ششمین کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق

ایمنی و حوادث

یک مدل اصلاح شده برای بدست آوردن قابلیت اطمینان سیستمهای حفاظتی

رسول کنارنگی
دانشگاه تبریز

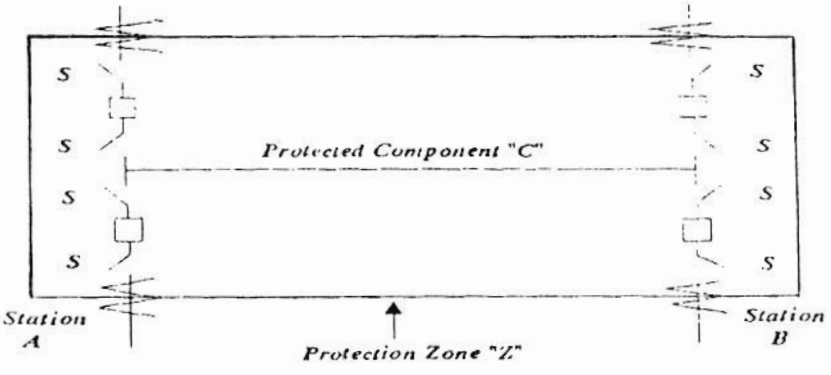
سیامک اسمعیلی
مجتمع آموزشی وپژوهشی آذربایجان

چکیده

دراین مقاله ازیک مدل مارکوف، جهت توسعه دادن واصلاح مدلهای قبلی که برای بدست آوردن و *Unreadiness prod* و *Unavailability* سیستم حفاظتی درسیستم‌های توزیع وانتقال بکار می‌رفت، استفاده می‌شود. تعاریف اصلاحی *Unreadiness prob* ودیگر اندازه‌گیریهای مربوط براساس مدل مارکوف جدید پیشنهاد می‌شود. این مدل جدید یک تعریف مستقیم وفیزیکی مهمّی از *Unreadiness* ارائه می‌کند، که براحتی براساس شدت انتقالهای بین حالتهای مختلف سیستم بدست می‌آید. بااستفاده از این مدل می‌توان مقدار بهینه فاصله زمانی بین دو بازدید ازسیستم حفاظتی رانیز تخمین زد. دراین مدل عملکرد سیستم حفاظتی پشتیبان، ازکار درآمدن سیستم حفاظتی به هنگام بازدید، وقوع چندین عیب بطور همزمان ورفع معمولی عیوب درنظرگرفته شده است.

مقدمه

یک خط انتقال مانند C راکه درشکل ۱ نشان داده‌شده‌است درنظر می‌گیریم.



شکل : اجزاء حفاظت شده و *zone* حفاظتی

خط C کاملا" بوسیله کلیدهای قدرت احاطه شده ،این کلیدها بصورت مربعهای کوچک نشان داده شده‌اند. که درهنگام وقوع عیب درخط آن را ازشبکه جدا می‌کنند. کلیدهای قدرت بوسیله رله‌های حفاظتی که درپستهای A و B قرار دارند کنترل می‌شوند. رله‌های حفاظتی حالت اجزاء را بوسیله ترانس دیوسرهای ورودی (مانند ترانسفورمرهای جریان و ولتاژ که درترمینال اجزاء سیستم قرار میگیرد) احساس می‌کنند. بعضی سیستمهای حفاظتی از ارتباطات بین دستگاههای حفاظتی موجود درترمینالهای اجزاء سیستم بمنظور تشخیص بهتر عیب درخطوط استفاده می‌کنند. سیستم حفاظتی دارای چهار زیرسیستم است: ۱)-ترانس دیوسرهای ورودی ۲)- رله‌های حفاظتی ۳)- سیستم‌های مخابراتی ۴)- اتصالات فیزیکی کلیدهای قدرت، که درحالت کلی سیستم حفاظتی نامیده شده وبا P نشان داده می‌شود. اجزاء حفاظتی خط C بوسیله یک خط نقطه‌چین احاطه شده است که *zone* حفاظتی نامیده می‌شود. حد مرزی *zone* حفاظتی بوسیله CT هامعین می‌شود. هرکدام ازاجزاء *zone* حفاظتی ومتصل به خط C با P نشان داده شده است. که شامل کلیدهای قدرت ، ترانسهای اندازه‌گیری ودرحالت کلی شامل کلیه اجزائی می‌شود که برای مشاهده وکنترل خط C بکار می‌رود. هدف ازبکاربردن سیستم حفاظتی P تشخیص عیب درخط C واز مدار خارج کردن خط به

