه ورودی و خروجی خط را زاویه پیچش (Torque Angle) مینامند و با علامت  $\delta$  مشخص میگردد ، با تغییر بار زاویه  $\delta$  نیز تغییر میکند .

در روی دیاگرام قدرت زاویه  $\delta$  عبارتست از زاویه بین خط  $|V_r|^2 / B$  و خطی که از نقطه  $n$  بنقطه بار  $k$  وصل میشود . خط  $|V_r|^2 / B$  را خط مبنا (Reference Line) مینامند . خط مبنا و زاویه پیچش  $\delta$  چنانکه بعداً بحث خواهد شد در ارتباط دیاگرام قدرت در نقطه ورودی و دیاگرام قدرت در نقطه خروجی حائز اهمیت میباشد ، همچنین زاویه پیچش  $\delta$  در مطالعه پایداری سیستم نیز دارای اهمیت زیادی است .

اگر ولتاژ نقطه خروجی  $V_r$  را ثابت نگهداشته و دایره های نقطه خروجی را برای مقادیر مختلف ولتاژ نقطه ورودی رسم کنیم دایره بدست آمده متحدالمرکز خواهند بود زیرا موقعیت مرکز دایره در نقطه

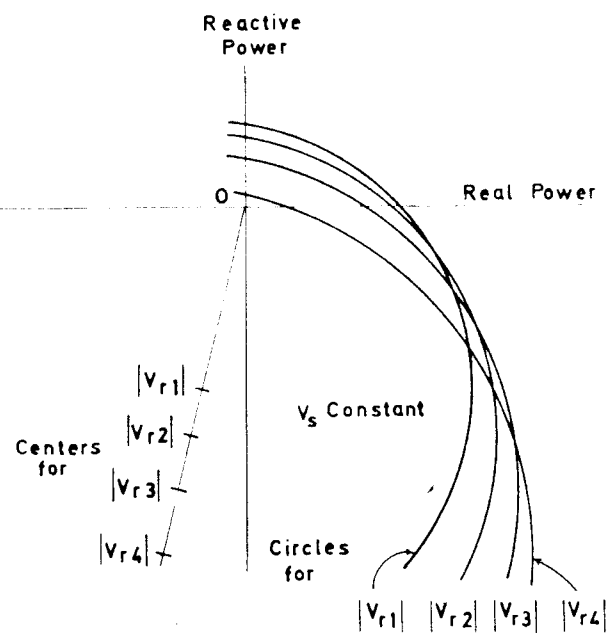
خروجی بستگی به ولتاژ در نقطه ورودی نخواهد داشت یکدسته از دوائر در نقطه خروجی در (شکل ۵) برای



(شکل ۵)

دایره‌های قدرت در نقطه خروجی برای مقادیر متفاوت  $|V_s|$  و مقدار ثابت  $V_r$

یک مقدار ثابت ولتاژ در نقطه خروجی  $V_r$  نشان داده شده است. خطوط شعاعی که نوایر را قطع کرده‌اند بفواصل ده درجه از یکدیگر بوده و نسبت به خط مبنا مدرج شده‌اند و از روی آنها می‌توان زاویه پیشش (δ) را برای هر مقدار بار مشخص کرد.



(شکل ۶)

دایره‌ها قدرت در نقطه خروجی برای مقادیر متفاوت  $V_r$  و مقدار ثابت  $V_s$



خط باری که در شکل ۵ رسم شده برای بارهای مختلف در صورتیکه ضریب توان یکسان داشته باشند مناسب است زیرا زاویه بین خط بار که از مبدأ رسم شده و محور افقی زاویه ایست که  $\cos$  آن ضریب توان را نشان میدهد. همچنین خط بار شکل ۵ برای بارهایی که پس فاز هستند رسم شده است، زیرا کلیه نقاط آن در ربع اول بوده و دارای ولت آمپرهای رآکتیو (Vars) مثبت میباشند.

اگر ولتاژ نقطه ورودی را ثابت فرض نموده و دیاگرام نقطه خروجی را برای مقادیر مختلف ولتاژ نقطه خروجی  $V_r$  رسم کنیم دوائر متحدالمرکز خواهند بود زیرا روابط (۵) نشان میدهند که مراکز دایره‌ها در نقاط متفاوتی برای هر مقدار مختلف  $V_r$  قرار خواهند گرفت ولی مراکز در روی یک خط که از مبدأ مختصات رسم میشود واقعند همچنین با تغییر  $V_r$  شعاع دوائر نیز تغییر خواهند کرد. دوائر قدرت در نقطه خروجی برای  $V_s$  ثابت در (شکل ۶) نشان داده شده‌اند.

### دیاگرام دایره‌ای قدرت در نقطه ورودی

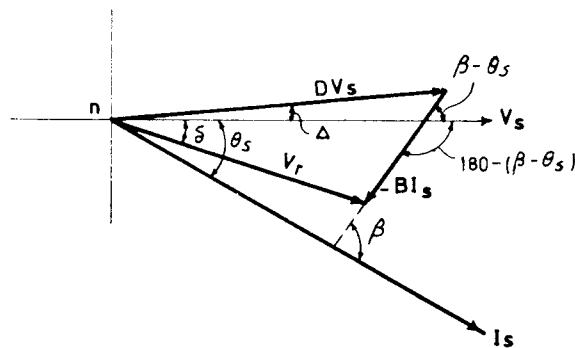
(Sending-end Power Circle Diagram)

دستگاه مختصات دیاگرام دایره‌ای قدرت در نقطه ورودی یک شبکه چهار قطبی نیز شامل قدرت حقیقی و قدرت رآکتیو میباشد.

دیاگرام بهمان طریق (روش) دیاگرام در نقطه خروجی تکمیل میشود. ابتدای دیاگرام برداری ولتاژها چنانچه در (شکل ۷) مشاهده میشود با توجه بروابط زیر:

$$V_r = DV_s - BI_s \quad (۶)$$

$$I_r = -CV_s + AI_s$$



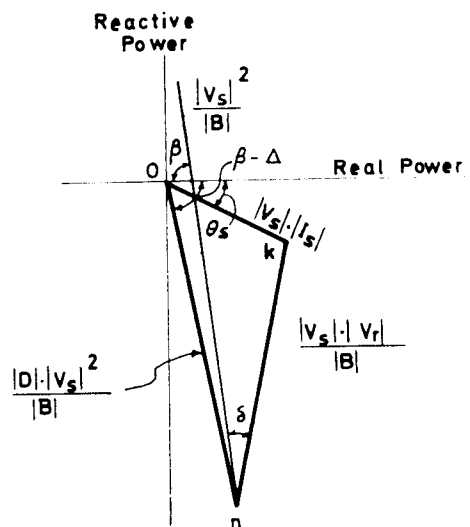
(شکل ۷)

دیاگرام برداری یک برداری یک شبکه چهار قطبی که جریان در نقطه ورودی آن  $I_s$  میباشد.  $V_s$  بردار مبنا انتخاب شده است

ترسیم شده است و بردار  $V_s$  بعنوان بردار مبنا انتخاب گردیده است. بردار  $DV_s$  باندازه زاویه  $\Delta$  نسبت به  $V_s$  پیش فاز است. اگر جریان  $I_s$  نسبت به ولتاژ  $V_s$  باندازه زاویه  $\theta_s$  عقب باشد بردار  $BI_s$

از بردار  $V_s$  معادل  $\beta - \theta_s$  پیش فاز خواهد بود. ولتاژ در نقطه خروجی خط  $V_r$  طبق رابطه (۷) برابر است با  $DV_s - BI_s$  برای بدست آوردن دیاگرام قدرت لازم است بردارهای شکل ۷ را در بردار  $V_s/B$  - که برابر است با  $(|V_s|/|B| \angle 180^\circ - \beta)$  ضرب نماییم.

