Archive of SID

19th International Power System Conference
نوزدهمین کنفرانس بین المللی برق
PSC 2004
98-F-ACI-737

محاسبات دسترس پذیری سیستمهای اتوماسیون

علیرضا شیخی فینی
دانشگاه هرمزگان- گروه برق
شرکت مشانیر

مهدی طالشیان جلودار
دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلامشهر
شرکت مشانیر ایران

کلمات کلیدی: دسترس پذیری, قابلیت اطمینان, پست، سیستمهای اتوماسیون کنترل

چکیده

با پیشرفت صنعت IT و تکنولوژی دیجیتال، سیستمهای کنترلی پستها از حالت سنتی[1] به سمت سیستمهای اتوماسیون گسترده دیجیتالی پیش رفته است. جهت پیاده‌سازی سیستمهای کنترلی دیجیتال، طرحها و توپولوژیهای متفاوتی بسته به سطح ولتاژ پست و میزان اهمیت آن اجرا می گردد. یکی از ویژگیهای مهم هر سیستم قابلیت اطمینان یا دسترس پذیری آن می باشد. به دلیل اهمیت کنترل پست و برای اینکه مشخص شود برای ارسال فرمان به تجهیزات پست، به چه میزان می‌توان به سیستم کنترل اعتماد نمود، می‌بایست محاسبات قابلیت اطمینان انجام شود.

در این مقاله ابتدا قابلیت اطمینان توپولوژی ساده‌ای از ستاره بررسی شده است و سپس برای برخی از تجهیزات وضعیت مضاعف[2] در نظر گرفته شده است. پس از آن قابلیت اطمینان توپولوژی حلقه[3] بررسی و مقایسه شده است و در انتها قابلیت اطمینان سیستم اتوماسیون پست[4] (SAS) با سیستم سیستم بر مبنای RTU[5] مقایسه شده است.

۱- مقدمه

امروزه به دلیل پیشرفت در زمینه‌های دیجیتال و صنعت IT علاوه بر دیجیتالی شدن رله‌ها، سیستمهای کنترلی پستها از حالت سنتی به سمت سیستمهای گسترده کنترلی[6] (DCS) و یا به عبارتی به سمت سیستمهای کنترل اتوماتیک پیش رفته است. در ایران برای کنترل اغلب پستهای جدید در سطوح ولتاژی ۲۳۰ و ۴۰۰ کیلوولت از سیستم اتوماسیون پست استفاده می‌شود. سیستمهای کنترل دیجیتال از نظر فیزیکی دارای چهار سطح می‌باشد که عبارتست از سطح عملکرد[7]،

[1] Conventional
[2] Redundant

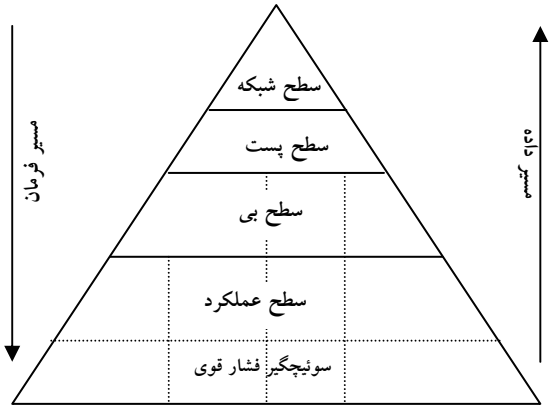
[3] Ring
[4] Substation Automation System (SAS)
[5] RTU-based
[6] Distributed Control System (DCS)
[7] Process Level

www.SID.ir

Archive of SID

سطح بی[1]، سطح پست[2] و سطح شبکه[3]. ترتیب قرار گرفتن این چهار سطح در شکل(۱) دیده می‌شود. عمل ارسال فرمان به تجهیزات را می‌توان از سطح بی، سطح پست یا از دور دست[4] (سطح شبکه) انجام داد.

سیستمهای کنترل دیجیتال ارائه شده توسط سازندگان مختلف و برای سطوح ولتاژ مختلف، متفاوت می‌باشد. این تفاوت، جنبه‌های گوناگونی دارد که یکی از آنها، تفاوت در توپولوژیهای سطوح مختلف است. از جمله عمده‌ترین توپولوژیها در سطح بی، توپولوژی حلقه، ارتباط Peer_to_Peer و توپولوژی ستاره می‌باشد.



شکل(۱): سطوح کنترلی در سیستم اتوماسیون پست

یکی از مشخصه‌های هر سیستم دسترس‌پذیری یا قابلیت اعتماد آن است. دسترس‌پذیری عموماً بر حسب یک تابع سنجیده می‌شود. بنابراین ابتدا بایستی مشخص گردد که سیستم باید نسبت به چه تابعی دسترس پذیر باشد. در این مقاله محاسبات مربوط به دسترس پذیری توابع کنترلی ارسالی از پست یا از دور دست برای برخی سیستمهای کنترلی متداول با ساختارهای متفاوت بررسی و مقایسه می‌شود. سیستم در صورتی دسترس‌پذیر فرض می‌شود که حداکثر یکی از بی‌ها چه از سطح پست و چه از راه دور قابل کنترل نباشد. در محاسبات از قالب دیاگرام دسترس پذیری استفاده می‌شود که در آن اجزایی که باید با هم استفاده شوند تا یک دستور شکل بگیرد، به صورت سری با هم قرار دارند و اجزای مضاعف به صورت موازی قرار می‌گیرند.

