

روشهای محاسبه قابلیت اطمینان سیستمهای قدرت

دکتر علی پیروی - مهندسین محسن تایب زاده

دانشگاه مهندسی دانشگاه مشهد

چکیده

گسترش روزافزون تکنولوژی و صنعت، نقش انرژی الکتریکی را بعنوان به حرکت درآورنده جرخهای عظیم صنایع، حساستر و حیاتی تر نموده، خطوری که ارزش بیوسنگی جریان انرژی، در سیستم، از طریق برآورد هزینههای مصرف شده و تا خسارات وارده ناشی از قطع برق، بسیار قابل توجه می باشد.

افزایش قابلیت اطمینان سیستم، مترادف با افزایش سرویس دهی انرژی بوده و تا آنجا قابل توجه است که صرفه حوثی در هزینههای ناشی از قطع جریان برق، بیش از هزینه لازم برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم باشد، از اینرو جهت بحث و بررسی نیاز به سه فاکتور اساسی می باشد.

- ۱- محاسبه قابلیت اطمینان سیستم قدرت
- ۲- برآوردی از هزینه خسارات ناشی از قطع جریان برق.
- ۳- برآوردی از هزینه افزایش قابلیت اطمینان سیستم قدرت.

در این مقاله، سعی بر آن است که روشهای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم، به همراه نتایج حاصله در مورد یک شبکه قدرت، بیان گشته و چگونگی مقایسه هزینه خسارات قطع برق و هزینه افزایش قابلیت اطمینان بررسی شود. بدیهی است که در این مختصر، ارائه دقیق و گسترده تر، مقدور نبوده و جهت مراجعه علاقمندان مراجع لازم، در پایان مقاله ذکر می گردد.

شرح مقاله

جهت شناخت بهتر قابلیت اطمینان، نخست معرفی و تشریح اصطلاحات و واژهها، ضروری بنظر می رسد، از اینرو بطور مختصر، تعاریف و واژههای متداول بیان می گردد.

NEUMAN, S. P.
Finite Ele
NIELSEN, D.
Variabilite
Hilgardia
PHILIP, J. P.
Infiltrati
83, 345-35
REICHARDT
Unsaturate
Scaling T
RICHARDS
through
SIM, K. G.
Flow in
dissert.
TAYLOR, C.
Transient
Res., 5 (1
VAUCLIS
and Num
Unsatur
Water Be
YOUNG, F.
and Be
ZIENKIEW
McGraw-

۱- تعاریف و واژه‌ها

قابلیت اطمینان (Reliability) خاصیتی از یک سیستم یا عنصر (Component) می‌باشد که توسط آن میزان احتمال انجام مأموریت یا وظیفه تحت شرایط مشخص و تعریف شده، برای مدت زمان مشخص و تعریف شده بیان می‌گردد به عنوان مثال، چنانچه قابلیت اطمینان یک دستگاه برای مدت زمان ۸۰۰ ساعت جهت انجام یک کار معین و تحت شرایط مشخص محیطی مکانی و غیره ۰/۸ باشد، این بدان معنی است که به احتمال ۰/۸ این دستگاه تا مدت زمان ۸۰۰ ساعت خراب نشده و بطور سالم و وظیفه خود را انجام خواهد داد.

در مورد سیستمهای (عناصر) قابل تعمیر، قابلیت دسترسی (Availability) معرفی می‌گردد و آن به معنی احتمال انجام کار سیستم (عنصر) در زمان نامشخصی در آینده می‌باشد. با قدری دقت در می‌یابیم که قابلیت دسترسی، یک مقدار ثابت نبوده و با گذشت زمان، مقدار آن کاهش می‌یابد. بعبارت دیگر قابلیت دسترسی یک پارامتر دینامیک بازمان می‌باشد. این امر علت کهنوت قطعات تشکیل دهنده سیستم می‌باشد. قابلیت دسترسی را با A نشان داده و مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$A = \frac{M_U}{M_U + M_D} = \frac{\text{متوسط زمان کار}}{\text{متوسط زمان کار + متوسط زمان خروج اجباری}} \quad (1)$$

به هنگام معرفی پارامترهای سیستم قدرت، معمول آنست که به جای قابلیت دسترسی، عدم قابلیت دسترسی (Unavailability) بیان می‌گردد و با \bar{A} نشان داده شده، مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\bar{A} = \frac{M_D}{M_U + M_D} = \frac{\text{متوسط زمان خروج اجباری}}{\text{متوسط زمان کار + متوسط زمان خروج اجباری}} \quad (2)$$

پارامتر \bar{A} تقریب مناسبی از احتمال خرابی سیستم بوده و در سیستمهایی که نگهداری (Maintenance) به آنها اعمال می‌شود نیز صادق است، بخصوص چنانچه نگهداری، در آخر هفته‌ها (حین کم باری سیستم) اعمال گردد. تعمیرات اساسی (Overhaul) که هفته‌ها یا ماه‌ها به طول می‌انجامد نیز توسط تقریبهایی دیگر، بدون تغییر مدل تولید و پارامترهای مربوطه منظور می‌گردد. این تقریبها شامل یک کاهش مناسب در تعداد کل واحدهای تولیدی در مدت زمان مورد بحث یا تعدیلی در ارتباط با مدل بار می‌باشد. واژه متداولی که

برای عدم قابلیت دسترسی (Forced Outage Rate)

یادآوری این مطلب ضروری است که واحدها که بیانگر میزان کم باری بررسی، شرح زیر می‌باشند. الف) جایگزین نمودن ضریب $P.O.R$ که با رابطه

ساعات (۲)

جهت محاسبه ساعات کاهش تولید مربوطه ضرب عملکردی به صورت زیر داشته باشد. - ۸۰ ساعت در ۶۰٪ تولید. - ۲۰ ساعت در ۱۰۰٪ تولید. - ۳۰ ساعت خاموش.

در این صورت ساعات کار واحد معادل خروج اجباری، مساوی

لازم به یادآوری است گرفته می‌شود.

ب) در نظر گرفتن مدل چند این روش، در مقایسه می‌باشد. حالتیهای اضافه شده تولید بوده که در یک سیستم در نظر گرفته شده و واحدها

برای عدم قابلیت دسترسی در دراز مدت به کار برده می شود. میزان خروج اجباری (Forced Outage Rate) بوده و با F.O.R. بیان می گردد.

یادآوری این مطلب ضروری است که می توان اثر خروج جزئی (Partial Outage) واحدها که بیانگر میزان کم باری واحد می باشد را در محاسبات وارد نمود. دو روش متداول بررسی، بشرح زیر می باشند.