نتیجه این عمل دوران شکل ۷ با اندازه زاویه  $\beta - 180^\circ$  و تبدیل کلیه ولتاژها به ولت - آمپر می باشد. (شکل ۸) دیاگرام قدرت حاصله را نشان میدهد که مبدأ مختصات به نقطه O انتقال یافته است. حاصل ضرب  $-BI_s$  و  $-V_s/B$  برابر  $V_s I_s$  یعنی ولت - آمپر در نقطه ورودی خط می باشد چون  $V_s I_s$  محور افقی را در مبدأ



(شکل ۸)

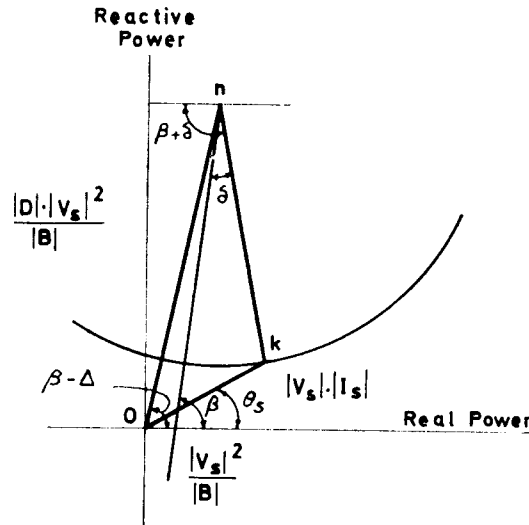
دیاگرام قدرت در نقطه ورودی خط که از ضرب بردارهای شکل ۷ در  $V_s/B$  بدست آمده است. قدرت را کتیو جذب شده بوسیله یک باراندوکتیو در زیر محور افقی نشان داده شده است.

مختصات و یا زاویه  $\theta_s - \theta$  قطع میکنند لذا مؤلفه افقی  $V_s I_s$  قدرت حقیقی و مؤلفه عمودی آن قدرت را کتیو می باشد محورها مختصات را میتوان بوات (W) و (VAR) ولت آمپر را کتیو علامت گذاری کرد. برای اینکه دیاگرام با سیستم علامت گذاری ولت آمپرهای را کتیو (Vars) توافق داشته باشد بایستی آنرا حول محور افقی دوران داد تا (شکل ۹) بدست آید.

اگر  $|V_r|$  و  $|V_s|$  ثابت بوده و قدرت داده شده به شبکه تغییر نماید، موقعیت نقطه n و همچنین فاصله n تا k ثابت باقی میماند. با تغییر قدرت داده شده به شبکه نقطه k نیز تغییر مکان میدهد و چون فاصله بین n و k ثابت است نقطه k ناچار روی دایره ای بمرکز n تغییر مکان میدهد. وقتی مقدار  $|V_s|$  ثابت بوده و مقدار  $|V_r|$  تغییر نماید موقعیت نقطه n تغییر نمیکند ولی شعاع دایره ای که نقطه k روی آن حرکت میکند متناسب با تغییر  $|V_r|$  تغییر میکند.

برای چندین مقدار  $|V_r|$  و یک مقدار  $|V_s|$  یکدسته دایره متحدالمرکز نتیجه میگردد. برای یک مقدار  $|V_r|$  و مقادیر مختلف  $|V_s|$  دایره متحدالمرکز نیستند ولی مراکز آنها روی همان خط مستقیمی واقعند

که از مبدأ مختصات گذشته و با محور افقی زاویه  $\beta - \Delta$  میسازد.



(شکل ۹)

دیاگرام قدرت در نقطه ورودی که از دوران دیاگرام شکل ۸ حول محور افقی بدست آمده است. قدرت راکتیو جذب شده بوسیله بار اندوکتیو در بالای محور افقی نشان داده شده است

از بررسی دیاگرام قدرت در نقطه ورودی روابط زیر نتیجه میشود :

$$\text{ولت آمپر} \quad \frac{|V_s| \cdot |V_r|}{|B|} \quad \text{VA} \quad \text{شعاع دایره در نقطه ورودی}$$

مختصات مرکز دایره در نقطه ورودی:

$$\text{مختصات افقی} \quad \text{وات} \quad + \frac{|D|}{|B|} \cdot |V_s|^2 \text{Cos}(\beta - \Delta)$$

$$\text{مختصات قائم} \quad \text{ولت آمپر راکتیو} \quad + \frac{|D|}{|B|} \cdot |V_s|^2 \text{Sin}(\beta - \Delta)$$

که در این روابط  $|V_r|$  و  $|V_s|$  برحسب ولت برای فاز به صفر بوده و مختصات مرکز برحسب  $\text{Var}$  و  $W$  برای هر فاز میباشد. و تیکه ولتاژ برحسب kv و برای فاز به فاز باشد خواهیم داشت.

$$\text{مگاوات آمپر} \quad \frac{|V_s| \cdot |V_r|}{|B|} \quad \text{MVA} \quad \text{شعاع دایره در نقطه ورودی}$$

مختصات مرکز دایره در نقطه ورودی :

$$(۸) \quad \text{مختصات افقی} \quad \text{مگاوات} \quad + \frac{|D|}{|B|} \cdot |V_s|^2 \text{Cos}(\beta - \Delta)$$

$$\text{مختصات قائم} \quad \text{مگاوار} \quad + \frac{|D|}{|B|} \cdot |V_s|^2 \text{Sin}(\beta - \Delta) \quad \text{MVAR}$$

که مختصات افقی وقائم دستگاه ، مجموع مگاوات و مگاوار برای سه فاز میباشد . همانطور که در دیاگرام نقطه خروجی گفته شد زاویه پیچش  $\sigma$  میباشد . خط مبنا که زاویه پیچش نسبت بآن سنجیده میشود در دیاگرام نقطه ورودی ،  $|V_s|^2 / |B|$  میباشد .

