

SIEMENS

Ingenuity for life



Netzwerktopologien für kleine Prozessbus- und verteilte Sammelschienenschutzsysteme

SIPROTEC 5 Applikation

Spezielle Netzwerktopologie für kleine Prozessbus- und verteilten Sammelschienenschutz

SIPROTEC 5 Applikation

Kommunikationsnetzwerktopologie für kleine Prozessbus- und verteilte Sammelschienenschutzanwendungen

APN-073, Edition 1

Inhalt

1	Spezielle Netzwerktopologie für kleine Prozessbus- und verteilte Sammelschienenschutzanwendungen.....	3
1.1	Einführung	3
1.2	Grundlegendes Kommunikations- und Synchronisationskonzept	3
1.3	Vereinfachte Lösung für kleine Prozessbus- und verteilten Sammelschienenschutzanwendungen	5
1.4	Regeln und Vorschriften dieser speziellen Kommunikationslösung	6
1.5	Konfigurationsbeispiele RSG2488	7
1.6	Zusammenfassung	7
1.7	Glossar	8
1.8	Abkürzungen.....	8
1.9	Referenzen zu Standards.....	9

1 Spezielle Netzwerktopologie für kleine Prozessbus- und verteilte Sammelschienenschutzanwendungen

1.1 Einführung

Diese Anwendung beschreibt eine spezielle Kommunikationsnetzwerklösung für kleine Prozessbus- und verteilte Sammelschienenschutzanwendungen. "Klein" bedeutet im Rahmen dieser Lösung, dass eine begrenzte Anzahl von IEDs (Prozessbus-Clients und Merging Units) verwendet wird, die alle mit einem einzigen Paar spezifischer Ethernet-Switches verbunden sind. Diese Lösung bietet Konnektivität für bis zu 18 Prozessbus-Clients und Merging Units in jedem erforderlichen Verhältnis.

Der Zweck dieser speziellen Topologie besteht darin, die Anzahl der bereitgestellten Kommunikationsnetzwerkgeräte zu minimieren. Dies geschieht hauptsächlich zur Reduzierung der Investitions- und Betriebs- und Wartungskosten.

1.2 Grundlegendes Kommunikations- und Synchronisationskonzept

Die IEDs werden über das Precision Time Protocol (PTP) [1] mithilfe eines Global Navigation Satellite System (GNSS) oder IRIG-B synchronisiert. Das Parallel Redundancy Protocol (PRP) [4] dient zur Vermeidung von Single-Point-of-Failure im Netzwerk und zur unterbrechungsfreien Kommunikation.

Abbildung 1 zeigt das funktionale oder logische Blockschaltbild der Kommunikationsnetzwerklösung zur prinzipiellen Erläuterung der Lösung. Bitte beachten Sie, dass es von der tatsächlichen Netzwerktopologie abweicht, die später erläutert wird