هنگام وقوع عیب درآن می‌باشد. وقوع هرگونه عیب درخط C موجب جریان و ولتاژ غیرطبیعی می‌شود، که بوسیله P تشخیص داده‌شده وباعث ارسال سیگنال فرمان به کلیدهای قدرت برای ازمدار خارج کردن C می‌شود. سیستم حفاظتی ممکن است درتشخیص عیب موجود در C شکست بخورد. که ما آن رابعنوان یک عیب عملیاتی درنظر می‌گیریم. P دارای عیبهای دیگری نیز می‌باشد مثلا" خارج کردن C ازمدار زمانی که در C هیچگونه عیبی نباشد. این نوع عیب رامعمولا" عملکردقلابی ویا *trip* دروغی می‌نامند. این نوع عیب درمقاله مورد بررسی قرار نمی‌گیرد وهمواره فرض می‌کنیم که درصورت عملکرد سیستم حفاظتی حتماً عیبی درخط رخ داده‌است. P بطور پیوسته بر روی C بمنظور تشخیص عیب نظارت می‌کند. البته وقوع عیب در C بندرت صورت می‌گیردو دراکثر موارد P عملکرد خاصی ندارد وفقط برعملکرد C نظارت می‌کند. موقعی که P دچارعیب می‌شود، سیستم حفاظتی قادر به تشخیص عیب نبوده واجزاء مختلف سیستم درمعرض خطرمی‌باشند. بنابراین بایداز P درفواصل زمانی معین بازدیدبعمل آید تاازعملکرد صحیح آن اطمینان حاصل کرد. اگر زمانی که P دچار عیب شده‌است عیبی در C بوجود آید تشخیص این عیب‌بعهده‌سیستم حفاظتی پشتیبان می‌باشد.که طوری طراحی می‌شودکه عملکردآن کندتر از سیستم حفاظتی‌اصلی‌باشد.سیستم حفاظتی پشتیبان عیب‌موجود در C راتشخیص می‌دهدمنتهی‌اجزائی از سیستم(×) راکه عیبی درآن وجود ندارد به همراه قسمت معیوب C از مدار خارج می‌کند. *singh & Patton* یک روش را برای بدست آوردن *Unreadiness probablity* ، بصورت فرکانس انتقال به یک حالت *Unready* دراجزاء معیوب ، درمقایسه بامجموع فرکانس و فرکانس انتقال بحالت مناسب ارائه کرده‌اند. تعریف آنها براساس یک مدل مارکوف که همه‌حالتهای مختلف P,C درآن مشخص می‌باشد ارائه شده است. این مدل همه شدت انتقالهایی راکه به‌هنگام وجود یک حالت *Unready* در سیستم امکان‌پذیراست درنظر نمی‌گیرد. خواننده بایدتوجه کندکه *AAI* درواقع نشان دهنده مدل ارائه شده دراین مقاله می‌باشد. *AAI* مدل *Patton Singh* راتوسعه داده وشامل بعضی ازجزئیات مربوط به نقاط عملی می‌شود. نتایج دریک ساختار مارکوفی متفاوت وبراساس تعریف اصلاح شده حالت *Unready* ارائه شده است.

علائم وسمبلها

λ_c,μ_c : شدت عیب وتعمیر اجزاء سیستم تحت حفاظت

λ_p,μ_p : شدت عیب وتعمیر سیستم حفاظتی

λ_{cc} : شدت وقوع عیب همزمان در P,C

Θ_p : شدت بازدید ازسیستم حفاظتی

Ψ_N, Ψ_B : شدت کلیدزنی سیستم حفاظتی معمولی وپشتیبان

Ψ_M : شدت کلیدزنی دستی برای جداکردن قسمت معیوب

p_i : سیستم تحت حالت iام

$p_i(N)$ شمارنده مربوط به Pi

UP : سمبل مربوط به حالت خوب

DN : سمبل حالتی که سیستم حفاظتی قادر به تشخیص عیب باشد.