### قدرت قابل انتقال بوسیله یک خط انتقال نیرو

#### (Power Transmitted over a Transmission Line)

با مراجعه بشکل ۹ میتوان ملاحظه کرد که مقدار قدرت قابل انتقال بوسیله یک شبکه با ولتاژ معینی محدود میباشد . مقدار بار تا زمانی قابل افزایش است که نقطه  $k$  در محل تقاطع دایره و خط افقی رسم شده از نقطه  $n$  قرار گیرد . این وضعیت نقطه  $k$  ماکزیمم بار قابل دریافت از خط را بازاامقادیر معینی از ولتاژ ورودی و خروجی نشان میدهد که دایره آن رسم شده . درحقیقت این قدرت که آنرا Steady-state Stability Limit مینامند ، زمانی قابل دریافت است که بار ماشین سنکرون بوده و تدریجاً اضافه شود . از روی شکل ۹ بازاویه  $\delta$  قدرت دریافتی چنین است .

$$(9) \quad P_r = \frac{|V_s| \cdot |V_r|}{|B|} \cos(\beta - \delta) - \frac{|A| \cdot |V_r|^2}{|B|} \cos(\beta - \alpha)$$

که با ثابت بودن ولتاژها تغییر قدرت دریافتی فقط با تغییر زاویه پیچش  $\delta$  (تنها متغیر رابطه) همراه است . بنابراین ماکزیمم قدرت قابل دریافت بوسیله بار عبارتست از :

$$(10) \quad P_{rmax} = \frac{|V_s| \cdot |V_r|}{|B|} - \frac{|A| \cdot |V_r|^2}{|B|} \cos(\beta - \alpha)$$

یک رابطه برای قدرت تحویل شده به شبکه در نقطه ورودی خط نیز با توجه به دیاگرام دایره ای قدرت در نقطه ورودی (شکل ۹) میتوان نوشت :

$$(11) \quad P_s = - \frac{|V_s| \cdot |V_r|}{|B|} \cos(\beta + \delta) + \frac{|D| \cdot |V_s|^2}{|B|} \cos(\beta - \Delta)$$

قدرت تحویل شده به شبکه در صورتیکه  $\beta + \delta = 180^\circ$  باشد ماکزیمم است و در اینحال داریم :

$$(12) \quad P_{smax} = \frac{|V_s| \cdot |V_r|}{|B|} + \frac{|D| \cdot |V_s|^2}{|B|} \cos(\beta - \Delta)$$

قدرت ماکزیمم داده شده بوسیله رابطه (۱۲) نمیتواند واقعی باشد حتی اگر بار یک ماشین سنکرون باشد ، زیرا اگر در شبکه مقاومتی باشد زاویه  $\beta$  کمتر از  $90^\circ$  بوده و در اینصورت زاویه  $\delta$  باید از  $\beta$  بزرگتر باشد تا قدرت ماکزیمم داده شده در رابطه ۱۲ واقعی باشد یک چنین شرایطی که در آن  $\delta > \beta$  است با شرط Steady State-Stability Limit در نقطه خروجی خط که بایستی  $\delta = \beta$  باشد منافات دارد .

از آنجائیکه B اسپدانس سری در یک مدار  $\pi$  معادل یک شبکه است و قسمت اعظم آن در یک خط انتقال نیرو را کتانس اندوکتیو میبشد، کم شدن راکتانس اندوکتیوسری باعث افزایش قدرت ماکزیمم قابل دریافت از یک خط انتقال نیرو میگردد. یک روش مهم برای کم کردن راکتانس اندوکتیو در یک خط انتقال انرژی اضافه کردن ناپاسیتورهای سری میباشد.

اضافه کردن ولتاژ در نقطه ورودی یا خروجی خط نیز قدرت ماکزیمم قابل دریافت از یک خط و همچنین حد پایداری سیستم (Steady-State Stability Limit) را افزایش میدهد.

## دیاگرام دایره‌ای انیورسال

(A Universal Power Circle Diagram)

دیاگرامهای دایره‌ای قدرت که شرح داده شد دارای چندین محدودیت میباشد، مهمترین آنها اینستکه: اگر چه میتوان برای چندین مقدار متغیر ولتاژ ورودی یک دسته دوائر متحدالمرکز برای نقطه خروجی خط رسم کرد ولی دیاگرام بدست آمده فقط برای یک مقدار ولتاژ نقطه خروجی خط که براساس آن دیاگرام رسم شده است قابل استفاده است.

اگر بررسی بر مبنای چندین مقدار ولتاژ نقطه خروجی باشد، برای هر مقدار از ولتاژ انتهای خط (نقطه خروجی) یک دیاگرام دایره‌ای نقطه خروجی باید رسم شود، یا برای هر ولتاژ ورودی خط باید یک دیاگرام نقطه خروجی خط رسم شود. در صورت دوم دوائر نیز متحدالمرکز نمیشوند و خطوط زاویه پیچش نیز باید برای هر دایره جداگانه رسم شود.

اگر دوائر نقطه ورودی و خروجی خط روی یک نقشه رسم شوند بطوریکه قدرت حقیقی و راکتیو نقطه خروجی خط بعنوان دستگاه مختصات برای دوائر نقطه خروجی و قدرت حقیقی و راکتیو نقطه ورودی بعنوان مختصات برای دوائر نقطه ورودی انتخاب شوند، در این صورت نقشه باید منحصرأً برای یک مقدار از ولتاژ ورودی یا ولتاژ نقطه خروجی باشد و یکدسته از دوائر نیز متحدالمرکز نیستند. این محدودیتهای دیاگرام دایره‌ای قدرت را میتوان بوسیله یک تغییر شکل دستگاه مختصات رفع نمود. دستگاه مختصات تغییر داده شده بوسیله R. D. Goodrich, Jr. تشریح شده است. برای اینکه این روش کاملاً مفید باشد، لازمست هر فاصله روی دیاگرام دایره‌ای تغییر داده شده را بصورت نسبتی از فاصله روی دیاگرام اصلی بر حسب ولت آمپر بریک مبنای انتخابی (Selected Reference) یا مقدار معین (Base Value) بر حسب ولت آمپر مساوی  $V^2/B$  در آوریم. که در آن B ثابتی عمومی مدار بوده و V ولتاژ مبنای (Reference or Base Voltage) نامیده شود و بطور دلخواه انتخاب میگردد. معمولاً V ولتاژ نامی فاز بصفر (نول) یا فاز به فاز سیستم انتخاب میشود با توجه باینکه مختصات دیاگرام قدرت تغییر داده شده برای مقادیر هر فاز یا برای سه فاز باشد. از تقسیم مقادیر دیاگرام اصلی بر  $V^2/B$  نسبتهای بدون واحد (Dimensionless Units) برای دیاگرام تغییر داده شده بدست میآید که آنها را مقادیر (Per Unit) مینامیم.