الف) جایگزین نمودن ضریب (Equivalent Forced Outage Rate) E.F.O.R که با رابطه زیر بیان می گردد.

$$EFOR = \frac{\text{ساعات معادل خروج اجباری} + \text{ساعات خروج اجباری}}{\text{ساعات خروج اجباری} + \text{ساعات کار}} \quad (۲)$$

جهت محاسبه ساعات معادل خروج اجباری، ساعات واقعی نقصان تولید را در ضریب کاهش تولید مربوطه ضرب می نمائیم. بعنوان مثال، چنانچه زتراتورری طی ۱۳۰ ساعت کار، عملکردی به صورت زیر داشته باشد.

- ۸۰ ساعت در ۶۰٪ تولید.

- ۲۰ ساعت در ۱۰۰٪ تولید.

- ۳۰ ساعت خاموش.

در این صورت ساعات کار واحد ۱۰۰۰ ساعت و ساعات خروج اجباری ۳۰ ساعت بوده و ساعات معادل خروج اجباری، مساوی $۸۰ \times ۰/۶ = ۴۸$ ساعت می باشد. در این صورت.

$$EFOR = \frac{۴۸ + ۳۰}{۱۳۰} = \frac{۷۸}{۱۳۰} = ۰/۶۰$$

لازم به یادآوری است که واحد تولیدی، گماکان دو حالت (Binary States) در نظر گرفته می شود.

ب) در نظر گرفتن مدل چندحالتی، برای واحدهای تولیدی (Derated Models) این روش، در مقایسه با روش اول دقیق تر بوده و خطای حاصله در محاسبات بسیار کم می باشد. حالتی اضافه شده به مدل دو حالتی، معمولاً ۱۰٪ و ۲۰٪ و ۳۰٪ خروجی (Outage) تولید بوده که در یک سیستم قدرت وسیع، تنها واحدهای بخاری با تولید بالا بدین صورت در نظر گرفته شده و واحدهای کوچک بصورت دو حالتی در نظر گرفته می شوند (مرجع ۴).

(Component) ...
رابطه مشخص و تعریف
توان قابلیت اطمینان
رابطه مشخص محیطی
ساعت دستگاه تا مدت

(Availability)
توان مشخصی در آینده
سود و یا گذشت
تردینامیک بازمان

$$A = \frac{M_U}{M_U + K_U}$$

قابلیت دسترسی،
مشکل داده شده،

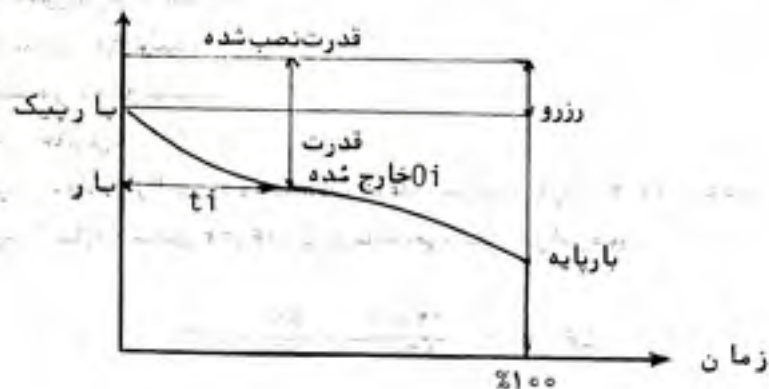
نظری که نگهداری
نگهداری،
(Over)
که
و پارامترهای
تولیدی
متوالی که

۲- محاسبه قابلیت اطمینان سیستم

پس از شناخت واژه‌های متداول، به محاسبه قابلیت اطمینان سیستم قدرت می‌پردازیم.

۲-۱ ارزیابی قابلیت اطمینان مدل تولید و بار

حالت نسبتاً ساده‌ای از محاسبه احتمال خرابی یا خطای (Failure) سیستم، در نظر گرفتن تنها مدل تولید و بار می‌باشد. در این حالت، شبکه انتقال کاملاً قابل اطمینان (Reliable) فرض گردیده و احتمال خروج مقادیر مختلف تولید محاسبه می‌گردد. با انتقال مقادیر تولید باقیمانده سیستم بر روی مدل بار، درصد زمانی که بار از این مقدار تولید موجود در سیستم فراتر می‌رود، محاسبه می‌گردد که خود یک مقدار احتمال می‌باشد. جهت توضیح مطلب اگر مدل بار سیستمی بصورت شکل ۱ باشد.



شکل ۱. منحنی بار سیستمی دلخواه

منحنی مزبور می‌تواند نمایشگر بیک بارهای روزانه در یکسال، یا بیک بارهای هر ساعت در یک روز و با منحنی بار در هر محدوده زمانی دلخواه دیگر باشد؛ که %۱۰۰ زمان، بیانگر آن فاصله زمانی خواهد بود. در این بحث، منحنی بار را بعنوان بارهای بیک روزانه در یک سال در نظر می‌گیریم، در این صورت محور افقی ۳۶۵ روز را نشان می‌دهد.

چنانچه قدرت خارج شده O_i ، کمتر از مقدار رزرو سیستم باشد، فقدان تامین بار وجود نخواهد داشت، ولی در صورتی که این قدرت خروجی بیش از مقدار رزرو سیستم باشد، برای

روشهای محاسبه

مدت زمان t_i این

بار در اثر خروج O_i

خروج P_i و مدت زمان

خواهد بود. کل مقدار

سایر مجموع $P_i t_i$

ability (۵)

جهت محاسبه

و با در دست داشتن

نمود، این امر، با

یکدیگر میسر می‌باشد.

جدول مجزای واحدهای تولیدی ۱ و ۲ به شکل زیر می باشد (مدل دو حالت) :

جدول ۲ : احتمال حالات واحد اول

احتمال حالت	قدرت موجود MW	قدرت خروجی G1 MW
۰/۹۸	۲۰۰	۰
۰/۰۲	۰	۲۰۰
$\Sigma = 1.00$		

جدول ۳ : احتمال حالات واحد دوم

احتمال حالت	قدرت موجود MW	قدرت خروجی G2 MW
۰/۹۶	۵۰۰	۰
۰/۰۴	۰	۵۰۰
$\Sigma = 1.00$		

با ترکیب نمودن جداول ۲ و ۳ ، جدول حالت‌های مختلف قدرت خروجی سیستمی ، متشکل از دو واحد تولیدی ۱ و ۲ بدست می آید .