DU : سمبل حالتی که سیستم حفاظتی قادر به تشخیص عیب نباشد.

$INSP$: سمبل حالتی که سیستم حفاظتی درحال بازدید بوده ودرنتیجه قادربه تشخیص عیب نیست.

ISO : سمبل حالتی که سیستم تحت حفاظت دراثر وقوع عیب ازشبکه‌ایزوله شده‌وازمدار خارج می‌شود.

فرضیات:

۱- شدت تعمیر وخرابی اجزاء ثابت فرض می‌شود.

۲- همه عیبها متقابلا" ازهم مستقل می‌باشند وعیبهای سیستم حفاظتی مستقل ازعیبهای اجزاء سیستم اصلی است.

۳- فاصله زمانی بین بازدیدهای سیستم حفاظتی یک توزیع نمائی دارد.

۴- شدت کلیدزنی دارای یک توزیع نمائی می‌باشد.

۵- بازدید ازسیستم حفاظتی همواره همراه باتشخیص عیب ورفع آن خواهدبود.

۶- بازدید ازسیستم حفاظتی باعث ایجاد عیب درآن نمی‌شود.

مدل مارکوف:

شکل ۲ جزئیات مربوط به حالات مختلف C,P رانشان می‌دهد. که یک مدل مارکوف AAI راتشکیل می‌دهد.

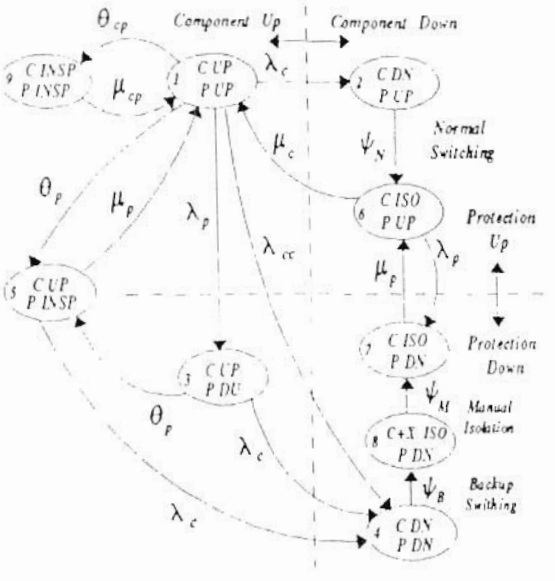
* حالت ۱ نشان دهنده حالت کارمعمولی می‌باشد. یعنی C,P درحالت UP می‌باشد.

* زمانی که عیبی در C رخ می‌دهد سیستم وارد حالت ۲ می‌شود. سیستم حفاظتی این عیب را تشخیص داده وسیستم C راازمدارخارج کرده ودرنتیجه سیستم وارد حالت ۶ می‌شود. این عملیات با شدت کلیدزنی معمولی انجام شده وسه الی شش سیکل (۵۰ - ۱۰۰ms) طول می‌کشد.

* درحالت $C,۶$ بازدید شده وتعمیرمی‌شود ودوباره بحالت ۱ برمی‌گردد که معمولاً" این کارچندین ساعت ویا چندین روز طول می‌کشد.

*اگر P قادربه تشخیص عیب نباشد سیستم ازحالت ۱ به حالت ۳ وارد می‌شود. دراین حالت اگر عیبی در C رخ دهد سیستم قادربه‌تشخیص آن نخواهدبود. که اصطلاحاً آن را $Unreadiness$ $Condition$[1] می‌نامند.

* زمانی که P را برای بازدید ازمدار خارج می‌کنیم، سیستم وارد حالت ۵ می‌شود. این حالت یک حالت $Unready$ است زیرا درصورتی که در C عیبی صورت بگیرد، آن رانمی‌توان تشخیص داد.