در این مقاله، محاسبات مدت زمان میانگین تا از کار افتادن (MTTF) و دسترس‌پذیری، بر اساس اطلاعات اولیه از جدول(۱) و طبق روابط زیر محاسبه شده است[۱]:

$$m = MTTF$$
$$r = MTTR$$
$$A = Availability = \frac{r}{m+r}$$
$$U = Unavailability = 1 - A$$

برای سیستم سری داریم:

$$m_s = \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} \frac{1}{m_i}} \quad , \quad U_s = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i r_i = \sum_{i=1}^{n} \frac{r_i}{m_i}$$

برای سیستم موازی نیز داریم:

$$m_p = \sum_{i=1}^{n} m_i \quad , \quad U_p \approx \frac{1}{m_1 m_2} r_1 r_2$$ (تقریبی، برای دو عنصر)

۲- محاسبات دسترس پذیری

۲-۱- اجزای سیستم ساده دارای توپولوژی ستاره

شکل(۲) ساختار ساده‌ای را از یک سیستم کنترل که شبکه سطح بی آن دارای ساختار ستاره می‌باشد، نشان می‌دهد. در این مثال ۱۸ بی، و برای هر بی یک واحد کنترلی بی[5] (BCU)، یک سرور در سطح پست و یک سرور NCC[6] که شامل توابع Gateway می‌باشد، در نظر گرفته شده است. سیستم به یک استار کوپلر[7] با ۲۰ خط نیاز دارد که به دلیل حساسیت کار آن دارای قابلیت اطمینان بالایی است و برای این منظور دارای دو کارت تغذیه می‌باشد[۲].

جدول(۱) میانگین زمان از کار افتادن[8] (MTTF) و نرخ خرابی[9] اجزای سیستم را نشان می‌دهد. MTTF مدت زمان احتمالی است تا وقتی که سیستم نیاز به تعمیر پیدا کند. MTTF با تعمیر، مدت زمان احتمالی تا بروز دومین خطا

[1] Bay Level
[2] Station LeveA
[3] Network Level
[4] Remote

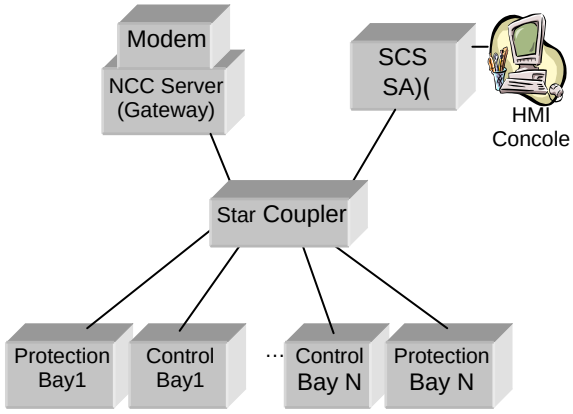
[5] Bay Control Unit
[6] Network Control System
[7] Star Coupler
[8] Mean Time To Failure
[9] Failure Rate

www.SID.ir

Archive of SID

است به گونه‌ای که اولین خطا برطرف نشده باشد. در این حالت حتی اگر اجزای معیوب سریعاً تعمیر گردند، باز هم سیستم دسترس‌ناپذیر فرض می‌شود. در محاسبات ارائه شده، مدت زمان مورد نیاز برای تعمیر[1] هر یک از تجهیزات (MTTR)، برابر ۸ ساعت فرض می‌شود.

همچنان که در این جدول مشاهده می‌گردد اجزای سیستم همانند رله‌های موجود، دارای قابلیت اطمینان بالایی هستند[۳].



شکل(۲) ساختار ساده‌ای از یک سیستم کنترل که شبکه سطح بی آن دارای ساختار ستاره می‌باشد

جدول(۱) : MTTF اجزای سیستم

نام تجهیز	MTTF (hr)	Failure rate (/hr)
منبع تغذیه استار کوپلر	۱۵۰۰۰۰۰	۶/۶۶۶۶۶۷E-۷
اتصالات نوری	۱۱۷۵۰۰۰۰	۸/۵۱۰۶۳۸۳۰E-۸
سرور NCC	۲۵۱۰۰۰	۳/۹۸۴۰۶۳۷۵E-۶
سرور پست	۲۵۱۰۰۰	۳/۹۸۴۰۶۳۷۵E-۶
کنسول HMI	۸۷۶۰۰	۱/۱۴۱۵۵۲۵۱E-۵
BCU	۸۵۰۰۰۰	۱/۱۷۶۴۷۰۵۹E-۶
مودم NCC	۱۰۰۰۰۰	۱/۰E-۵
سوئیچ اترنت صنعتی	۴۳۸۰۰۰	۲/۲E-۶

در ادامه دیاگرام دسترس پذیری ابتدا برای تک تک قسمتها از جمله سیستم باس، قسمت ارتباط با NCC، قسمت HMI، قسمت بی و سپس برای کل سیستم محاسبه شده است.

[1] Mean Time To Repaire

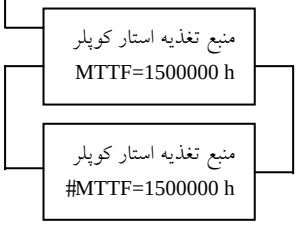
۲-۱-۱- دسترس پذیری سیستم باس

سیستم باس شامل استارکوپلر به همراه منبع تغذیه مضاعف می‌باشد. فیبرهای نوری به همراه دو مبدل نوری دوسر آن که به صورت سری با هم قرار دارند به عنوان «اتصال نوری» در جدول آورده شده است. بقیه قسمتهای استارکوپلر غیر غعال (پسیو) می‌باشد و در محاسبات از آن صرفنظر شده است.

جدول (۲) دسترس پذیری محاسبه شده را برای استارکوپلر که جزء حیاتی سیستم می باشد، با دو منبع تغذیه نشان می‌دهد.