جدول ۴ : حالت‌های قدرت خروجی برای سیستم متشکل از ۲ واحد

احتمال حالت	قدرت موجود MW	قدرت خروجی MW
۰/۹۴۰۸	۹۰۰	۰
۰/۰۱۹۲	۵۰۰	۴۰۰
۰/۰۳۹۲	۴۰۰	۵۰۰
۰/۰۰۰۸	۰	۹۰۰
		$\Sigma = 1.0000$

الگوریتمی که ساخت جدول‌های احتمال قدرت خروجی (Capacity Outage Probability) را به سادگی ممکن می‌سازد ، به صورت زیر بیان می‌گردد :

جدول دو حالت احتمال قدرت خروجی هر واحد تولیدی ، تشکیل داده شده و با کوچکترین واحد عملیات آغاز می‌گردد . در هر زمان یکی از واحدها به جدول مزبور اضافه می‌گردد ، تا زمانی که تمامی واحدها در تشکیل جدول نهایی محسوب شده باشند . برای سیستم متشکل از ۶ واحد تولیدی (جدول ۱) ، می‌بایستی با واحد G_6 ، عملیات را آغاز نموده و G_5 را به آن اضافه نمود و سپس واحدهای G_4 ، G_3 ، G_2 ، G_1 بترتیب به جدول ما قبل آنها اضافه می‌گردند . با گرد کردن مقادیر بدست آمده می‌توان از حالت‌های با احتمال ضعیف صرف نظر نمود و جدول خلاصه شده‌ای را تشکیل داد .

پس از تشکیل جدول ، می‌بایستی زمانهای t_i را برای قدرتهای خروجی بدست آورد . سیستمی که در این مقاله مورد بحث قرار گرفته ، متشکل از دوبار L_1 و L_2 ، با مشخصات زیر می‌باشد .

	مقدار پایه MW	مقدار پیک MW
L_1 :	۶۰۰	۱۲۰۰
L_2 :	۳۰۰	۷۰۰

حالت (:

G1

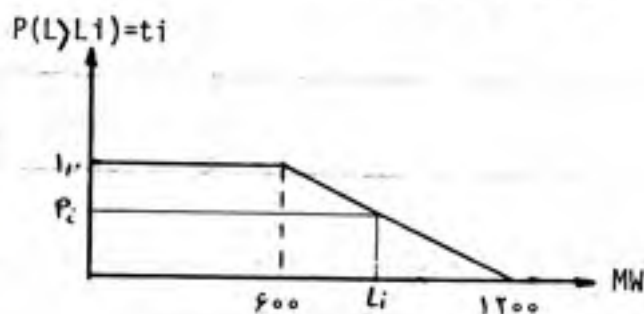
G2

سیستمی ، متشکل از دو

به منظور سهولت محاسبات ، حد فاصل بار پایه و پیک در هر دو بار بصورت خط راست در نظر گرفته شده است .

۲-۱-۱ محاسبه مدل بار مجموع

بارهای L_1 و L_2 دو متغیر تصادفی هستند که با در دست داشتن منحنی های هر یک از دو بار ، محاسبه چگالی احتمال آنها میسر می باشد . چگالی احتمال بار مجموع از انتگرال کانولوشن چگالی های احتمال L_1 و L_2 که با f_1 و f_2 نشان داده می شود ، محاسبه می گردد که به طریق ریاضی و یا از روش ترسیمی قابل انجام می باشد .
مدل خطی بار L_1 را در نظر می گیریم .

شکل ۲ . مدل خطی بار L_1

محور عمودی احتمال تجاوز نمودن بار از یک مقدار مشخص L_1 می باشد ، که بعنوان مثال احتمال افزایش بار بیش از ۱۲۰۰ مگاوات صفر بوده و با در دست داشتن $P(L > L_1)$ می توان تابع احتمال توزیع بار L_1 ، و از آنجا با مشتق گیری از آن چگالی احتمال برای بار L_1 و بطور مشابه برای بار L_2 را بدست آورد .

$$F_L(L_i) = 1 - P(L > L_i) \quad (۶)$$

$$f_1(L) = \frac{\partial F_1}{\partial L} , F_2(L) = \frac{\partial F_2}{\partial L} \quad (۷)$$

f_1 و f_2 به ترتیب در فاصله های ۱۲۰۰ و ۶۰۰-۷۰۰ و ۳۰۰ غیر صفر می باشند .
با محاسبه مدل بار مجموع و انتقال مقادیر قدرت خروجی در حالت های مختلف سیستم بر روی مدل مزبور ، زمانهای t_i بدست می آیند و با جمع آنها خواهیم داشت .

$$L.O.L.P = \text{Loss of Load Probability} = \sum_i P_i t_i = 15/67 \quad \text{سال / روز}$$

مجموع تولید موجود سیستم ۱۹۵۰۰ مگاوات بوده که نسبت به پیک بار سیستم حاشیه رزروی معادل ۵۰ مگاوات رادار می باشد، این مقدار کم رزرو، موجب ایجاد خاموشی زیاد ۱۵/۶۷ روز در سال گشتاست. چنانچه تولید واحدهای G_6 و G_5 به ۳۰ مگاوات افزایش یابد، یعنی حاشیه رزرو تولید به ۴۰ مگاوات برسد و محاسبات تشکیل جدول احتمال قدرتهای خروجی محدودا انجام شود، نتیجه زیر بدست می آید.

$$L.O.L.P = 3/285 \quad \text{سال / روز}$$

روش دیگر کاهش $L.O.L.P$ ، انتخاب واحدهائی با $F.O.R$ متفاوت می باشد، چنانچه واحدهای G_3 ، G_2 با همان قدرت ولی با $F.O.R = 0/01$ انتخاب گردند و مشابه قبل جدولهای احتمال قدرتهای خروجی تشکیل گردد، مقدار $L.O.L.P = 7/2365$ روز در سال بدست خواهد آمد که نعا با نگر کاهش خاموشی سیستم به مقدار نصف می باشد. نتیجه بدست آمده نشان می دهد که عواملی چون شرایط جغرافیائی، نوع واحدهای تولیدی، نگهداری و غیره، که می توانند در افزایش بار کاهش $F.O.R$ موثر باشند، تا چه اندازه در کاهش یا افزایش خاموشی سیستم دارای اهمیت هستند.

در اینجا لازم است یکی از موارد استفاده این روش، به هنگام مقایسه پیشنهادات کارخانه های سازنده، به همراه قیمت آنها توضیح داده شود. از آنجا که این سازندگان، $F.O.R$ واحدهای خود را ارائه می دهند و معمولاً مدل بار یا مقدار بار سیستمی که نیروگاه، جهت تامین بار آن طراحی شده موجود می باشد، می توان $L.O.L.P$ را برای آرایش و قدرتهای متفاوت پیشنهادات ارائه شده، محاسبه و با قیمت داده شده مقایسه نمود و بهترین پیشنهاد را از نظر قابلیت اطمینان سیستم تولیدی و قیمت ارائه شده برگزید.