اگر تقسیم بالا را انجام دهیم روابط (ع) بصورت زیر در میآید :

$$(۱۳) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{|V_s|}{|V|} \cdot \frac{|V_r|}{|V|} \text{ Per unit} \quad \text{شعاع یک دایره در نقطه خروجی} \\ \text{مختصات مرکز دایره در نقطه خروجی :} \\ -|A| \frac{|V_r|^2}{|V|} \text{ Cos}(\beta - \alpha) \text{ Per Unit} \quad \text{مختصات افقی} \\ -|A| \cdot \frac{|V_r|^2}{|V|} \text{ Sin}(\beta - \alpha) \text{ Per Unit} \quad \text{مختصات قائم} \end{array} \right.$$

مقادیر  $|V_s|/|V|$  و  $|V_r|/|V|$  نسبت ولتاژ در عمل (Actual Voltage) به ولتاژ مبنای انتخاب شده میباشند و به ولتاژ (Per Unit) در نقاط ورودی و خروجی خط موسومند. اگر :

$$|V_s| = |V_s|/|V| \quad \text{و} \quad |V_r| = |V_r|/|V|$$

ولتاژها برحسب Per Unit باشند روابط فوق بصورت زیر ساده میشود .

$$(۱۴) \quad \left\{ \begin{array}{l} |V_s| \cdot |V_r| \text{ Per Unit} \quad \text{شعاع یک دایره در نقطه خروجی} \\ \text{مختصات مرکز دایره در انتهای خط (نقطه خروجی) :} \\ -|A| \cdot |V_r|^2 \text{ Cos}(\beta - \alpha) \text{ Per Unit} \quad \text{مختصات افقی} \\ -|A| \cdot |V_r|^2 \text{ Sin}(\beta - \alpha) \text{ Per Unit} \quad \text{مختصات قائم} \end{array} \right.$$

همچنین برای یک دایره در نقطه ورودی با توجه بمقدار  $|V_r|$  و  $|V_s|$  میتوان نوشت :

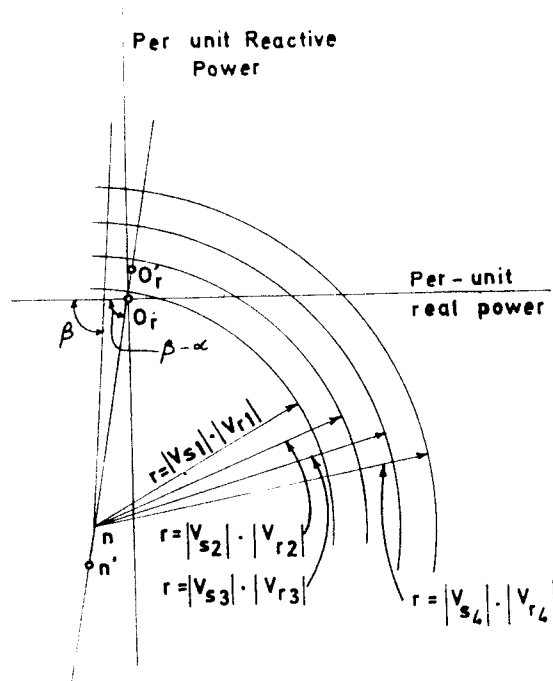
$$(۱۵) \quad \left\{ \begin{array}{l} |V_s| \cdot |V_r| \text{ Per Unit} \quad \text{شعاع یک دایره در نقطه ورودی} \\ \text{مختصات مرکز دایره در نقطه ورودی :} \\ |D| \cdot |V_r| \text{ Cos}(\beta - \Delta) \text{ Per Unit} \quad \text{مختصات افقی} \\ |D| \cdot |V_s|^2 \text{ Sin}(\beta - \Delta) \text{ Per Unit} \quad \text{مختصات قائم} \end{array} \right.$$

در متد Goodrich بجای دسته دوایری که مرکز آنها یک نقطه از دستگاه مختصات است، دوایری رسم میشود که مرکز آنها مبدأ مختصات میباشد. این دوایر برای مقادیری از قدرت میباشند که این مقادیر قدرت برای دایره ورودی خط بوسیله ولتاژ ورودی و برای دایره نقطه خروجی خط بوسیله ولتاژ خروجی خط مشخص میگردد.

با توجه بروابط (۱۴) دیاگرام دایره ای نقطه خروجی خط را رسم میکنیم در حالیکه  $|V_s|$  متغیر بوده و  $|V_r|$  مقدار مشخصی باشد، در اینحال یکدسته دوایر متحدالمرکز بدست خواهد آمد که در (شکل ۱) نشان داده شده است.

بطوریکه مرکز دوایر n و مرکز مختصات  $O_r$  میباشد. اگر مقدار بزرگتری برای  $|V_s|$  انتخاب کرده ودوایر را برای همان مقادیر  $|V_r|$  و  $|V_s|$  نشان داده شده در شکل ۱ رسم کنیم، یکدسته جدیدی از دوایر متحدالمرکز بدست خواهیم آورد که دارای همان شعاع نشان داده شده در شکل ۱ بوده وبه همان

مبدأ  $O_r$  نیز میباشند. دوائر جدید باید بمرکز  $n$  که مجدداً بوسیله روابط (۱۴) مشخص میگردد رسم شوند مرکز  $n'$  روی همان خطی که مبدأ مختصات  $O_r$  را به  $n$  وصل میکند قرار دارد. تا اینجایا گرام ذکر شده با دیاگرام اصلی تفاوتی ندارد مگر در استفاده از مقادیر Per Unit اگر ما دسته دوائر جدید را بمرکز  $n'$  رسم نموده و دیاگرام جدید را در امتداد خط  $nO_r$  بدون دوران طوری انتقال دهیم که نقطه  $n$  و  $n'$  منطبق



(شکل ۱۰)

دیاگرام دایره‌ای قدرت در نقطه خروجی که مقادیر آن به Per Unit میباشد

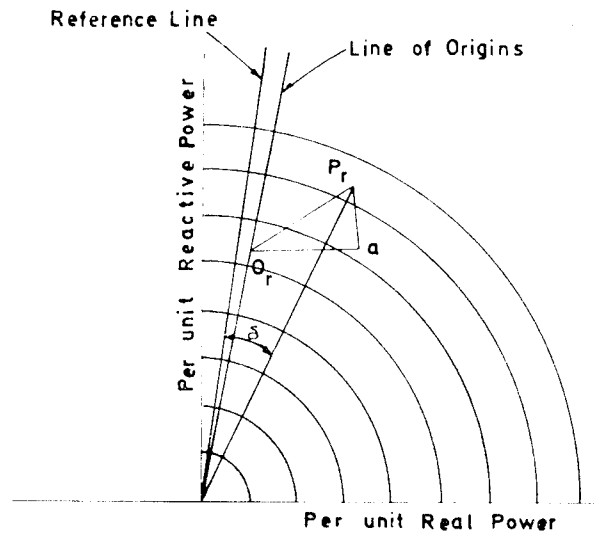
گردند، دو دسته دوائر نیز برهم منطبق خواهند شد. در اینصورت اندازه گیری قدرت برای مقادیر جدید  $V$  از مبدأ  $O_r$  واقع در امتداد خط  $nO_r$  انجام خواهد شد. فاصله بین مرکز  $n$  تا مبدأ برابر جذرمجموع مجذورات افقی و قائم داده شده در رابطه ۱۴ میباشد که مقدار آن برابر است با:

$$(۱۶) \quad \text{Per Unit} \quad n = A \cdot |V_r|^2 \quad \text{فاصله } O_r \text{ تا } n$$

اکنون متد فوق را میتوان برای هر مقدار ولتاژ در نقطه خروجی خط تعمیم داد. اندازه گیری قدرت از مبدهای مختلف برای هر مقدار  $|V_r|$  انجام میشود و کاغذهای مختصات قطبی نیز قابل استفاده است، همچنین دوائر را میتوان بر روی دستگاه مختصات قائم رسم نمود و فقط ربع اول مختصات مورد لزوم است. خط مبنا (Reference Line) مانند دیاگرام معمولی با زاویه  $\beta$  نسبت به محور افقی رسم میگردد. همچنین خط  $nO_r$  که مراکز دایره‌ها روی آن واقعیت با زاویه  $\beta - \alpha$  نسبت به محور افقی مانند دیاگرام معمولی رسم میشود.