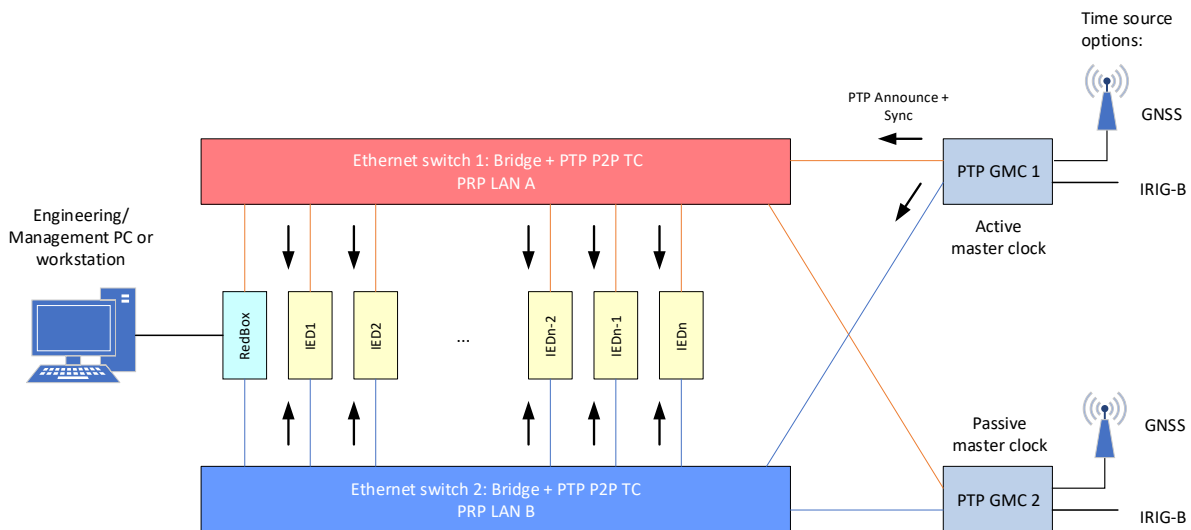


Abbildung 1: Funktionale (oder logisches) Blockdiagramm der Kommunikationslösung

Es gibt zwei Ethernet-Switches im Netzwerk, an die alle IEDs angeschlossen sind. Die Ethernet-Switches repräsentieren PRP LAN A und LAN B [4]. Die IEDs haben die Rolle von doppelt angeschlossenen Knoten für PRP (DANP). Die zusammengeführten Einheiten (in Publisher-Rolle) generieren und duplizieren SV-Frames (Sampled Measured Value) und senden die Duplikate gleichzeitig über die beiden Ports des ETH-BD-2FO-Moduls an die beiden Ethernet-Switches. Letztere leiten die SV-Frames an die Prozessbus-Clients (Teilnehmer) weiter. Auf diese Weise empfangen die Prozessbus-Clients doppelte SV-Frames von den Ethernet-Switches. Die doppelte Eliminierungsfunktion des ETH-BD-2FO-Moduls leitet den ersten empfangenen Rahmen jedes SV-Rahmenpaars zur weiteren Verarbeitung weiter und verwirft den später empfangenen Rahmen des Paares. In ähnlicher Weise werden GOOSE-Frames über die beiden Ethernet-Switches zwischen IEDs ausgetauscht. Das Verfahren zum Duplizieren / Eliminieren von Frames hilft dabei, den Ausfall einzelner Ethernet-Switches und Verbindungsfehler zu überwinden, ohne dass gesendete Frames verloren gehen (nahtlose Redundanz)

SIPROTEC 5 Applikation

Spezielle Netzwerktopologie für kleine Prozessbus- und verteilten Sammelschienenschutz

Die GOOSE- und SV-Kommunikation wird möglicherweise mit Prioritätskennzeichnung (VLAN-Kennzeichnung mit VLAN-ID = 0) oder VLAN-Kennzeichnung (mit VLAN-ID > 1) mit einer oder mehreren VLAN-IDs gesendet. Das optionale VLAN-Tagging von Frames und die VLAN-Filterung in den Switches ermöglichen die Isolierung von GOOSE- und SV-Streams voneinander und von anderer Kommunikation.

Es gibt einen PC (oder eine Workstation) für das Engineering der IEDs und für die Verwaltung der Ethernet-Switches. Dies geschieht mithilfe von IP-basierten Protokollen wie DIGSI, HTTPS und SSH. Der PC ist über eine PRP Redundanzbox (RedBox) mit den beiden Ethernet-Switches verbunden, da Computer PRP normalerweise nicht selbst unterstützen. Die Engineering- / Management-Kommunikation läuft ohne VLAN-Tag (ohne Tags) zwischen dem PC und den Switches. Es kann ohne Tags oder VLAN-Tags zwischen den IEDs und den Switches ausgeführt werden. Letzteres dient zur Isolierung von GOOSE- und SV-Streams.

Bitte beachten Sie, dass PRP LAN A und LAN B (d.h. die Switches dieser LANs) im Allgemeinen immer voneinander isoliert sind, um endlose zirkulierende Frames und anderes unerwünschtes Verhalten zu vermeiden. DANN leitet zu diesem Zweck keine Frames von ihrem LAN A-Port an den LAN B-Port (und umgekehrt) weiter.