۲-۱-۲ معیارهای حاشیه رزرو سیستم

جهت ارزیابی قابلیت اطمینان آرایشهای مختلف واحدهای تولیدی، به هنگام در دست داشتن یک مقدار ثابت، بعنوان حاشیه رزرو تولید و یا در نظر گرفتن بزرگترین واحد بعنوان رزرو سیستم، می توان برای هر آرایش واحدهای تولیدی مقدار بار را بدست آورده و $L.O.L.P$ سیستم را محاسبه نمود. مقدار P در هر حالت، صفر یا یک می باشد.

طراست در نظر

حسی های هر یک
نگرال کانولوشن
می گردد که به

عنوان مثال
می توان
بار و بطور

F.L.

F.L.

تلف سیستم

بعنوان مثال ، چنانچه جدول ۵ احتمال قدرت خروجی برای یک آرایش دلخواه متشکل از ۱۲ واحد ۲۰ مگاواتی باشد و F.O.R هر یک از واحدها ۰/۰۱ در نظر گرفته شود ، مقدار L.O.L.P با دو معیار رزرو عبارت خواهند بود :

— با ۲۰٪ حاشیه رزرو و مقدار بار مساوی ۲۰۰ مگاوات

$$L.O.L.P = ۰/۰۰۰۲۰۶$$

— با در نظر گرفتن یک واحد ۲۰ مگاواتی بعنوان رزرو و مقدار بار مساوی ۲۲۰ مگاوات

$$L.O.L.P = ۰/۰۰۰۶۱۷۵$$

با ضرب هر یک از دو مقدار بدست آمده در ۳۶۵ ، مقدار خاموشی بر حسب سال / روز بدست خواهد آمد .

جدول شماره ۵ . احتمال قدرت خروجی سیستم قدرت شامل ۱۲ واحد ۲۰ مگاواتی

احتمال حالت	قدرت موجود MW	قدرت خروجی MW
۰/۸۸۶۳۸۴	۲۴۰	۰
۰/۱۰۷۴۴۱	۲۲۰	۲۰
۰/۰۰۵۹۶۹	۲۰۰	۴۰
۰/۰۰۰۲۰۱	۱۸۰	۶۰
۰/۰۰۰۰۰۵	۱۶۰	۸۰
۰/۰۰۰۰۰۰	۱۴۰	۱۰۰
$\Sigma = ۱/۰۰۰۰۰۰$		

۲-۲ ارزیابی سیستم انتقال

چنانچه واحدهای تولیدی کاملاً قابل اطمینان فرض گردند ، می توان شبکه انتقال را بطور مستقل ارزیابی نمود و احتمال خرابی یا خطای سیستم انتقال را بدست آورد . برای انجام این منظور می بایستی F.O.R تمامی خطوط انتقال مشخص باشد .

در اینجا مناسب است، ضوابط با معیارهایی که بر اساس آن حالت موفقیت Success با خرابی (Failure) سیستم متمایز می‌گردد، تشریح گردد.

سیستم‌های قدرت عموماً از دو جزء اساسی تشکیل می‌گردند. واحدهای تولیدی و خطوط انتقال، (ترانسفورماتورها بطور بهم پیوسته با خطوط در نظر گرفته می‌شوند و مقادیر F.O.R آنها با خطوط ادغام می‌گردد) که در این صورت قابلیت اطمینان سیستم نیز بر اساس قابلیت اطمینان قطعات تشکیل دهنده آن و آرایش قرار گرفتن قطعات در سیستم محاسبه می‌گردد. ضوابط و معیارهای بسیاری برای حالت موفقیت یا خرابی سیستم وجود دارند، ولی عمدتاً سیستم، زمانی در حالت خرابی یا خطا می‌باشد که یکی از پیشامدهای زیر رخ دهد:

- ۱- تولید قابل دسترسی، به مقدار کافی وجود ندارد تا بار را پاسخگو باشد.
- ۲- اتصالات تغذیه‌کننده یک بار قطع گردند.
- ۳- خطوط انتقال اضافه‌بار پیدا نمایند.
- ۴- ولتاژ شینه‌ها خارج از محدوده تعیین شده باشند.

جهت ارزیابی حالت‌های ۳ و ۴، از بخش بار استفاده می‌گردد. می‌توان به منظور سهولت و تسریع در عملیات، ولتاژ شینه‌ها را در نظر نگرفته و از D.C Load Flow استفاده نمود، که در محاسبات این مقاله نیز از این روش استفاده شده است. فضای حالت سیستم برای قطع یک خط، دو خط و . . . تشکیل یافته و احتمال هر یک از حالتها محاسبه می‌گردد. با مراجعه به معیارهای موفقیت یا خرابی سیستم می‌توان کل حالت‌های سیستم را به دو محدوده خرابی و موفقیت تفکیک نمود. در این صورت با جمع احتمالات حالت‌هایی که در محدوده خرابی سیستم قرار می‌گیرند، احتمال خرابی شبکه با P_F بدست می‌آید و از آنجا:

$$\text{احتمال موفقیت} = P_S = 1 - P_F = 1 - \sum_{i \in F} P_i \quad (8)$$

محاسبه می‌گردد، می‌توان برای سیستمهای انتقال طرح شده متفاوت، قابلیت اطمینان آنها را محاسبه و با در نظر گرفتن هزینه هر سیستم، مناسب‌ترین شبکه را انتخاب نمود. در این مقاله، شبکه شکل ۴ جهت محاسبات انتخاب شده و احتمال موفقیت سیستم انتقال، برای دو سقف تولید ۲۳۰۰ و ۱۹۵۰ مگاوات محاسبه شده و نتایج زیر بدست آمده‌اند.

$P_S = 0/95168$	سیستم با سقف تولید ۲۳۰۰ مگاوات
$P_S = 0/902221$	سیستم با سقف تولید ۱۹۵۰ مگاوات

مقایسه P_S دو سیستم، بیانگر این مطلب است که حاشیه رزرو کم تولید نیست به بار، ضمن اینکه مقدار خاموشی را افزایش می‌دهد، اثر سوئی بر عملکرد شبکه انتقال نیز می‌گذارد.

علاوه بر محاسبه P_p می توان مدت زمان مورد انتظار خرابی سیستم (T_p) را نیز محاسبه نمود. فرکانس هر حالت و مدت زمان مورد انتظار استمرار هر حالت نیز از پارامترهایی هستند که قابل محاسبه می باشند. جدول ۶ مقادیر F.O.R خطوط انتقال را نشان می دهد.