(شکل ۱۱) دوائر ترسیم شده برای مقادیر مناسب  $V_s \cdot V_r$  را نشان میدهد.

مراکز دوائر ممکن است روی خط مراکز برای مقادیر مختلف  $V_r$  معین شود. یکی از مراکز  $O_r$  و خط بار برای یک باراندوکتیو در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



(شکل ۱۱)

یک دیاگرام دایره‌ای انیورسال که اندازه‌گیری قدرت در نقطه خروجی را از مرکز  $O_r$  نشان می‌دهد

زوایای پیچش باید نسبت به خط مبنا اندازه‌گیری شوند. قدرت حقیقی در سمت راست  $O_r$  خوانده می‌شود و قدرت رآکتیو مثبت بسمت بالای  $O_r$  است. نشان دهنده یک باراندوکتیو بوده و زاویه پیچش  $\delta$  می‌باشد.

قدرت حقیقی بوسیله مؤلفه افقی خط  $O_r P_r$  و قدرت رآکتیو بوسیله مؤلفه قائم مشخص می‌شود. مقادیر (Per Unit) که از روی دیاگرام اندازه‌گیری می‌شوند در  $V^2/B$  ضرب می‌گردد تا قدرت سه فاز و ولت آمپرهای رآکتیو (Vars) بدست آید، در صورتیکه  $V$  ولتاژ مبنای فاز به فاز انتخاب شده و ولتاژهای Per Unit از روی آن مشخص شده باشد. ممکن است دوائر چاپ نموده و یا آنرا تهیه نمود تا برای هر مسئله‌ای مورد استفاده قرار گیرد.

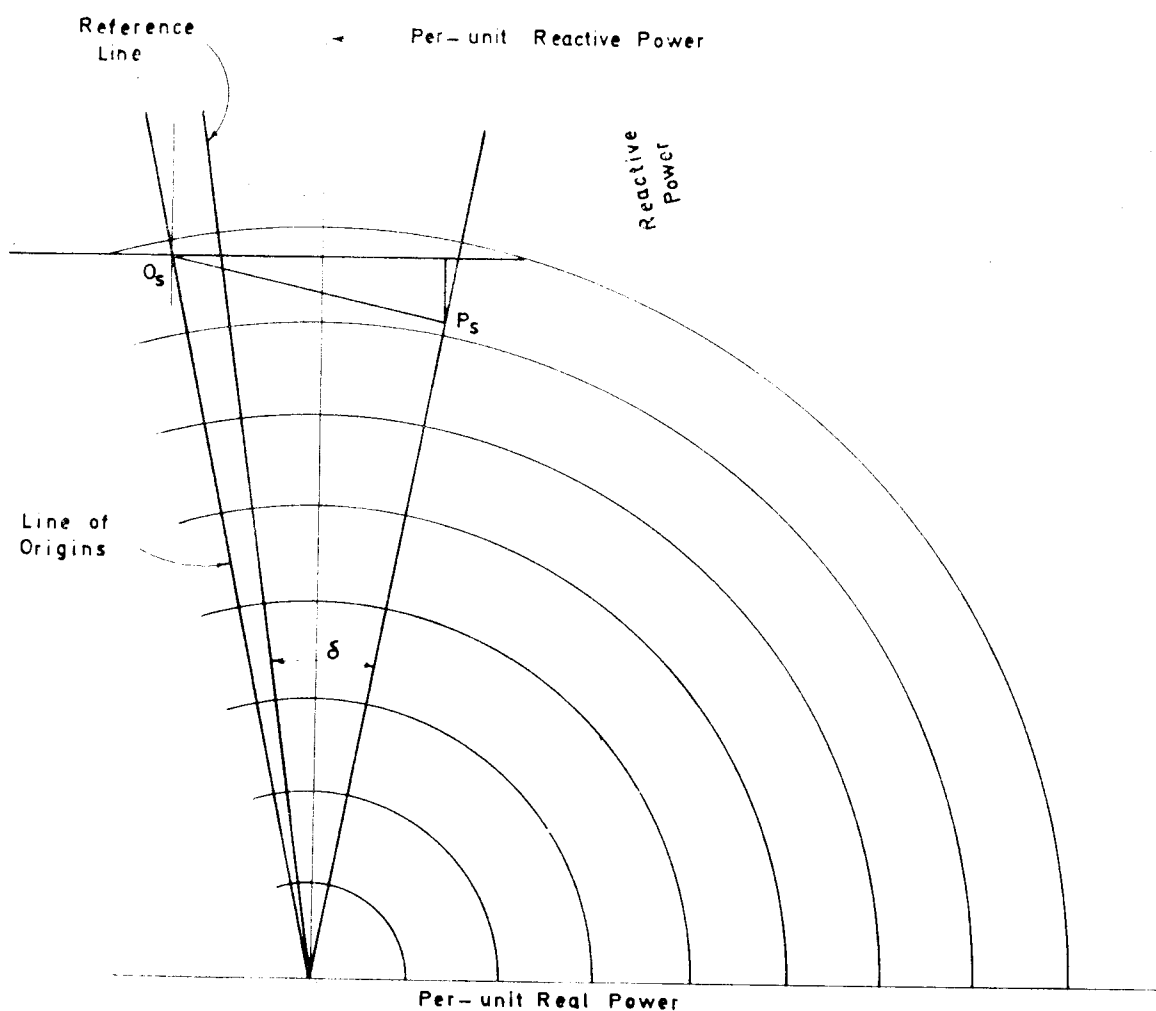
همان دوائر واقع در ربع اول را میتوان برای دیاگرام دایره‌ای نقطه ورودی خط نیز مورد استفاده قرار داد و بنابراین دیاگرام دایره‌ای انیورسال (عمومی) می‌باشد. در این صورت لازمست که قدرت رآکتیو مثبت را از بالا بیابانیم. اگر چه تعیین (Vars) مثبت از بالا بیابانیم در وهله اول ممکن است موجب بروز اشتباهاتی گردد. ولی از نظر اینکه استفاده از یک دیاگرام دایره‌ای را برای نقطه ورودی و نقطه خروجی خط ممکن می‌سازد مفید می‌باشد.