شکل ۲ : مدل مارکوف اصلاح شده برای اجزاء اصلی وحفاظتی

* درزمانی که سیستم C درحالت ۳ یا ۵ می‌باشد اگرعیبی رخ دهد این عیب تشخیص داده نمی‌شود. دراین حالت سیستم حفاظتی پشتیبان باید وارد عمل شده و C را ازمدار ایزوله بکند دراین مرحله سیستم وارد حالت ۴ می‌شود.

* باعملکرد سیستم حفاظتی پشتیبان قسمت معیوب به همراه یک قسمت دیگر ازکل شبکه (×) که دارای عیب نیست از مدار خارج می‌شوند وسیستم وارد حالت ۸ می‌شود. سرعت عملکرد سیستم پشتیبان به مراتب کمتر ازسیستم حفاظت اصلی است. بابازدید مرتب از سیستم × که فاقدعیب است دوباره به مدار بازگردانده می‌شود. که معمولاً باکلیدزنی دستی این کار انجام می‌شود وسیستم وارد مرحله ۷ می‌شود.

* باتعمیر P سیستم به حالت ۶ انتقال می‌یابد وسپس باتعمیر C سیستم بحالت ۱ وارد می‌شود و یا اینکه سیستم حفاظتی دوباره خراب شده وازحالت ۶ به حالت ۷ بازمی‌گردد. دراینجا نکته‌ای که باید به آن توجه کنیم این است که درمدل ماشدت تعمیر C,P یکسان نیست. چون برای تعمیر C بمراتب زمان بیشتری نسبت به تعمیر P صرف می‌شود.

* بعضی ازاجزاء سیستم مانند ترانسفورمرها، بهنگام تعمیروبازدید نیروگاهها ، ازمدار خارج می‌شوندو این زمان بهترین موقع بمنظور بازدید ازسیستم حفاظتی این اجزاء، می‌باشد. حالت ۹ نشان‌دهنده این وضعیت سیستم می‌باشد.

* ممکن است P,C بطور همزمان دچار عیب شوند. که این وضعیت نیز باشدت انتقال از حالت ۱ به ۴ نشان داده‌شده‌است.

AAI اینطور فرض کرده‌که بازدیداز C فقط عیبهای C راآشکار می‌سازد وبه عیبهای P ربطی ندارد. زیرا اولاً این دوقسمت بوسیله افراد جداگانه‌ای بازدید وتعمیر می‌شودو درتعمیر وبازدید هرکدام ازاین قسمتها وسایل خاصی بکارمی‌رود. ثانیاً اغلب بازدید از C شامل بازدیداز P نمی‌شود چون C درمحیط باز بوده درحالی که P درداخل یک محوطه بسته ودرداخل ساختمان می‌باشد. درعمل تعیین دقیق شدت انتقال (λ_p) بین حالات ۱ و ۳ مشکل می‌باشد. زیرا بودن درحالت ۳ بعد

ازبازدید P (انتقال از۳به ۵) ویابعد ازایجاد عیب در C (انتقال از۳ به ۴) مشخص می‌شود. درواقع تخمین دقیق λ_pمشکل می‌باشد. بعنوان یک مقدار حدی ، عکس λ_p رامی‌توان بعنوان می‌نیمم ، مقدار متوسط فاصله زمانی بین دوبازدید ویابین دو عیب درنظر گرفت.

محاسبه احتمالات:

احتمالات زیر براساس مدل *AAI* (شکل ۲) تعریف شده‌اند:

۱ - احتمال اینکه P,C درمدار نباشند.

$Abun = p4+p8$ *(Abnormal Unavailability)*

۲ - احتمال اینکه P درمدار و C خارج از مدارباشد.

$NorUn=p2 + p6$ *(Normal Unavailability)*

۳- احتمال اینکه C درمدار بوده و P خارج ازمدارباشد.

$Protun = p3+p5$ *(Protective System Unavailability)*

۴- احتمال اینکه P دردسترس نباشد درزمانی که باید دردسترس باشد.