جدول(۲) دسترس پذیری استارکوپلر

System Bus
MTTF:342.4657534 y MTTR=8 h
MTTF with repair=321065.1261 y
Availability with repair=99.99999999%
without repair=99.99973333%



از این جدول می‌توان دریافت که MTTF منتیجه سیستم بدون اینکه یکی از منابع در صورت خراب شدن تعمیر گردد، برابر ۳۴۲ سال است (بدون در نظر گرفتن هیچگونه تعمیری حتی در صورت خراب شدن هر دو منبع تغذیه). اگر تعمیر در یک مدت زمان MTTR برابر ۸ ساعت امکان پذیر باشد، زمان MTTF با تعمیر به ۳۲۱۰۶۵ سال افزایش می‌یابد. در این حالت، دسترس پذیری با تعمیر برابر ٪۹۹/۹۹۹۹۹۹۹۹ خواهد بود. اگر تعمیر در حالتی انجام شود که سیستم از کار بیفتد، یعنی وقتی که هر دو منبع تغذیه از کار افتاد، دسترس پذیری بدون تعمیر برابر ٪۹۹/۹۹۹۷ خواهد شد و MTTF برابر ۶۴۲ سال می‌شود.

۲-۱-۲- دسترس پذیری قسمت ارتباط با NCC

جدول (۳) دسترس پذیری سرور NCC را که از طریق فیبرنوری (شامل فیبرنوری و دو مبدل آن که در اینجا دسترس پذیری فیبرنوری ٪۱۰۰ در نظر گرفته شده است) به

www.SID.ir

Archive of SID

استارکوپلر متصل می‌شود، نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که MTTF با تعمیر ۸ سال و دسترس پذیری ٪۹۹/۹۸۸۷ است. در حالتی که فیبر نوری قابل خراب شدن باشد باید آنرا در محاسبات در نظر گرفت .

جدول(۳) دسترس پذیری سرور مرکز کنترل شبکه (NCC)

NCCGateway single
MTTF:8.113858180 y MTTR=8 h
MTTF with repair=8.113668881 y
with repair=99.98874566% Availability
without repair=99.98874593%

اتصالات نوری	سرور NCC	مودم NCC
#MTTF=11750000 h	#MTTF=251000 h	#MTTF=100000 h

۲-۱-۳- دسترس پذیری قسمت HMI

جدول(۴) دسترس پذیری قسمت رابط کاربر_ماشین[1] (HMI) را نشان می‌دهد. HMI شامل سرور پست و کنسول HMI است که مانند سرور NCC به استارکوپلر متصل می‌باشد. مشاهده می‌شود MTTF با تعمیر ۷ سال و دسترس پذیری آن ٪۹۹/۹۸۷ شده است.

جدول(۴) دسترس پذیری HMI

HMI part single
MTTF:7.372134185 y MTTR=8 h
MTTF with repair=7.371955975 y
Availability with repair=99.98761347%
without repair=99.98761347%##

اتصالات نوری	سرور SCS	کنسول HMI
#MTTF=11750000 h	#MTTF=251000 h	MTTF=87600 h

۲-۱-۴- دسترس پذیری قسمت BCU

جدول(۵) دسترس پذیری BCU ها را که به وسیله فیبرنوری به استارکوپلر متصل‌اند، نشان می‌دهد.

MTTF با تعمیر این مجموعه، ۹۰ سال و دسترس‌پذیری آن ٪۹۹/۹۹۸۹۹ محاسبه شده است.

جدول(۵) دسترس پذیری BCU

اتصالات نوری+BCU
MTTF: 90.48615641 y MTTR=8 h
MTTF with repair=90.48609895 y
Availability with repair=99.99899074%
without repair=99.99899074%

#BCU	اتصالات نوری
#MTTF=850000 h	#MTTF=11750000 h

۲-۲-محاسبات دسترس پذیری سیستم ستاره ساده

با توجه به دسترس پذیری‌های محاسبه شده در جدول(۲) تا جدول(۵)، دسترس پذیری برای یک سیستم کوچک که در آن توابع NCC gateway در داخل سرور پست دیده شده است به صورت جدول(۶) محاسبه‌شده‌است. فرض شده است کنترل از NCC حتی بدون کنسول HMI قابل انجام می‌باشد و سرور پست بدون مودم می‌تواند به NCC وصل شود.

در محاسبات زیر برای کنترل کننده‌های بی، فرض بر این است که چنانچه بیش از یکی از آنها از کار نیفتد، سیستم دسترس پذیر می‌باشد. بنابراین سیستم هنگامی در دسترس می‌باشد که تعداد (n-1) عدد (۱۷ عدد در این مثال) BCU از n عدد BCU در حالت کارکرد صحیح باشد.

جدول(۶) قابلیت اطمینان یک سیستم SA کوچک

سیستم ساده
MTTF:7.320463234 y MTTR=8 h
MTTF with repair=8.112543568 y
Availability with repair=99.98874410%
without repair=99.98752636%

اتصالات نوری+BCU	Bus system	NCC gateway
#MTTF=839285 h #(n-1) of n : 18	#MTTF=3000000 h	#single #MTTF=71077 h

از محاسبات فوق دو MTTF بدست آمد. اولی مدت زمان ۷ سال هنگامی که سیستم بدون تعمیر اجزا کار می‌کرد. دومی برابر ۸ سال با در نظر گرفتن تعمیر، با این فرض که در صورت وقوع عیب در هر یک از اجزا، زمان MTTR آن برابر ۸ ساعت باشد. MTTF دومی بزرگتر است زیرا احتمال اینکه سیستم طی تعمیر عنصر مضاعف، مثلاً در طی تعویض مبنع تغذیه استار کوپلر یا یک BCU، دسترس پذیر بماند

[1] Human Machine Interface

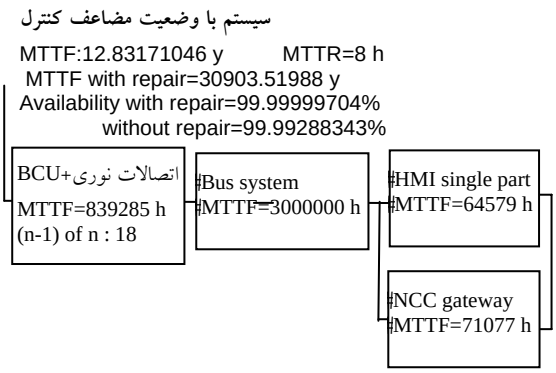
www.SID.ir

Archive of SID

خیلی بیشتر است. برای سیستم بالادست، بحرانی‌ترین عنصر، NCC gateway می‌باشد.