ما همچنان روش خود را دایر بر انتخاب علامت مثبت برای Vars بارهائیکه جریان آنها پس فاز است ادامه خواهیم داد، ولی برای نشانه گذاری و خواندن روی دیاگرام عمومی برای Vars رو بیابانیم علامت مثبت را اختیار می‌کنیم (فقط برای نقطه ورودی). علت انتخاب علامت مثبت برای قدرت رآکتیو رو بیابانیم



دیاگرام دایره‌ای قدرت نقطه ورودی خط را میتوان با مقایسه اشکال ۸ و ۹ فهمید. با اختیار مرکز دوایر در نقطه  $n$  از شکل ۸ بجای نقطه  $n$  از شکل ۹ قسمت مفید دایره‌ها نسبت به  $n$  در ربع اول واقع خواهند شد. یادآوری میکنیم که شکل ۹ از شکل ۸ بدست آمده تا بتوان قدرت را کتیو یک باراندو کتیو را وقتی در جهت بالا است با علامت مثبت نشان داد. پس در صورتیکه بخواهیم قدرت را کتیو یک باراندو کتیو را وقتی که رو بیائین است مثبت بگیریم مجدداً بشکل ۸ بخواهیم گشت و در اینصورت دایره‌ها در ربع اول مختصات واقعند.

دواير نشان داده شده در (شکل ۱۲) باشعاعهائی معادل همان مقادير  $V_s \cdot V_r$  Per Unit دایره‌های نقطه خروجی خط کشیده شده‌اند و بنابراین وقتیکه نقاط  $n$  منطبق شوند، این دواير نیز منطبق خواهند شد. مبدأ  $O_s$  که اندازه‌گیری قدرت نسبت بان انجام میگيرد، در ربع دوم واقع میشود. خط مبنا برای نقطه ورودی با زاویه  $\beta - 180^\circ$  نسبت به محور افقی رسم میشود. خطی که مراکز دواير روی آن



(شکل ۱۲)

یک دیاگرام دایره‌ای انیورسال که اندازه‌گیری قدرت در نقطه ورودی را از مرکز  $O_s$  نشان میدهد

واقعدند (Line of Origin) بامحور افقی زاویه  $(\beta - \Delta) - 180^\circ$  میسازد .

مبدأ  $O_s$  متناسب با مقدار  $|V_s|$  روی خط مراکز واقع است . بنابراین داریم : فاصله  $O_s$  تا  $n$  مساویست با  $|D \cdot |V_s||^2$  Per Unit .

قدرت حقیقی در نقطه ورودی از مبدأ  $O_s$  بسمت راست و قدرت رآکتیو مثبت از  $O_s$  بسمت پائین خوانده میشود . نقطه  $P_s$  در شکل ۱۲ نشان دهنده یک بارانندوکتیو میباشد . زاویه پیشش ۵ برای بار نیز نشان داده شده است .

## موارد استفاده از دیاگرام دایره‌ای

### (The Use of Circle Diagram)

دیاگرامهای دایره‌ای اطلاعات زیادی را فراهم مینمایند که بسرعت قابل استفاده‌اند بعضی از این اطلاعات مفید عبارتند از :

۱- ولتاژ لازم در ابتدای خط (نقطه ورودی) برای بار مشخص و ولتاژ مشخص در نقطه خروجی فرضاً اگر  $O_s$  در شکل ۱۱ مبدأ برای ولتاژ  $|V_r|$  باشد که لازمست در نقطه خروجی بازاء بار مشخص در اولیه ترانسفورماتور موجود باشد . اگر مقدار بار تغییر نماید در حالیکه ضریب توان آن ثابت است یک خط بار از مبدأ کشیده میشود که زاویه آن بامحور افقی برابر با زاویه فاز بار میباشد . مؤلفه افقی خط بار از نقطه  $O_r$  تا محل تلاقی خط بار وهریک از دوایر Per Unit قدرت حقیقی بار برای تعداد  $|V_s| \cdot |V_r|$  دایره قطع شده است . بدین طریق اطلاع لازم برای مشخص کردن ولتاژ نقطه ورودی خط نظیر قدرت حقیقی بار برای یک بار داده شده و ولتاژ معین در نقطه خروجی خط بدست آمده است .

۲- یک مسئله دیگر که سهولت با دیاگرام دایره‌ای حل میشود عبارت از تعیین مقدار قدرت رآکتیوی که باید یک کاپاسیتور سنکرون در یک بار معین تهیه نماید باین منظور که ضریب توان را افزایش دهد و مقدار تنظیم ولتاژ را تخفیف دهد و یا اینکه بازاء ولتاژ معین در ابتدای خط (نقطه ورودی) ولتاژ ثابتی را در نقطه خروجی داشته باشیم .

برای نمونه مبدأ  $O_r$  در شکل ۱۱ ممکنست بوسیله ولتاژ نقطه خروجی خط که باید بمقدار معین ثابت بماند ، مشخص گردد ، اگر لازم باشد که خط یا ضریب توان صد درصد  $100\%$  برای بار منطبق در نقطه  $P_r$  کار کند ، بایستی کلیه قدرت رآکتیو بار که بوسیله فاصله قائم  $P_r$  از  $O_r$  (مؤلفه قائم خط  $P_r O_r$ ) نشان داده میشود بوسیله یک کاپاسیتور سنکرون یا کاپاسیتور استاتیکیک تهیه گردد . خط انتقال فقط قدرت حقیقی را که بوسیله فاصله  $O_r$  تا  $a$  معین میشود تهیه مینماید . ولتاژ در نقطه ورودی خط یا مشخص کردن مقدار  $|V_s| \cdot |V_r|$  در نقطه  $a$  بدست میآید ، روش دیگر برای ملاحظه شرایط بار اینست که تصور کنیم بار و کاپاسیتور ترکیب شده‌اند بطریقی که کاپاسیتور قدرت رآکتیو منفی را (پیش فاز) که مقدار آن مساوی قدرت رآکتیو مثبت بار (دارای پس فاز) میباشد میگیرد و بار ترکیب شده فقط قدرت حقیقی را ایجاد میکند . همان

کاپاسیتور سنکرونی که KVARS مثبت را تهیه میکند یا KVARS منفی را جذب مینماید، ممکنست با کم کردن تحریک آن مانند یک اندوکتانس عمل نماید، KVARS مثبت را جذب نموده و یا KVARS منفی را تهیه مینماید.

۳- یک مسئله شبیه مسئله بحث شده در فوق عبارتست از تعیین مقدار بار قابل افزایش بیک بار موجود با یک ضریب توان معلوم، بطوریکه لازم نباشد که بمقدار ولتاژ در نقطه ورودی خط بیافزائیم ولتاژ در نقطه خروجی خط همیشه از یک مقدار مینیمم مشخص بیشتر باشد. بکمک زاویه پیچش  $\delta$  میتوان قدرت حقیقی و رآکتیو نقطه ورودی خط را اگر ولتاژ، قدرت و ضریب توان در نقطه خروجی خط معین باشد مشخص نمود. مبدأ  $O_r$  در نقطه  $P_r$  منطبق به بار مشخص شده اند، زاویه پیچش  $\delta$  نسبت به خط مبنا در نقطه خروجی اندازه گیری میشود و مقدار  $V_s \cdot V_r$  معین میگردد. مبدأ  $O_s$  برای نقطه ورودی خط از روی آن مشخص میشود. نقطه منطبق بقدرت حقیقی و رآکتیو در نقطه ورودی خط بر روی دایره  $V_s \cdot V_r$  که قبلاً پیدا شده و روی همان زاویه پیچش واقعست، این دفعه زاویه پیچش نسبت به خط مبنا نقطه ورودی اندازه گیری میشود. این یک نمونه ایست که نشان میدهد برای پیدا کردن نقاط مشابه در نقاط ورودی و خروجی خط زاویه پیچش  $\delta$  مورد نیاز است.