جدول ۶. مقادیر نرخهای خروج اضطراری خطوط شبکه انتقال

شماره خط	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱
F.O.R	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۵

احتمال حالت نرمال سیستم عبارتست از:

$$P_N = \prod_{i=1}^n A_i = 0/752$$

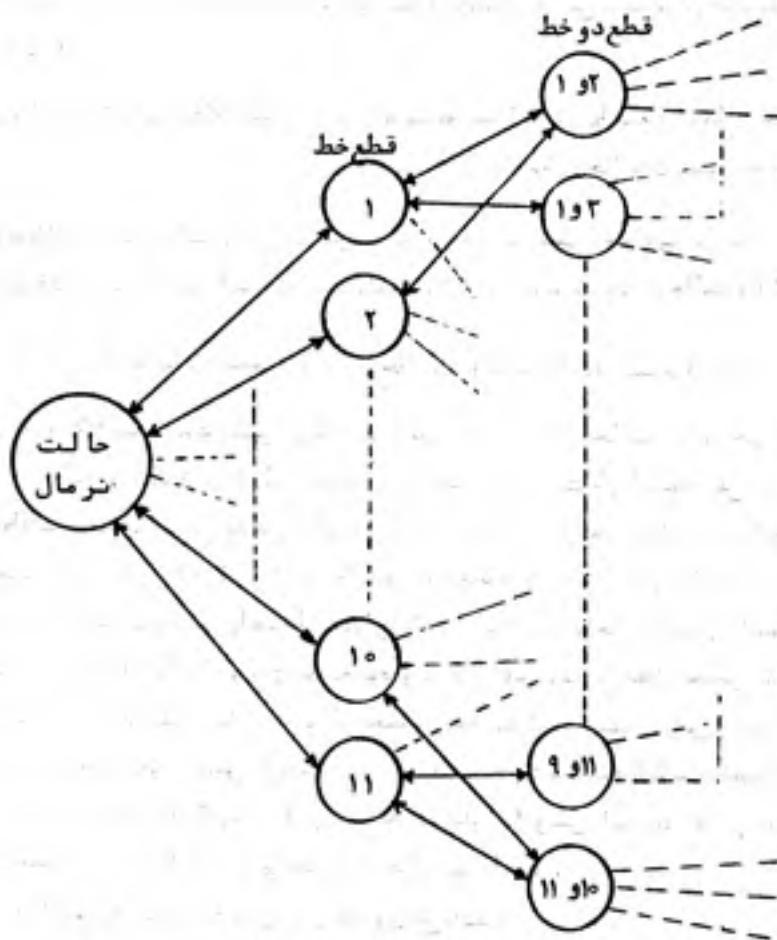
احتمال قطع خط K ام از رابطه زیر بدست می آید.

$$P = \bar{A}_K = \prod_{i \neq K} A_i$$

(خط K ام قطع باشد)

احتمالات قطع دو خط و بیش از آن نیز براحتی قابل محاسبه می باشد. مقادیر احتمالات قطع بیش از سه خط بسیار ضعیف بوده و تقریباً همگی در محدوده خرابی سیستم انتقال قرار می گیرند. شکل ۳ چگونگی تشکیل فضای حالت سیستم را نشان می دهد.

روشهای محاسبه
ارزیابی هدف
پس از ارزیابی
قابلیت اطمینان
در این صورت
صورتی شبکه در



شکل ۳. چگونگی تشکیل فضای حالت

۲-۳ ارزیابی مدل مرکب سیستم انتقال و تولید

پس از ارزیابی مدلهای تولید، بار و شبکه انتقال، می بایستی اثر این دورا در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم، بطور همزمان بدست آوریم، مقدماتاً تعداد زیر را تعریف می نمائیم.

$$Q_s = P(\text{system failure}) = \text{احتمال خرابی سیستم}$$

در این صورت، در حالت های مختلف سیستم (شبکه عادی یا قطع خطوط دلخواه) در صورتی شبکه در حالت خطا بسر می برد که با تولید نتواند بار را تامین نماید و یا اینکه سیستم

محاسبه نمود.
نی هستند که

شماره خط	
F.O.R	

حالات قطع
ارمی گیرند.

انتقال جهت تأمین بار مناسب نباشد. بطور ساده احتمال خرابی سیستم در حالت دلخواه i برابر است با.

$$(۹) \text{ احتمال (عدم کفایت شبکه انتقال } U \text{ عدم کفایت تولید) احتمال } \times \text{ احتمال رخ دادن حالت } i = \text{ احتمال خرابی سیستم در حالت } i$$

با بسط عملیات داخل برانتز و در نظر گرفتن تمامی حالات ممکن، خواهیم داشت.

$$Q_S = \sum P(i \text{ در حالت } i \text{ عدم کفایت تولید}) \times \{ P(\text{سیستم قدرت در حالت } i) \}$$

$$(۱۰) \{ P(A)P(B) - P(\text{سیستم قدرت در حالت } i \text{ عدم کفایت سیستم انتقال } P) \}$$