اگر سرورهای NCC و HMI سطح پست مانند شکل(۲) جدا باشد این موضوع از جهت تابع کنترلی، به عنوان مضاعف در نظر گرفته می‌شود که محاسبات دسترس پذیری آن در جدول(۷) آمده است. مشاهده می‌شود MTTF با تعمیر ۳۰۹۰۳ سال، و دسترس پذیری ٪۹۹/۹۹۹۹۹۷۰۴ است.

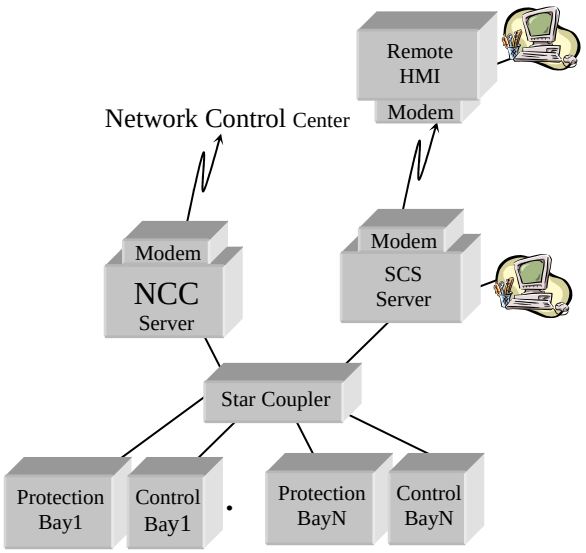
جدول(۷): دسترس پذیری با در نظر گرفتن سرور متفاوت برای HMI و NCC gateway



همان گونه که ملاحظه می‌شود، دسترس پذیری در صورت تعمیر به شدت افزایش می‌یابد (۳۰۹۰۳ سال در مقایسه با ۱۲/۸ سال).

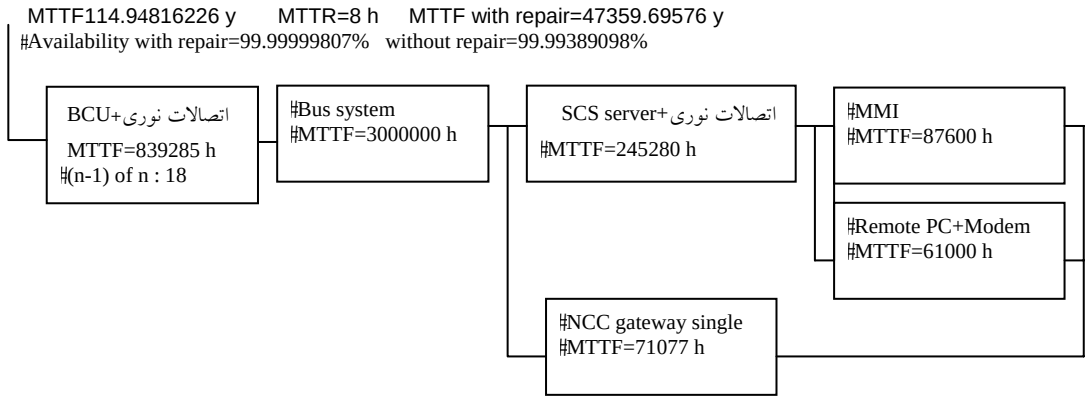
جهت حصول به یک سیستم مضاعف برای کنترل دور دست، یک HMI مضاعف در سطح کنترل شبکه نصب شده است که در شکل(۳) نشان داده شده است.

فرض می‌شود که HMI سطح شبکه نیز PC باشد و MTTF آن از سری شدن سرور SCS و HMI و دو مودم بدست آید. نتایج محاسبات دسترس پذیری این مجموعه در جدول(۸) آمده است که در آن، MTTF با تعمیر ۴۷۳۵۹ سال و دسترس پذیری ٪۹۹/۹۹۹۸۰۷ است.



شکل(۳) سیستم اتوماسیون پست با واحد مضاعف HMI دور دست در NCC

جدول(۸) دسترس پذیری با HMI مضاعف در سطح شبکه



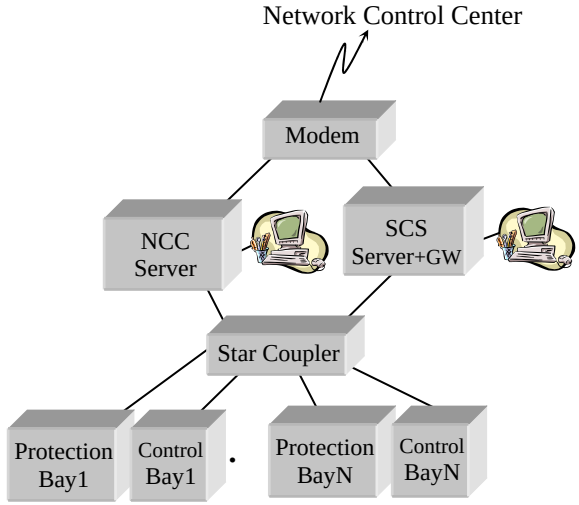
همان گونه که ملاحظه می شود با وجود فراهم کردن کنترل مضاعف دور دست، دسترس پذیری آن فقط اندکی تغییر نموده است. زیرا فقط برای HMI سطح پست که بخش کوچکی از سیستم به لحاظ تاثیرگذاری بر قابلیت اطمینان می‌باشد، مضاعف سازی صورت گرفته است.