مثال زیر بعضی از موارد استعمال دیاگرام دایره ای انیورسال (عمومی) را تشریح مینماید.

#### مثال ۱ :

(۱) یک خط انتقال تک مداره ۶ سیکل بطول ۲۲۰ mile مفروض است در نقطه خروجی مقدار بار ۱۲۰ MW و ولتاژ KV ۲۰۰ و ضریب توان ۱۰٪ میباشد. بکمک دیاگرام انیورسال قدرت و مقدار ولتاژ در نقطه ورودی خط را تعیین کنید. پارامترهای خط بدین قرار اند: (ولتاژ مبنا را KV ۲۰۰ انتخاب کنید).

$$R = 0.172 \Omega/\text{mile} \quad L = 2.18 \text{mh}/\text{mile}$$

$$C = 0.0126 \mu\text{F}/\text{mile} \quad G = 0$$

(۲) اگر خط یک بار ۵۰ MW با ضریب توان ۹۰٪ پس فاز ولتاژ KV ۲۱۰ را تهیه کند ولتاژ نقطه ورودی خط را تعیین کنید.

(۳) برای بار حالت ۲ مقدار تنظیم ولتاژ (Voltage Regulation) را تعیین کنید.

(۳) برای یک بار ۸۰ MW و ضریب توان ۹۰٪ پس فاز مقدار قدرت رآکتیوی را که خط تهیه میکند و مقداری که یک کاپاسیتور سنکرون موازی با بار تهیه مینماید تعیین کنید و در صورتی که ولتاژ در ابتدای خط (نقطه ورودی) KV ۲۳۶ و در نقطه خروجی KV ۲۱۰ باشد. ضریب توان را در انتهای خط تعیین کنید.

#### حل :

از روی دیاگرام ثابت های عمومی مدار بدست میآیند که عبارتند از :

$$A=D=0.895 \angle 14^\circ \quad \Delta=\alpha=14^\circ$$

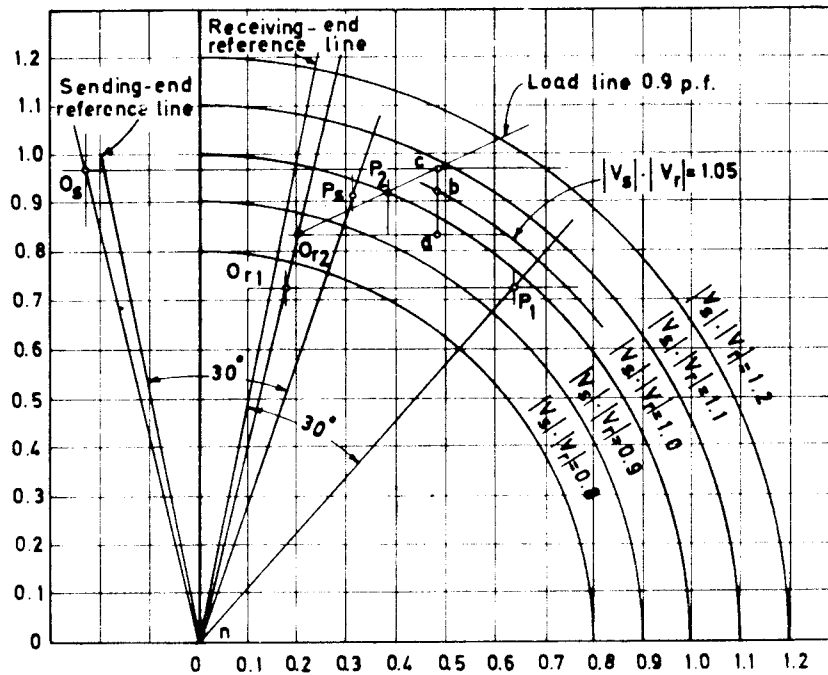
$$B=1.825 \angle 78.6^\circ \quad \beta=78.6^\circ$$

و از روی آن بدست میآید :

$$\beta-\alpha=78.6-14=77.2^\circ$$

(شکل ۱۳) دیاگرام دایره‌ای را باشعاع‌های  $|V_s|$  و  $|V_r|$  مساوی ۰.۸، ۰.۹، ۱.۱ و ۱.۲

نشان می‌دهد، خط سینما و خط مراکز از نقطه  $n$  بازوویه‌های  $\beta=78.6^\circ$ ،  $\beta-\alpha=77.2^\circ$  نسبت به محور افقی رسم شده‌اند.



(شکل ۱۳)

دیاگرام دایره‌ای قدرت انیورسال برای مثالهای ۱ و ۲ و ولتاژ سینما ۲۲۰ KV و ضریب تبدیل قدرت

$$\text{به Per Unit مساوی } \frac{(220)^2}{1825} = 266 \text{ MVA میباشد}$$

۱- با توجه به ولتاژ سینمای KV ۲۲ مقدار  $V_r$  (Per Unit) چنین است.

$$V_r = \frac{|V_r|}{|V|} = \frac{200}{220} = 0.91 \text{ Per Unit} \quad \text{بواحد}$$

فاصله  $n$  تا  $O_{r1}$  چنین بدست میآید.

$$O_{r1} = A \cdot V_r^2 = 0.895 (0.91)^2 = 0.740 \text{ Per Unit} \quad \text{بواحد}$$

و مقدار  $\frac{|V_r|^2}{B}$  برابر است با :

$$\frac{|V|^2}{|B|} = \frac{(220 \times 1.03)^2}{18250} = 266 \times 10^6 \text{ VA} = 266 \text{ MVA} \text{ مگاوات آمپر}$$

و مقدار Per Unit بار مساوی است با :

$$\frac{\text{بار}}{|V|^2/|B|} = \frac{120}{266} = 0.45 \text{ Per Unit} \text{ بواحد}$$

از آنجائی که ضریب توان ۰.۹۰ است نقطه بار Per Unit ۰.۴۵ را در سمت راست  $O_{r1}$  در نقطه  $P_1$  مشخص مینمائیم که (شکل ۱۳) نشان داده شده است. نقطه  $P_1$  که اینک تعیین شده بشعاع Per Unit ۰.۹۶ از نقطه  $n$  واقع است بنابراین :

$$r = v_s \cdot v_r = 0.96 \text{ Per Unit} \text{ بواحد}$$

واز آنجا :

$$|v_s| = \frac{0.96}{|v_r|} = \frac{0.96}{0.91} = 1.055 \text{ Per Unit} \text{ بواحد}$$

و اگر آنرا به کیلو ولت تبدیل نمائیم خواهیم داشت :

$$|v_s| = V_s \cdot V = 1055 \times 220 = 232 \text{ KV}$$

(۲) با تبدیل KV ۲۱۰ بواحد Per Unit چنین بدست میآید :

$$|v_r| = \frac{V_r}{V} = \frac{210}{220} = 0.955 \text{ Per Unit} \text{ بواحد}$$