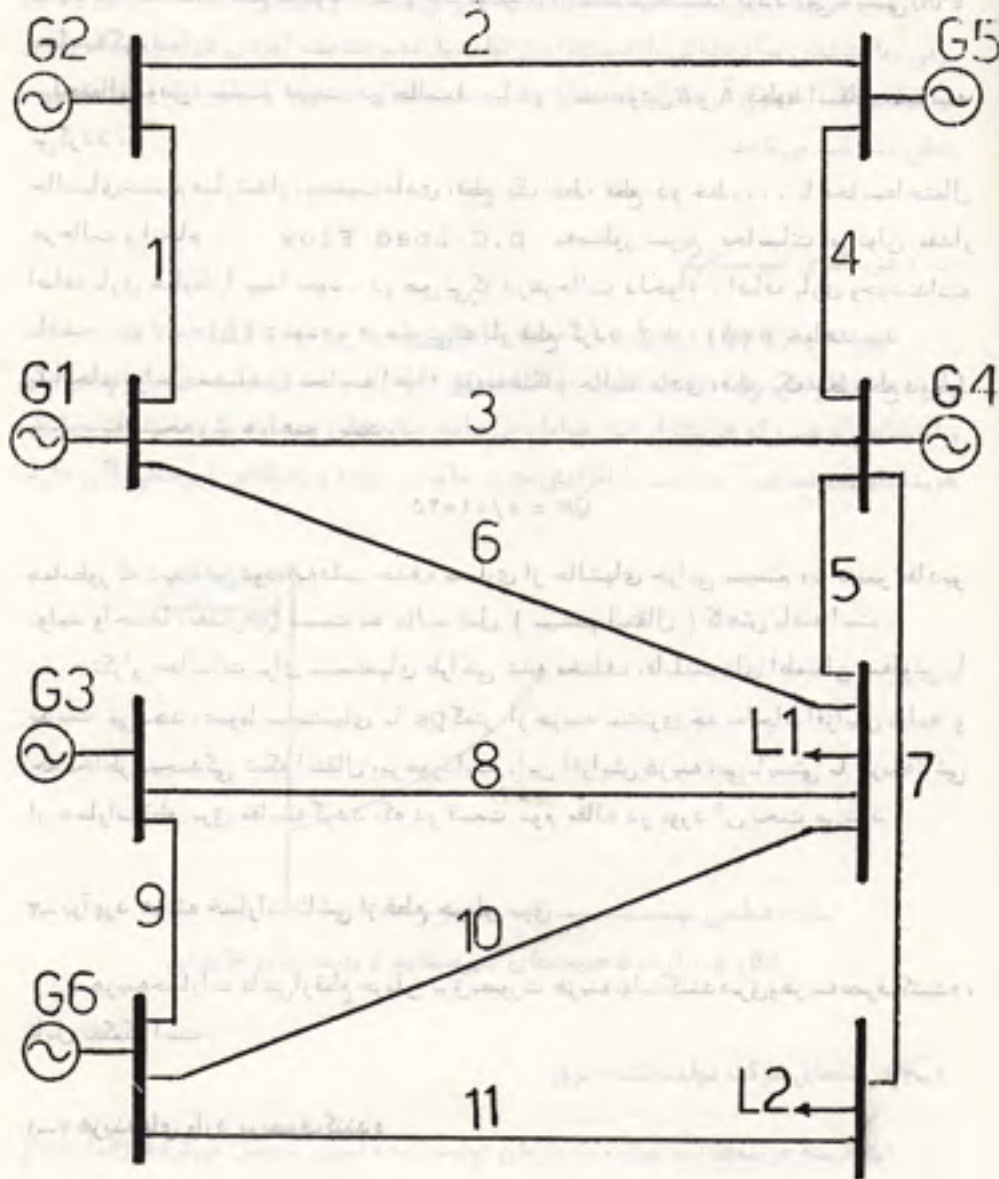
احتمال عدم کفایت تولید، طبق روش قسمت دوم مقاله، قابل محاسبه است. جهت محاسبه احتمال عدم کفایت خطوط، راههای متعددی پیشنهاد شده است. از آنجمله، می توان تقسیم بار به قطعات مختلف و محاسبه Q_S برای هر یک از آن قسمتها و جمع آنها با هم، اتصال بارها توسط خطوط ایده آل ($P.O.R=0$) و محاسبه بار مجموع از طریق انتگرال کاتولوشن، در نظر گرفتن عدم قابلیت دسترسی واحدها، بعنوان یک بار روی باس واحد تولیدی و انتقال بارها توسط خطوط انتقال ایده آل، بر روی بار مجموع و غیره را نام برد. در مقاله حاضر، بارها توسط خطوط ایده آل، به یکدیگر متصل شده و بار مجموع، محاسبه گشته است. روشن است که در یک سیستم قدرت پیچیده می بایستی برنامه کامپیوتری خاص، جهت محاسبه قابلیت اطمینان سیستم، تهیه و مورد استفاده قرار گیرد. این برنامه هم زمان با نوشتن این مقاله در بخش قدرت دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد در حال تهیه است.

به هنگام محاسبه $P(B)$ توجه به موارد زیر ضروری می باشد:

— با تغییر مقدار تولید واحدها از مرکز دیسپاچینگ، می توان سیستمی که به علت اضافه کاری خطوط، در وضعیت خرابی بسر می برد را به وضعیت مناسبی تبدیل نمود مشروط بر آن که تغییرات فوق در محدوده قدرت واحدهای تولیدی باشد.

— یک مقدار مشخص اضافه بار در خطوط، دقیقاً مساوی همان مقدار خاموشی در سیستم نمی باشد، از این رو جهت بدست آوردن مقدار $P(B)$ می بایستی بار را به تدریج کاهش داد تا زمانی که توان انتقالی خطوط به مقدار مجاز از قبل تعیین شده، کاهش یابند. در این صورت مقدار کاهش بار مساوی مقدار خاموشی است که بایستی به سیستم اعمال گردد. احتمال $P(L_i > I_i) = t_i$ را با در دست داشتن کاهش بار بدست آورده و بجای $P(B)$ جایگزین می نمائیم.





شکل ۴. شبکه قدرت تامین کننده بارهای L_1 و L_2

تداخلخواه i

حالت i

حالت i

$$Q_s = \sum P_i$$

P

محاسبه

توان تقسیم

اتصال بارها

در نظر

انتقال بارها

بارها توسط

ت که در یک

سیستم

بخش قدرت

اضافه‌باری

تغییرات

نمی‌باشد

زمانی که

مقدار کاهش

$$t_i = P(L_i)$$

— روش جامع تر تعیین میزان خاموشی مستلزم استفاده از ضرایب حساسیت شینه‌ها به تغییرات توان خطوط است .

— چنانچه به هنگام قطع خطوط ، یک واحد تولیدی از سیستم جدا گردد ، می‌بایستی $P(A)$ محاسبه گردد .

— احتمال بودن سیستم قدرت در حالت i ، با در دست بودن A و \bar{A} خطوط انتقال ، محاسبه می‌گردد .

حالت‌های سیستم عبارتند از ، وضعیت عادی ، قطع یک خط ، قطع دو خط ، ... با محاسبه احتمال هر حالت و انجام D.C. Load Flow به منظور تسریع محاسبات می‌توان مقدار اضافه باری خطوط را پیدا نمود . در صورتی که در هر حالت دلخواه ، اضافه باری وجود نداشته باشد $P(B) = 0$ بوده و در صورتی که بار قطع گردد $P(B) = 1$ خواهد بود . با انجام مراحل مختلف و محاسبه اجزاء Q_S به هنگام حالت عادی ، قطع یک خط ، قطع دو خط و ... به نتیجه زیر خواهیم رسید .

$$Q_S = 0.01025$$

همانطور که دیده می‌شود ، به علت حذف بسیاری از حالت‌های خرابی سیستم ، با تغییر مقادیر تولید واحدها ، مقدار Q_S نسبت به حالت قبل (سیستم انتقال) کاهش یافته است . تکرار محاسبات برای سیستم‌های طراحی شده مختلف ، قابلیت‌های اطمینان متفاوتی را بدست می‌دهد . عموماً سیستم‌های با Q_S کمتر ، از هزینه بیشتری چه به لحاظ افزایش تولید و چه بخاطر پیچیدگی شبکه انتقال ، برخوردارند . این افزایش هزینه ، می‌بایستی با هزینه ناشی از خسارات قطع برق مقایسه گردد ، که در قسمت سوم مقاله در مورد آن بحث می‌شود .