$Unreadiness\ Prob=(p3+p5)/(P1+P3+P5)$ *(UnreadinessProbability)*

مـاتریس *Stochastic transitonal probablity* رابـرای بـدست آوردن احـتمالات بـالا تشکـیل داده وبااستفاده آن احتمالات $P1$تا$P8$ رابدست می‌آوریم.

$$P = \begin{bmatrix} 1-\Theta_p-\lambda_p-\lambda_c-\lambda_{cc} & \lambda_c & \lambda_p & \lambda_{cc} & \Theta_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1-\Psi_N & 0 & 0 & 0 & \Psi_N & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1-\Theta_p-\lambda_c & \lambda_c & \Theta_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1-\Psi_B & 0 & 0 & 0 & \Psi_B \\ \mu_p & 0 & 0 & \lambda_c & 1-\mu_p-\lambda_c & 0 & 0 & 0 \\ \mu_c & 0 & 0 & 0 & 0 & 1-\mu_c-\lambda_p & \lambda_p & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \mu_p & 1-\mu_{p_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \Psi_M & 1-\Psi_M \end{bmatrix}$$

بااستفاده از این روش تجزیه وتحلیل احتمالات تعریف شـده رامـی‌توان بـراسـاس شـدت انتقالهای معلوم سیستم بدست آورد. براساس مطالعاتی که انجام دادیم می‌توانیم این ادعا راداشته باشیم. که *Abun* یک شاخص مناسب برای نشان دادن تأثیر *Unready* بودن P برکل سیستم می‌باشد. این شاخص بهتر از *Unreadiness Prob*مـی‌باشد. زیـرا هـمانطوریکه مـی‌دانـیم *Unreadiness Prob*

همچنانکه λ_c افزایش می‌یابد، کاهش خواهد یافت این مسئله باعث می‌شود این کمیت شاخص ضعیفی برای بررسی نتایج باشد. *AbUn* اولا باافزایش λ_c افزایش می‌یابد و نقش پیش‌گیری کننده دارد. ثانیاً نمایش منطقی جالبی ازرفتار سیستم درپاسخ به تغییرات پارامترهای مختلف سیستم ارائه می‌دهد.

نتایج عددی :

برای نشان دادن نتایج محاسبه شده بااستفاده از *AAI* منحنی‌هایی را ارائه می‌کنیم که درآنها *AbUn* برحسب فاصله زمانی بین دوبازدید ازسیستم حفاظتی رسم شده‌است. که درهرکدام ازاین منحنی ها یکی از پارامترهای $\lambda_c\lambda_p\mu_p$ راتغییرداده وتأثیرآن رابرروی منحنی بررسی می‌کنیم. این منحنی ها درشکلهای ۳ الی ۵ نشان داده شده‌است. درشکل ۳ مشاهده می‌کنیم که یک فاصله زمانی اپتیمم برای بازدید اجزاء سیستم حفاظتی براساس شدت عیب اجزاء سیستم اصلی حاصل می‌شود. البته λ_c تنهاپارامترمورد بررسی نیست وهمچنانکه خواهیم دید قابلیت اطمینان اجزاء *P* نیز تأثیر زیادی در تعیین این فاصله زمانی دارد. شکل ۴ نیز نشان می‌دهد که اپتیمم فاصله زمانی بین دوبازدید همچنانکه μ_p افزایش می‌یابد (کاهش زمان لازم برای بازدید) کاهش خواهد یافت. این مسئله مبین این موضوع است که درآینده بااستفاده از سیستم‌های کامپیوتری درنگهداری سیستم‌های حفاظتی وکاهش زمان مربوط به بازدید این بازدیدها بطور پیوسته وبافاصله زمانی کم انجام خواهدشد. البته باکاهش زمان مربوط به بازدید *Unavailability* سیستم حفاظتی نیزکاهش می‌یابد. شکل ۵ نشان‌دهنده تغییرات *AbUn* به ازای مقادیر مختلف λ_p می‌باشد. باتوجه به این شکل متوجه می‌شویم که هرچه λ_p بیشترمیشود، فاصله زمانی بین بازدیدها نیز کمتر می‌شود و *Unavailability* مربوط به سیستم حفاظتی افزایش می‌یابد. شدت کلیدزنی معمولی براساس زمان لازم ۵ سیکل برای کلیدزنی می‌باشد. که ۲ سیکل آن برای تشخیص عیب و۳ سیکل نیز برای عملکرد *C* می‌باشد. زمان لازم برای کلیدزنی سیستم حفاظتی پشتیبان ۱۰ سیکل می‌باشدو زمان لازم برای کلیدزنی ۱۰ ساعت است که شامل زمان لازم برای ارسال پرسنل ، بازدید اجزاء سیستم وکلیدزنی دستی برای ایزوله کردن *C* می‌باشد. باداشتن شدت انتقالهای $\lambda_c\mu_c\lambda_p\mu_p,\Psi_N,\Psi_B,\Psi_M$ می‌توان اپتیمم فاصله زمانی بین دو بازدید رابراساس *AAI* تعیین کرد. همانطوریکه درشکل‌های ۳ الی ۵ دیده می‌شود اپتیمم فاصله زمانی متأثر λ_p & μ_p از بوده وسایر پارامترها اثرچندانی براین فاصله زمانی ندارد. بادرنظر گرفتن $\lambda_p=0.1/year,\mu_p=0.1/hour$ اپتیمم فاصله زمانی ۱۰۰۰ ساعت ویابعبارتی ۴۲ روز بدست می‌آید.