محاسبات جدول(۹) برای سیستمی انجام شده است که سرور NCC و سرور پست روی دو کامپیوتر مشابه قرار دارند (شکل(۳)). یک سوییچ و مودم سریال در هر سرور به

www.SID.ir

Archive of SID

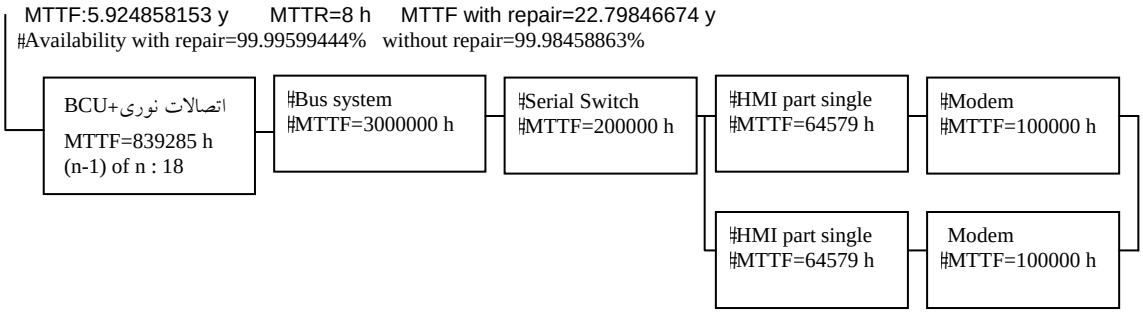
کار رفته است و NCC می‌تواند به کمک یک مودم و سوییچ سری‌وازطریق‌هریک‌از دو PC روی پست کنترل داشته باشد.



شکل(۳) – سیستم اتوماسیون پست با NCC GW و HMI مضاعف

نتایج دسترس پذیری بدین صورت است که MTTF با تعمیر ۲۳ سال و دسترس پذیری آن ٪۹۹/۹۹۵۹۹۴۴۴ می‌باشد. به سبب وجود سوییچ سری با MTTF نسبتا پایین، دسترس پذیری کلی کنترل از NCC در مقایسه با حالت قبلی HMI در سطح شبکه بسیار کمتر شده است.در عوض این طرح فقط به یک خط ارتباطی نیاز دارد. این بررسی اهمیت تجهیزات مشترک را در سیستم ارتباط مضاعف نشان می دهد. استفاده از یک سوییچ دارای قابلیت اطمینان بالاتر یا یک خط ارتباطی دیگر برای اجتناب از سوییچینگ، می‌تواند کمک موثری و برای دستیابی به میزان دسترس پذیری بالاتر باشد.

جدول(۹) دسترس پذیری برای سطح شبکه از طریق مودم و سوییچ سری با مجموعه سرور NCC موازی با سرور SCS



در صورتی که قسمت HMI (صفحه نمایش، صفحه کلید و غیره) یا مودم ها قابل سوییچ بین دو جزء باشند، فقط اندکی دسترس پذیری بیشتر می‌شود. سوییچینگ اتوماتیک به سبب اجزاء مشترک دسترس پذیری را کمتر می‌کند.

۲-۳- دسترس‌پذیری‌سیستم برای تجهیزات ارتباطی سطح پست که براساس اترنت کار می‌کنند

برای محاسبه دسترس پذیری سیستم برای تجهیزات سطح پست که براساس اترنت کار می‌کنند فرض می شود که BCUها و سخت افزار سطح پست دارای MTTF یکسان باشند. قابلیت اطمینان تجهیزات اترنت تجاری تقریباً پایین است. همچنین مسیریابها[1] و سوییچ‌های دارای MTTF بین ۵ تا ۲۰ سال می‌باشند[۶-۴].

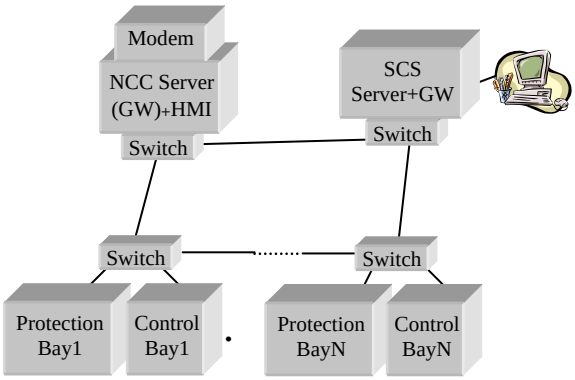
اخیراً سوییچ‌های صنعتی برای حلقه‌های دوتایی اترنت با MTTF حدود ۵۰ سال به بازار ارائه شده است. در ادامه نتایج محاسبات یک حلقه دوتایی اترنت (شکل(۵)) که در هر نقطه اتصال تجهیزات کنترلی آن یک سوییچ نصب شده است ارائه می‌گردد. تمام این سوییچ‌ها توسط فیبر نوری به حلقه متصل شده‌اند. در اینجا هم دسترس پذیری فیبر نوری ٪۱۰۰ در نظر گرفته شده است. از دید مدلسازی دسترس پذیری، این سیستم مشابه آرایش یک از n مربوط به BCUها، به اضافه سوئیچ در لایه پایینی و PC به همراه سوییچ در سطح

[1] Router

www.SID.ir

Archive of SID

پست می باشد. از IEDهای حفاظتی در توابع کنترلی چشم پوشی شده است. لذا با این آرایش، سیستم وقتی از کار می افتد که دو تا از سوئیچ‌ها خراب شوند (حالت یک از n بی).



شکل(۵) ساختار حلقه ای اترنت

با این تجهیزات، از محاسبات دسترس پذیری ساختار شکل(۵) برای سطح شبکه و سطح BCU و نهایتاً برای کل مجوعه، بدین صورت حاصل می‌شود:

MTTF با تعمیر، ۷۳۷۹ سال و دسترس پذیری ۹۹/۹۹۹۸۷٪ می‌شود.