۳- برآورد هزینه خسارات ناشی از قطع جریان برق

هزینه خسارات ناشی از قطع جریان برق بصورت هزینه تولیدکننده برق و هزینه مصرف‌کننده ، قابل تفکیک است .

۳-۱ هزینه‌های وارد بر مصرف‌کننده

این دسته هزینه‌ها نیز به دو قسمت تقسیم می‌گردد .

الف) هزینه‌های مستقیم با آنی

ب) هزینه‌های غیرمستقیم یا تاخیری

الف) هزینه‌های

این قسمت از

برقی ، فاسد شدن

ترافیک به علت اختلال

خطی متناسب می‌باشد

ب) هزینه‌های غیرمستقیم

این دسته از

وارد ناشی از قطع

و اجتماعی و غیره

هزینه‌های غیرمستقیم

۳-۲ هزینه‌های

این دسته

هزینه انرژی جا

تعمیرات یا احیای

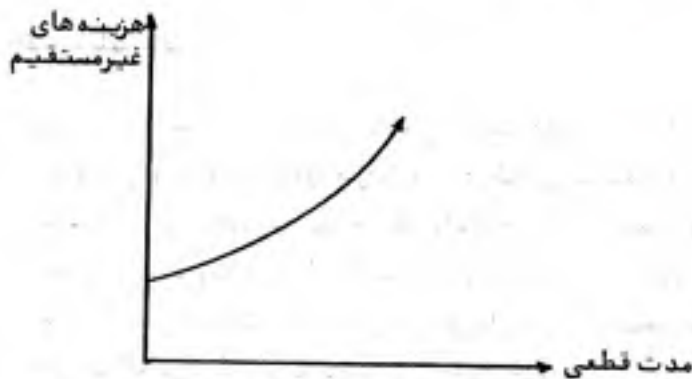
و غیره .

الف / هزینههای مستقیم

این قسمت از هزینهها، موارد متعددی را در بر میگیرد که از آن جمله است: خرابی وسایل برقی، فاسد شدن مواد غذایی، از دست دادن تولید یا عدم بدست آوردن درآمد، سنگین شدن ترافیک به علت اختلال در علائم راهنمایی و غیره. هزینههای مستقیم با تواتر قطع برق به صورت خطی متناسب می باشد.

ب / هزینههای غیرمستقیم

این دسته هزینهها، در اثر ازدیاد مدت خاموشی حادث می شود. از آن جمله است، صدمات وارده ناشی از قطع برق، دزدی، غارت، ایجاد حریق، قطع آب، مختل شدن فعالیتهای فرهنگی و اجتماعی و غیره که هر یک از این عوامل می تواند پیامدهای حسی دیگری نیز داشته باشد. هزینههای غیرمستقیم، متناسب با افزایش مدت خاموشی بوده و رابطهای غیرخطی با آن دارد.



شکل ۵. ارتباط هزینههای غیرمستقیم و مدت زمان خاموشی

۳-۲ هزینههای شرکت تولیدکننده برق

این دسته هزینهها، به شرکت یا سازمان تولیدکننده انرژی تحمیل می گردد و عبارتند از: هزینه انرژی جایگزین شونده، هزینه افزایش افت خطوط انتقال، اضافه کاری کارکنان، هزینه تعمیرات یا جایگزین نمودن وسایل یدکی، درآمد از دست رفته، ابزارنارضایتی مصرف کنندگان و غیره.

تست شنبهها به تغییرات

داده می بایستی P(A)

رابطه انتقال، محاسبه

با محاسبه احتمال

تست می توان مقدار

که باری وجود نداشته

خواهد بود.

یک خط، قطع دو خط

ما تغییر مقادیر

است.

امیتان متفاوتی را

افزایش تولید و

تستی یا هزینه ناشی

ت می شود.

صرف کننده.

توجه به بخشهای مختلف هزینه خسارات ناشی از قطع برق ، نقش بارز آمارگیری و جمع آوری دقیق اطلاعات را نشان می دهد . جهت یک برآورد دقیق ، متوسط هزینه قطع برق برای واحدهای صنعتی ، با توجه به قدرت مصرفی آنها ، متوسط هزینه های مصرف کننده (شرکتهای تولیدی) بر حسب متوسط زمانهای قطعی گوناگون و برای تولیدکنندگان بزرگ و کوچک ، متوسط هزینه قطع برای ساختمانهای تجاری ، هزینه تحمیل شده به شرکت تولیدکننده انرژی ، . . . تا حد ممکن بایستی ارزیابی شده و بسته به مدت زمان قطعی خسارات ناشی از آن ، محاسبه گردد .

۴- هزینه افزایش قابلیت اطمینان سیستم قدرت

هزینه بهبود قابلیت اطمینان سیستم قدرت ، هزینه ای است که می بایستی در توسعه یک سیستم بهتر یا بکارگیری روشهای جدید ، جهت بالا بردن سطح قابلیت اطمینان صرف گردد و خود شامل هزینه های : سرمایه گذاری ، بهره برداری و نگهداری می شود . در این جا ، مناسب است روشهای توجیه قابلیت اطمینان ، بیان گردد .

۴-۱- سنجش مطلق قابلیت اطمینان

در این روش ، عملکرد سیستم ، در مقایسه با معیار تعریف شده ای از قابلیت اطمینان ، سنجیده شده و تعریف می شود . از معیارهای غیر آماری برای طراحی سیستم تولید و انتقال ، می توان توانائی سیستم انتقال در تامين بار سیستم ، به هنگام قطع هر یک از خطوط و باترانسها ، بدون ایجاد اضافه بار و تغییر ولتاژ بیش از مقادیر مجاز را نام برد و معیارهای آماری امکان محاسبه احتمال کمبود تولید (در مقابل مصرف) را ممکن می سازند . برای سنجش مطلق ، معیار قابل قبول در سطح بین المللی ، یک روز قطعی بار طی ده سال می باشد .

۴-۲- مقایسه قابلیت اطمینان

در این روش پروژه ها و طرحهای مختلف بر اساس یک معیار قابلیت اطمینان مقایسه و از بین آنها پروژه ای که بهتر بنظر می رسد اجراء می شود . به عنوان مثال ، چنانچه چندین طرح توزیع انرژی الکتریکی مورد بررسی هستند ، می توان میزان تاثیر آنها را در قطع برق مشترکین محاسبه و آنها را به ترتیب لیست نمود .