فاصله  $n$  تا  $O_{r2}$  برابر است با :

$$O_{r2} = |A \cdot v_r|^2 = 0.895 \times (0.955)^2 = 0.805 \text{ Per Unit} \text{ بواحد}$$

و بواحد (Per Unit) قدرت عبارت است از :

$$\frac{\text{قدرت}}{|V|^2/|B|} = \frac{50}{266} = 0.188 \text{ Per Unit}$$

خط بار برای ضریب توان ۰.۹ از نقطه  $O_{r2}$  رسم شده است و نقطه بار  $P_2$  از محل تقاطع خط بار و خط عمودی که بفاصله Per Unit ۰.۱۸۸ از سمت راست  $O_{r2}$  رسم میشود، بدست میآید :

شعاع دایره  $P_2$  برابر است با :

$$r = |v_s| \cdot |v_r| = 1.00 \text{ Per Unit} \text{ بواحد}$$

بنابراین :

$$|v_s| = \frac{1}{|v_r|} = \frac{1}{0.955} = 1.047 \text{ Per Unit} \text{ بواحد}$$

و یا :

$$|v_s| = |v_s| \cdot |V| = 1.047 \times 220 = 230 \text{ KV}$$

۳- برای پیدا کردن مقدار تنظیم ولتاژ (Regulation) با توجه باینکه مقدار تنظیم ولتاژ برابر است با :

$$\% \text{Reg} = \frac{V_r \text{ بار کامل} - V_r \text{ بی بار}}{V_r \text{ بار کامل}} \times 100$$

باید مقدار  $|V_r|$  در حالت بی بار بدست آورد . برای این منظور چون در حالت بی بار  $I_r = 0$  است با توجه بجملة اول رابطه (۱)  $V_s = AV_r + BI_r$  خواهیم داشت :

$$V_r \text{ بی بار} = \frac{V_s}{A}$$

و یا :

$$|V_r| \text{ بی بار} = \left| \frac{V_s}{A} \right| = \frac{1.022}{0.992} = 1.03 \text{ Per Unit}$$

و مقدار تنظیم ولتاژ برابر است با :

$$\text{Reg} \% = \frac{1.03 - 0.977}{0.977} \times 100 = 5.32 \%$$

۴- دایره نظیر مقادیر :

$$|V_r| = 210 \text{ KV} \quad \text{و} \quad |V_s| = 230 \text{ KV}$$

در شکل ۱۳ بشعاع :

$$r = |V_s| \cdot |V_r| = \frac{230 \times 210}{(230)^2} = 1.0 \text{ Per Unit}$$

خواهد بود . که قسمتی از این دایره در شکل ۱۳ نشان داده شده است .

مبدأ در نقطه خروجی خط برای  $V_r = 210 \text{ KV}$  نقطه  $O_{r2}$  میباشد . نقطه a نظیر قدرت حقیقی معادل ۸۰ MW بر روی خط افقی رسم شده از  $O_{r2}$  و در سمت راست آن مشخص شده که فاصله آن از  $O_{r2}$  برابر است با :

$$\frac{80}{230} = 0.348 \text{ Per Unit}$$

یک خط قائم از a دایره  $|V_s| \cdot |V_r| = 1.0$  در نقطه b و خط بار برای ضریب توان ۰.۹ را در نقطه c قطع مینماید .

فاصله بین a و c نشان دهنده مقدار قدرت رآکتیو لازم برای بار میباشد . فاصله بین a و b مشخص

قدرت رآکتیو تهیه شده بوسیله خط میباشد ، درحالیکه ولتاژ بمقدار ذکر شده و قدرت ۸۰ MW باشد .

قسمت باقیمانده فاصله a تا c (که فاصله b تا c میباشد) مقدار قدرت رآکتیوی را که باید بوسیله

کاپاسیتور سنکرون تهیه نمود معین مینماید ، بوسیله اندازه گیری از روی دیاگرام مقادیر قدرت رآکتیو لازم بدست میآید :

$a-c=0.145$ P.U.	۳۸۷۶	MVARs	لازم برای بار
$a-b=0.100$ P.U.	۲۶۷۶	MVARs	تهیه شده بوسیله خط
$b-c=0.045$ P.U.	۱۲	MVARs	تهیه شده بوسیله کاپاسیتور

ضریب توان در نقطه خروجی خط برابر است با  $\cos$  زاویه بین خطی که  $O_{12}$  را به  $b$  وصل مینماید و محور افقی. و بطریق تحلیلی ضریب توان عبارت است از:

$$\cos(\text{Arc tg } \frac{2676}{80}) = 0.949$$

### مثال ۲:

در خطی به مشخصات ذکر شده در مثال ۱ با استفاده از دیاگرام دایره‌ای انیورسال قدرت در نقطه ورودی خط را تعیین کنید. در حالیکه در نقطه خروجی خط بار  $120$  MW و ضریب توان  $100\%$  و ولتاژ  $200$  KV باشد.

### حل:

قدرت در انتهای خط (نقطه خروجی) باتوجه به قسمتی از حل مسئله ۱ در نقطه  $P_1$  در شکل ۱۳ بازنه بار مشخص در نقطه خروجی نشان داده شده است.

زاویه پیش‌پیش برای  $P_1 = 30^\circ = \delta$  می‌باشد. خط‌مبنا و خط مراکز برای نقطه ورودی خط نیز در شکل ۱۳ رسم شده است. این خطوط در ربع دوم قرار گرفته‌اند. چون با محور افقی زاویه‌های:

$$180^\circ - 78.6^\circ = 101.4^\circ$$

$$180^\circ - (78.6^\circ + 101.4^\circ) = 101.4^\circ$$

میسازد.

از آنجائی که:

$v_s = 1.0$  Per Unit می‌باشد فاصله  $n$  تا  $O_s$  برابر است با:

$$\text{فاصله } n \text{ تا } O_s = D \cdot v_s^2 \text{ Per Unit}$$

$$\text{فاصله } n \text{ تا } O_s = 0.895 \times (1.0)^2 = 0.895 \text{ Per Unit}$$

نقطه بار  $P_s$  در نقطه ورودی خط باید روی دایره‌ای بشعاع  $0.96$  P.U. واقع بوده و دارای زاویه پیش‌پیش  $30^\circ = \delta$  نسبت به خط مبنا در نقطه ورودی خط باشد. نقطه  $P_s$  نیز در روی شکل ۱۳ نشان داده شده و از آنجا معلوم میشود که باندازه:

$0.20$  P.U. در سمت راست  $\theta_s$  و معادل  $0.64$  P.U. زیر آن واقع است.

بنابراین داریم:

قدرت حقیقی در نقطه ورودی خط  $140 \text{ MW} = 266 \times 0.525$  مگاوات  
قدرت راکتیو در نقطه ورودی خط  $17 \text{ MVAR} = 466 \times 0.036$  مگاوات- آمپر راکتیو

$$\text{tg } \theta_s = \frac{17000}{140000} = 0.125$$

$$\theta_s = 7.13^\circ$$

ضریب توان :

$$\theta_s = \text{Cos } 7.13^\circ = 0.9927$$