نتیجه واضح است. MTTF با تعمیر سیستم درای ساختار ستاره ساده از ۳۰۹۰۳ سال به ۷۳۷۹ سال در سیستم دارای ساختار حلقه‌ای اترنت کاهش یافت. این کاهش ۷۶ درصدی، تاثیر زیاد قابلیت اطمینان کانالهای ارتباطی را روی دسترس پذیری سیستم نشان می‌دهد. با این وجود، دسترس پذیری کلی در این حالت برای خیلی از کاربردها کافی است.

جدول(۱۰) دسترس‌پذیری‌تجهیزات سطح‌پست‌اترنتی ازتوپولوژی‌حلقه

الف) دسترس‌پذیری قسمت NCC

NCC gateway
MTTF:7.017524239 y MTTR=8 h
MTTF with repair=7.017276565 y
Availability with repair=99.98698749% ###
#########without repair=99.98698795%#

#Switch MTTF=438000 h	NCC سرور MTTF=251000 h	#NCC Modem MTTF=100000 #h

ب) دسترس‌پذیری قسمت BCU

BCU+Switch
MTTF:32.99689440 y MTTR=8 h
MTTF with repair=32.99668946 y
Availability with repair=99.99723239%
without repair=99.99723241%#

#BCU #MTTF=850000 h	#Switch #MTTF=438000 h

جدول (۱۱) دسترس پذیری یک سیستم کامل با توپولوژی حلقه

MTTF:10.85641651 y MTTR=8 h MTTF with repair=7379.092508 y
Availability with repair=99.99998762% without repair=99.99158870%#

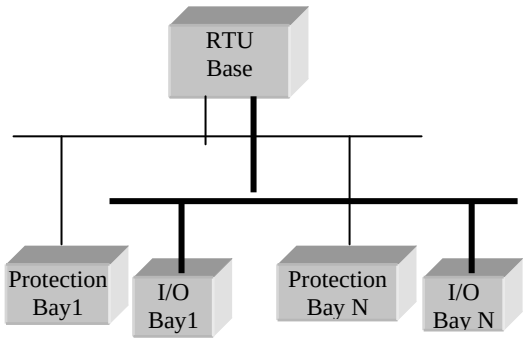
BCU+ Switch# MTTF=306055 h# (n-1) of n : 18#	SCS server+Switch# MTTF=157680 h#	MMI# MTTF=87600 h#
		Remote PC+Modem# MTTF=61000 h#
	E_NCC gateway # MTTF=61473 h#	

www.SID.ir

Archive of SID

۲-۴- دسترس‌پذیری‌سیستم‌باRTUهای توزیع شده

یک سیستم کنترل براساس RTU[1] می‌تواند متمرکز یا گسترده باشد. RTU گسترده سیستمی است با یک نقطه مرکزی که ارتباط مرکز کنترل سطح شبکه را با پست و ارتباط HMI سطح پست با واحدهای ورودی/ خروجی گسترده را برقرار می‌کند (شکل(۶))



شکل(۶): نمایش سیستم بر مبنای RTU

برای داشتن سیستمی معادل سیستم اتوماسیون گسترده فوق، RTUها را توزیع شده در نظر می‌گیرند تا در هزینه کابل‌کشی صرفه جویی شود. در این گونه سیستمها، واحد مرکزی، ارتباط با NCC را از طریق مودم انجام می‌دهد و ارتباط با HMI محلی را از طریق واسطه (اینترفیس) سریال یا اترنت برقرار می‌کند.

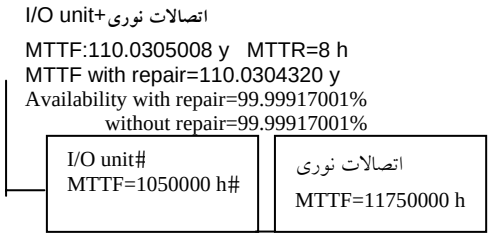
منطق کنترل در واحد مرکزی قرار دارد. سرعت پاسخ این منطق بیش از ۱۰۰ms نمی‌باشد و واحدهای ورودی/خروجی گسترده همانند تجهیزات حفاظتی بی، یا به صورت point-to-point یا از طریق استارکوپلر به RTU متصل می‌باشند. پیشتر ۱۸ BCU برای ۱۸ بی در نظر گرفتیم که در این ساختار، ۱۸ واحد ورودی/خروجی و وسیله حفاظت گسترده جایگزین آن می‌شود[۷].

به جهت نیاز به سرعت پردازش بالاتر در قسمت مرکزی، پردازنده این قسمت قوی‌تر از قسمت واحد بی بوده و MTTF آن ٪۲۵ کمتر از مقدار متناظر واحد بی می‌باشد. برای واحدهای ورودی/خروجی گسترده، به لحاظ دارا بودن ساختار ساده‌تر، MTTF آنها را ٪۲۵ بیشتر در نظر می‌گیریم. همچنین برای واحدهای I/O گسترده، ارتباط را به صورت نقطه به نقطه (point-to-point) در نظر می‌گیریم. این ارتباط برای بیش از ۲۰ واحد معمول نیست اما اگر یک استارکوپلر یا سوئیچ مرکزی دیگر اضافه شود، قابلیت اطمینان بیشتر می‌گردد.

با این مفروضات، از محاسبات دسترس پذیری برای واحدهای گسترده با اتصال نوری، مطابق جدول(۱۲) نتایجی بدین صورت به دست می‌آید:

MTTF با تعمیر ۱۱۰ سال و دسترس پذیری آن ٪۹۹/۹۹۹ می‌باشد.

جدول(۱۲) دسترس‌پذیری‌برای‌واحدهای I/O در سیستم RTU گسترده



با قرار دادن نتایج حاصل جدول(۱۲) در محاسبات دسترس‌پذیری سیستم RTU با کنترل مضاعف از NCC و HMI محلی،مطابق جدول(۱۳)، نتایج زیر حاصل شده است:

MTTF با تعمیر ۷۴ سال و دسترس پذیری ٪۹۹/۹۸۷۶ می‌باشد.