نتیجه

درحالت کلی باید بحثی درمورد قابلیت اطمینان شدت انتقالها بکار رفته در روش بالا صورت گیرد. معمولا" اجزاء سیستم حفاظتی دارای یک شدت خرابی مشخصی می‌باشند. اما این مقدار دارای یک تلرانس ویک حدبالا و پایین می‌باشد که بااستفاده از آنها می‌توان وضعیت سیستم حفاظتی را دربهترین و بدترین حالت بررسی کرد. ازطرفی می‌توان بررسی کردکه آیا هزینه‌افزایش قابلیت اطمینان سیستم که ناشی ازبکاربردن اجزاء باکیفیت بالا ودرنتیجه گرانقیمت می‌باشد توجیه پذیراست یانه. زمان لازم برای تعمیرات ازیک زمان طولانی تایک زمان بسیارکوتاه که ناشی از استفاده ازاجزاء دیجیتالی می‌باشد تغییرمی‌کند. همچنین زمان لازم برای کلیدزنی نیز ازیک زمان بسیار کوتاه بااستفاده از *CB* تایک زمان طولانی ناشی از کلیدزنی دستی تغییرمی‌کند. نهایتاً می‌توان ادعا کردکه *AAI* قابلیت قبول هرنوع شدت انتقالی رادارد منتهی مابابد شدت انتقالی راانتخاب کنیم که اهداف ماراپوشش دهد.

مراجع

1) *P.M Anderson ,S.K.Agarwal, "An Improved Model For Protective System Retliability",IEEE ,IEEE Trans. Reliability. Vol 41.No 3,1922 Septemler ,pp 422-426*

2) *P.M Anderson ," Reliability of protectiv systems ", IEEE Trans . Power Apparatus & System ,vol PAS-103,1984 Aug,pp 220-2214.*

3) *R.Billinton,R,N,Allan,"Reliability Evaluation of Engineering Systems".*

4) *R.Billinton ,R.n.Allan,"Reliability Evaluation of Power Systems".*

منحنی های *Abun* برحسب فاصله زمانی بین دوبازدید سیستم حفاظتی براساس تغییر پارامترهای مختلف سیستم:

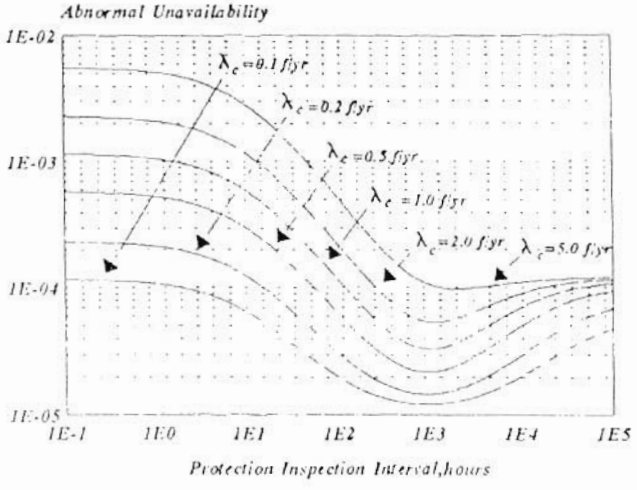
1) P.M Anderson,S.K.Agarwal," An Improved Model For Protective System Reliability",IEEE Trans.Reliability,vol 41,No 3,1922 September,pp 422-426