۳-۴ تحلیل نسبی قاب

در این گونه روش مقایسه می شوند . بعنوان در ساعات قطعی مشتر ۳۵ میلیون ریال هزینه

• پروژه الف .

• پروژه ب .

پس نتیجه می شود که

۴-۴ ارزشیابی منفص

توضیح این مطلب

میلیون ریال هزینه

میلیون ریال ضرر

اتفاق افتد ، آیا تص

قابل توجیه است ؟

اگر فرض شود اتصال

پس اتصال دوم

۴-۵ بهینه سازی

هر چند سجا

آن راه صورت تا

۳-۴ تحلیل نسبی قابلیت اطمینان

در این گونه روشها، پروژهها، در تاثیر بهبود قابلیت اطمینان به تناسب هزینه پروژه، مقایسه می شوند. بعنوان مثال، چنانچه پروژه الف، ۱۷/۵ میلیون ریال هزینه در برداشته و در ساعات قطعی مشترکین سالانه به میزان ۱۰۰ هزار مشترک - ساعت بهبود بخشد و پروژه ب، ۳۵ میلیون ریال هزینه و ۱۵۰ هزار مشترک - ساعت بهبودی ایجاد نماید (بفرض نرخ ۱۸٪).

بهبود مشترک - ساعت در سال	هزینه در سال	بهبود مشترک - ساعت در سال
بازا* هر یکصد ریال		
۳/۱۷	۱۷۵۰۰۰۰۰۰×۵/۱۸	۱۰۰۰۰۰
۲/۳۸	۳۵۰۰۰۰۰۰۰×۵/۱۸	۱۵۰۰۰۰

پس نتیجه می شود که پروژه الف، بهبود بیشتری به ازای هر یکصد ریال هزینه حاصل می نماید.

۴-۴ ارزشیابی منفعت نسبت به هزینه افزایش قابلیت اطمینان

توضیح این مطلب، با بیان مثالی مناسب ترمی باشد. چنانچه یک کارخانه شیمیائی ۲/۵ میلیون ریال هزینه هر بار قطع برق داشته و همچنین هر ساعت که برق قطع است کارخانه ۱۰ میلیون ریال ضرر می دهد، در صورتی که بطور متوسط، یک قطعی به مدت پانزده دقیقه در سال اتفاق افتد، آیا نصب یک اتصال دیگر به کارخانه، که سالی ۳ میلیون ریال هزینه در بردارد قابل توجیه است؟

اگر فرض شود اتصال دوم می تواند کاملاً احتمال قطع برق را از بین ببرد.

$$\text{سال/میلیون ریال} = 5 = \frac{1}{3} \times 10 + 2.5 \times 1 = \text{منفعت حاصله}$$

$$\frac{\text{منفعت}}{\text{هزینه}} = \frac{5}{3} = 1.67 > 1$$

پس اتصال دوم قابل توجیه می باشد.

۴-۵ بهینه سازی قابلیت اطمینان

هر چند محاسبه دقیق هزینه افزایش قابلیت اطمینان سیستم، مشکل می باشد، ولی می توان آن را به صورت تابعی افزایشی از قابلیت اطمینان سیستم نشان داد (منحنی C شکل ۶)، محور

بارز آمارگیری و جمع آوری قطع برق برای واحدهای (شرکت های تولیدی) بر یک متوسط هزینه قطع برق ... تا حد ممکن محاسبه گردد.

نیاستی در توسعه یک اطمینان صرف گردد در این جا، مناسب

از قابلیت اطمینان، هم تولید و انتقال، خطوط و باترانسها، سازه های آمازی امکان سنجش مطلق، معیار

اطمینان مقایسه و چنانچه چندین طرح قطع برق مشترکین

افقی شکل ۶ می تواند بیان مناسبی از اندازه قابلیت اطمینان باشد. نظیر L.O.L.P. برای مطالعه سیستمهای تولید یا قابلیت دسترسی سیستم ($P_g = 1 - P_g$) در شبکه مرکب ، که در قسمتهای قبل چگونگی محاسبه آنها شرح داده شده است .

هزینه افزایش قابلیت اطمینان ، می بایستی در مقابل هزینه افزایش ناشی از قطع برق (در صورتی که قابلیت اطمینان کاهش یابد) ترسیم گردد و با جمع این دو منحنی نقطه بهینه (optimal) از قابلیت اطمینان سیستم بدست خواهد آمد که مترادف با حداقل هزینه کل صرف شده ، که شامل هزینه قطع برق و هزینه توسعه سیستم است ، می باشد .



شکل ۶ . ارتباط بین قابلیت اطمینان سیستم قدرت و هزینه ها

بایستی توجه گردد که در شکل ۶ محل تقاطع منحنی ها با محور عمودی ، قابلیت اطمینان صفر نمی باشد .

۵- نتیجه گیری .

قابلیت اطمینان ، امروزه یک فاکتور مهم بهبود طراحی سیستمها در شاخه های مختلف صنایع بوده و در این مقاله سعی شده روش بکارگیری آن در سیستمهای قدرت تشریح گردد . طراحی دقیق سیستمها با استفاده از این پارامتر ، نیاز به بررسی دقیق موقعیت جغرافیائی مراکز تولید و مصرف ، فاصله خطوط انتقال مورد نیاز جهت بهبود قابلیت اطمینان ، قیمت ، نوع و آرایش واحدهای تولیدی جدید سیستم ، و بطور کلی برآوردی از هزینه بهبود قابلیت اطمینان داشته و ارقام بدست آمده می بایستی در مقابل هزینه قطع برق ارائه گردد . محاسبه هزینه بهبود قابلیت اطمینان ، با استفاده از ارقام منتشر شده پیشنهادات سازندگان ، بسادگی قابل محاسبه بوده و سنجشی از هزینه پروژه های مختلف ، جهت بهبود سیستم را بدست می دهد .

در پایان، امید آن است که این مقاله توانسته باشد نقش قابلیت اطمینان را در طراحی سیستمهای قدرت روشن نموده و مقدمهای بر کار بیشتر بر روی آن باشد.

مراجع .

- 1 - Reliability modeling in electric power systems
J. Endrenyi, 1978 - J. Wiley & Sons.
- 2 - Reliability Hand-book, W. Grant Ireson, McGraw -
Hill .
- 3 - Power system reliability evaluation, lecture
notes, R. N. Allan. UMIST.
- 4 - Effect of partial outage representation in ge-
neration system planning studies, power systems
research group, University of Saskatchewan, Canada.

ناشی از قطع برق
نقطه سبینه
با حداقل هزینه
اند .

انواع مختلف
تشریح گردد.
مراقبانی مراکز
نوع و قیمت
لیت اطمینان
محاسبه هزینه
سادگی قابل
ت می دهد .