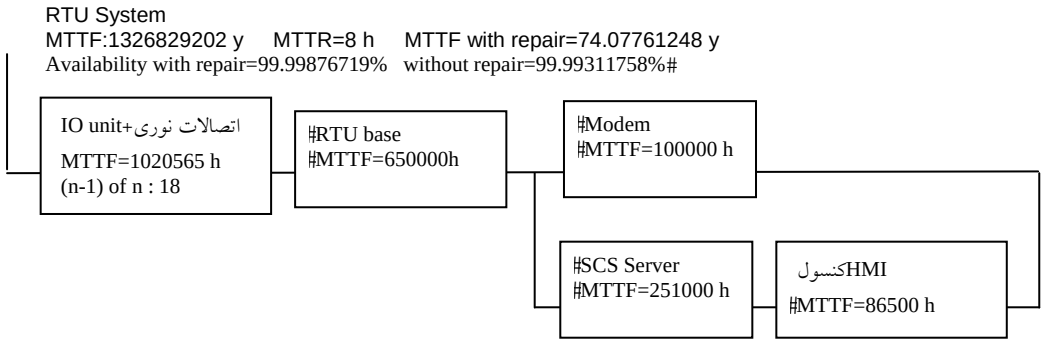
اگر سیستم بر مبنای RTU را با سیستم SA که دارای اجزای مضاعف است مقایسه کنیم، می‌بینیم که MTTF سیستم بر مبنای RTU بدون تعمیر کمی بهتر است (۱۳ سال به جای ۱۲ سال از جدول(۷))، اما MTTF با تعمیر خیلی کمتر است (۷۴ سال به جای ۳۰۹۰۳ سال). زیرا در سیستم بر مبنای RTU، از کار افتادن سیستم به خرابی یک عنصر (RTU) بستگی دارد در حالیکه در سیستم SA به دلیل مضاعف سازی استار کوپلر، MTTF سیستم با در نظر گرفتن تعمیر افزایش می‌یابد.

[1] RTU Based

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۱۳) دسترس پذیری برای کنترل مضاعف از NCC و HMI محلی



باید این نکته را هم در نظر بگیریم که سیستم SA یک حفاظت پشتیبان و یک سنکروچک در داخل هر بی دارد که هیچ‌کدام از این دو در محاسبه دسترس پذیری سیستم RTU در نظر گرفته نشده است.

برای مقایسه ساختارها چگونگی عملکرد سنکروچک در سیستم RTU گسترده در نظر گرفته نشده است. اغلب یک سیستم سنکروچک مرکزی در نظر گرفته می‌شود که برای هر کلیدی که می‌خواهد بسته شود به کار می‌رود. این سنکروچک یک نقطه خطا را ایجاد می‌کند در حالی که در سیستم SA گسترده، سنکروچک برای هر BCU و واحد حفاظتی وجود دارد لذا تاثیر آن در کاهش قابلیت اطمینان بسیار کمتر می‌شود.

در صورتی که کنترل یک بی با از دست رفتن حفاظت، غیر فعال شود، حفاظت می‌تواند روی قابلیت اطمینان کنترل کلیه ساختارها اثر بگذارد. این مورد در هیچ یک از ساختارها در نظر گرفته نشده است زیرا اثر آن در تمام موارد یکسان است.

۳- مقایسه قابلیت اطمینان سیستمهای تشریح شده

در قسمت بررسی سیستمهای دارای توپولوژی ستاره، سیستمهای مختلف در وضعیت ساده کنترلی و وضعیت مضاعف کنترلی بررسی شده است. در سیستم ستاره ساده که فقط یک کنترل از طریق Gateway و توسط مرکز کنترل شبکه وجود داشته باشد، MTTF در حالت بدون تعمیر برابر ۷ سال و با در نظر گرفتن تعمیر برابر ۸ سال می‌باشد.

در سیستم ستاره که دارای یک سرور برای کنترل از طریق مرکز کنترل شبکه و یک سرور در سیستم ستاره که برای کنترل از طریق پست (HMI) می‌باشد، MTTF سیستم در حالت بدون تعمیر، ۱۲ سال و با در نظر گرفتن تعمیر برابر ۳۰۹۰۳ سال می‌باشد که این افزایش و بهبود در MTTF سیستم به دلیل ایجاد وضعیت مضاعف کنترلی می‌باشد.

در حالت سوم، سیستم ستاره علاوه بر تجهیزات فوق، از یک HMI دور دست جهت کنترل استفاده شده است. در این حالت MTTF سیستم بدون تعمیر، حدود ۱۵ سال و با در نظر گرفتن تعمیر ۴۷۳۵۹ سال می‌باشد که این افزایش، همانگونه که توضیح داده شد، به دلیل لحاظ کردن وضعیت مضاعف می‌باشد.

حالت چهارم سیستم ستاره مربوط به حالتی است که سرور NCC و سرور SA یکسان ولی جدا از هم می‌باشد. در این سیستم، NCC می‌تواند از طریق یک مودم و سوییچ سری، فقط با یکی از دو سرور فوق ارتباط برقرار نماید. MTTF این سیستم بدون تعمیر، کمتر از ۶ سال و با تعمیر، ۲۲ سال می‌باشد. علت این کاهش، نسبت به حالتهای قبل، وجود سوییچ سری و یکسان بودن سرور NCC با سرور HMI می‌باشد.

در ادامه، سیستم با ساختار حلقه مورد بررسی قرار گرفته است که MTTF آن در حالت بدون تعمیر، ۱۰ سال و با تعمیر برابر ۷۳۷۹ سال می‌باشد، که علت کاهش MTTF سیستم فوق نسبت به سیستم مشابه با ساختار ستاره، وجود سوییچ برای ارتباط هر یک از تجهیزات با شبکه می‌باشد.

www.SID.ir

Archive of SID

در انتها، سیستم بر مبنای RTU مورد بررسی قرار گرفته است که MTTF آن بدون تعمیر، ۱۳ سال و با تعمیر، ۷۴ سال شده است. لذا در مقایسه با سیستم SAS، MTTF بدون تعمیر آن بسیار پایین‌تر می‌باشد و علت این امر وجود عنصر مشترک کنترلی بدون مضاعف سازی می‌باشد.