2) P.M Anderson," Reliability of protective systems",IEEE Trans. Power Apparatus & systems ,vol PAS-103,1984 Aug,pp 2207-2214.

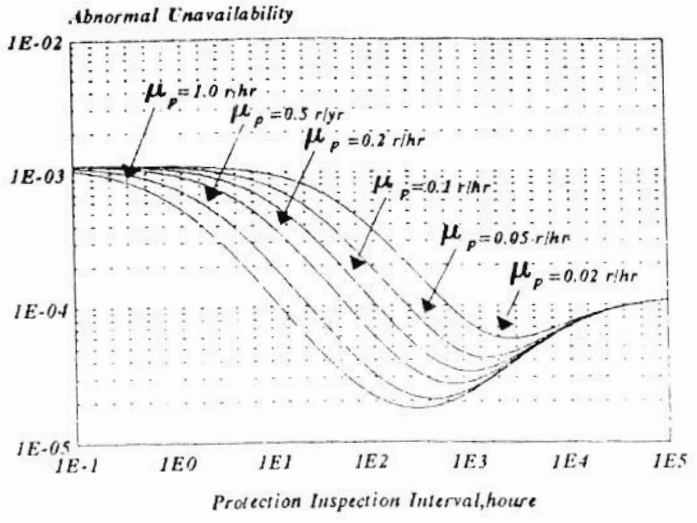
3) R.Billinton,R.N.Allan," Reliability Evaluation of Engineering Systems".

4) R.Billinton,R.N.Allan," Reliability Evaluation of Power Systems".

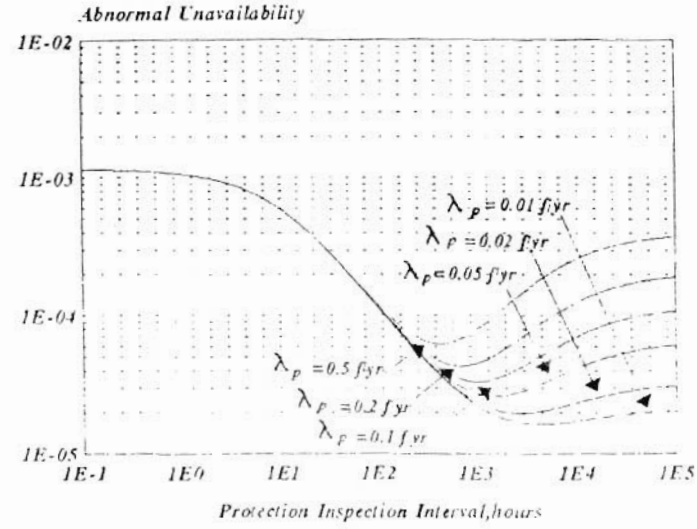
منحنی‌های AbUn بر حسب فاصله زمانی بین دو بازدید سیستم حفاظتی بر اساس تغییر پارامترهای مختلف سیستم:



شکل ۳: منحنی‌های AbUn بصورت یک تابع از فاصله زمانی بین دو بازدید بر حسب مقادیر مختلف شدت عیب سیستم اصلی C



شکل ۴ : منحنی‌های AbUn بصورت تک تابع از فاصله زمانی بین دو بازدید
بر حسب مقادیر مختلف شدت تعمیر سیستم حفاظتی P



شکل ۵ : منحنی‌های AbUn بصورت تک تابع از فاصله زمانی بین دو بازدید
بر حسب مقادیر مختلف شدت عیب سیستم حفاظتی P