جهت مقایسه راحتتر، ویژگیها و قابلیت اطمینان سیستمهای مختلف بررسی شده در این مقاله به طور خلاصه در جدول(۱۴) ارائه شده است.

جدول(۱۴): مقایسه قابلیت اطمینان ساختارهای مختلف

	ساختار	MTTF بدون تعمیر (سال)	MTTF با تعمیر (سال)	دسترس‌پذیری بدون تعمیر	دسترس‌پذیری با تعمیر	ویژگیها
۱	ساختار ستاره ساده	۷	۸	۹۹/۹۸۷۵۲۶۳۶	۹۹/۹۸۸۷۴۴۱۰	
۲	ساختار ستاره با یک HMI و سرور Gateway جداگانه	۱۲	۳۰۹۰۳	۹۹/۹۹۲۸۸۳۴۳	۹۹/۹۹۹۹۹۷۰۴	ایجاد وضعیت مضاعف کنترلی
۳	حالت دوم به علاوه HMI در دور دست	۱۴/۹۵	۴۷۳۵۹/۷	۹۹/۹۹۳۸۹۰۹۸	۹۹/۹۹۹۹۸۰۷	افزایش وضعیت مضاعف با اضافه کردن HMI دوردست
۴	سرور NCC و سرور SA یکسان ولی جدا از هم دارای یک سوییچ سری برای ارتباط با شبکه	۵/۹۲	۲۲/۸	۹۹/۹۸۴۵۸۸۶۳	۹۹/۹۹۵۹۹۴۴۴	کاهش MTTF به دلیل وجود سوییچ سری و یکسان بودن سرور NCC با سرور HMI
۵	ساختار حلقه	۱۰/۸۵	۷۳۷۹	۹۹/۹۹۱۵۸۸۷۰	۹۹/۹۹۹۹۸۷۶۲	وجود سوییچ با MTTF پایین که برای ارتباط هر یک از تجهیزات با شبکه سطح بی مورد نیاز است
۶	سیستم بر مبنای RTU	۱۳/۲۶	۷۴/۰۸	۹۹/۹۹۳۱۱۷۵۸	۹۹/۹۹۸۷۶۷۱۹	کاهش MTTF در حالت در نظر گرفتن تعمیرات نسبت به SAS به علت وجود عنصر مشترک کنترلی (RTU) بدون وجود داشتن وضعیت مضاعف در آن

۴- نتیجه‌گیری

امروزه برای کنترل پست های برق از سیستمهای کنترل اتوماسیون استفاده می‌کنند. این سیستمها دارای تجهیزاتی در سطح بی و سطح پست می‌باشد. جهت انتخاب یک سیستم کنترل پارامترهای متعددی مد نظر قرار می گیرد از آن جمله، قیمت، قابلیت اطمینان (دسترس پذیری سیستم)، ارائه خدمات تعمیر و نگهداری و پشتیبانی از طرف سازنده و ... می‌باشد. در این مقاله قابلیت اطمینان سیستمهای کنترل مختلف براساس توپولوژی و همچنین تعداد تجهیزات مضاعف در دو حالت با و بدون تعمیر مورد بررسی قرار گرفته و نتایج زیر بدست آمده است:

در ساختار ستاره به ترتیب از حالت ساده با اضافه شدن وضعیت مضاعف کنترلی در حالت بدون در نظر گرفتن تعمیر از ۷ سال به ۱۲ و ۱۵ سال افزایش یافته است و در حالت وجود تعمیر از ۸ سال به ۳۰۹۰۳ و ۴۷۳۵۹ سال افزایش یافته است که همانگونه که ملاحظه می‌شود در حالتی که تعمیرات در نظر گرفته می‌شود MTTF سیستم با وجود وضعیت مضاعف کنترلی به شدت افزایش می‌یابد، که اهمیت نقش تعمیرات را در کنار وضعیت کنترلی مضاعف نشان می‌دهد.

همچنین سیستم با ساختار حلقه نسبت به سیستم با ساختار ستاره که از نظر تجهیزات کنترلی مشابه باشند، به دلیل داشتن

www.SID.ir

Archive of SID

سوئیچ سری در مسیر ارتباطی شبکه، دارای قابلیت اطمینان کمتری می‌باشد

در انتها سیستم SA با سیستم بر مبنای RTU با هم مقایسه شده است که قابلیت اطمینان سیستم بر مبنای RTU به دلیل عدم مضاعف سازی و مختل شدن عملکرد سیستم بر اثر بروز خطا در بخش مشترک سیستم در حالت بدون در نظر گرفتن تعمیر، پایین‌تر می‌باشد.

۵- مراجع

1- “Reliability Evaluation of Engineering Systems”, Roy Billinton, Ronald N. Allen, 1992.
2- “Industrial IT for Substation Automation Systems SAS530/ SAS550”, ABB Technical Manual.
3- Gray W. Scheer, David J. Dolezilek, “Comparing the Reliability of Ethernet Network Topologies in Substation Control and Monitoring Networks”,
4- Gray W. Scheer, “Comparison of Fiber-Optic Star and Ring Topologies for Electric Power Substation Communications”,
5- G.W.Scheer, D.J.Dolezilek.” Comparing the reliability of Ethernet Network Topologies in Substation Control and Monitoring Networks”, Schweitzer Engineering Laboratories Inc (SEL), Western Power Delivery Automation Conference 2000, Spokane, Washington), 2000.
6- T.Skeie, S.Johannesses, C.Brunner. ”Ethernet in Substation Automation”, IEEE Control System Magazine, 22(3):43-51, June 2002.
7- CIGRE-Technical Report Ref.No.180. “Communication requirements in terms of data flow within substation”, CE/SC3403, 2001

www.SID.ir