Es gibt zwei PRP-fähige PTP-Großmeisteruhren (grandmaster clock) Netzwerk. Sie haben die doppelte angehängte Hauptuhrrolle [4.A] und sind mit den Ethernet-Switches in PRP LAN A und LAN B verbunden. Diese Uhren führen den Best Master Clock-Algorithmus [1] aus, der auf periodisch gesendeten PTP-Ankündigungsnachrichten basiert, und auf diese Weise bestimmen Sie, wer der aktive Master des Netzwerks ist. Die aktive Hauptuhr synchronisiert die in den IEDs befindlichen Slave-Uhren mithilfe von regelmäßig gesendeten PTP-Synchronisierungsnachrichten. Die andere Großmeisteruhr befindet sich im passiven Masterzustand und ist bereit zu übernehmen, wenn der aktuell aktive Master ausfällt oder seine Zeitquelle verliert.

Die Zeitquelle der Großmeisteruhren kann entweder GNSS oder IRIG-B sein. Die Synchronisation mit der absoluten Zeit (UTC) ist in den Anwendungsfällen Prozessbus und verteilter Sammelschienenschutz nicht so wichtig, sondern die relative Zeitgenauigkeit zwischen Zusammenführungseinheiten und Prozessbus-Clients. Eine hochpräzise externe Zeitquelle muss verwendet werden, damit die Abweichung der lokalen Uhren beider Großmeister sehr gering ist und eine reibungslose Hauptumschaltung erreicht werden kann.

Die Ethernet-Switches kombinieren die transparente Taktrolle VLAN-bezogene Frame Forwarding (VLAN Bridging [5]) und PTP Peer-to-Peer (P2P). Eine transparente P2P-Uhr leitet an einem Switch-Port empfangene PTP-Nachrichten an alle anderen Ports weiter. Sie bestimmt die Speicher- und Verarbeitungsverzögerung (die sogenannte Verweilzeit) bestimmter PTP-Nachrichten innerhalb des Switches und die Verzögerung der Nachrichtenausbreitung auf benachbarten Verbindungen. Diese gemessenen Verzögerungszeitwerte werden in das Korrekturfeld der weitergeleiteten PTP-Nachrichten eingetragen.

Abbildung 1 zeigt, dass die aktive Hauptuhr gleichzeitig PTP-Synchronisierungsnachrichten über die Verbindungen zu den Ethernet-Switches von PRP LAN A und LAN B sendet und diese an die verbundenen Prozessbus-Clients und Zusammenführungseinheiten weiterleitet. Auf diese Weise empfangen die Slave-Uhren von IEDs PTP-Sync-Nachrichten des aktiven Masters von beiden Ethernet-Switches über separate Pfade. Die doppelt angeschlossenen Slave-Uhren bestimmen den „besseren“ Pfad von der Hauptuhr [4.A] und verwenden die über diesen Pfad empfangenen PTP-Synchronisierungsnachrichten zur Synchronisation. Wenn der „bessere“ Pfad ausfällt (aufgrund eines Ethernet-Switch-Ausfalls oder einer Verbindungsunterbrechung), wechselt die Slave-Uhr über den anderen Pfad zur PTP-Synchronisation. Darüber hinaus können die Slave-Takte den Ausfall oder die Verschlechterung (z. B. im Falle eines GNSS-Verlusts) des aktiven Masters erkennen und in diesem Fall die Synchronisation vom zuvor passiven, jetzt aber neuen aktiven Master starten.

Bitte beachten Sie, dass in dieser Lösung PTP-Nachrichten immer ohne VLAN-Tag gesendet werden. Das Senden von PTP-Nachrichten in Frames mit VLAN-Tags ist eine optionale Funktion [2] und wird derzeit vom SIPROTEC5 ETH-BD-2FO-Modul nicht unterstützt.

1.3 Vereinfachte Lösung für kleine Prozessbus- und verteilten Sammelschienenschutzanwendungen

Abbildung 2 zeigt die kostenoptimierte Netzwerktopologie der Kommunikationslösung. Die IEDs und die PRP Redbox sind mit zwei Siemens RUGGEDCOM RSG2488-Switches verbunden. In dieser Lösung kombinieren die RSG2488-Switches die Funktionen von VLAN-Bridging, PTP-Grandmaster und transparenter P2P-Uhr in einem einzigen Gerät. Die spezifische RSG2488-Fähigkeit, diese Funktionen parallel auszuführen, und einige spezielle Switch-Konfigurationen ermöglichen es, die Anzahl der bereitgestellten Netzwerkgeräte auf nur zwei zu reduzieren: eines für PRP LAN A und das andere für PRP LAN B.

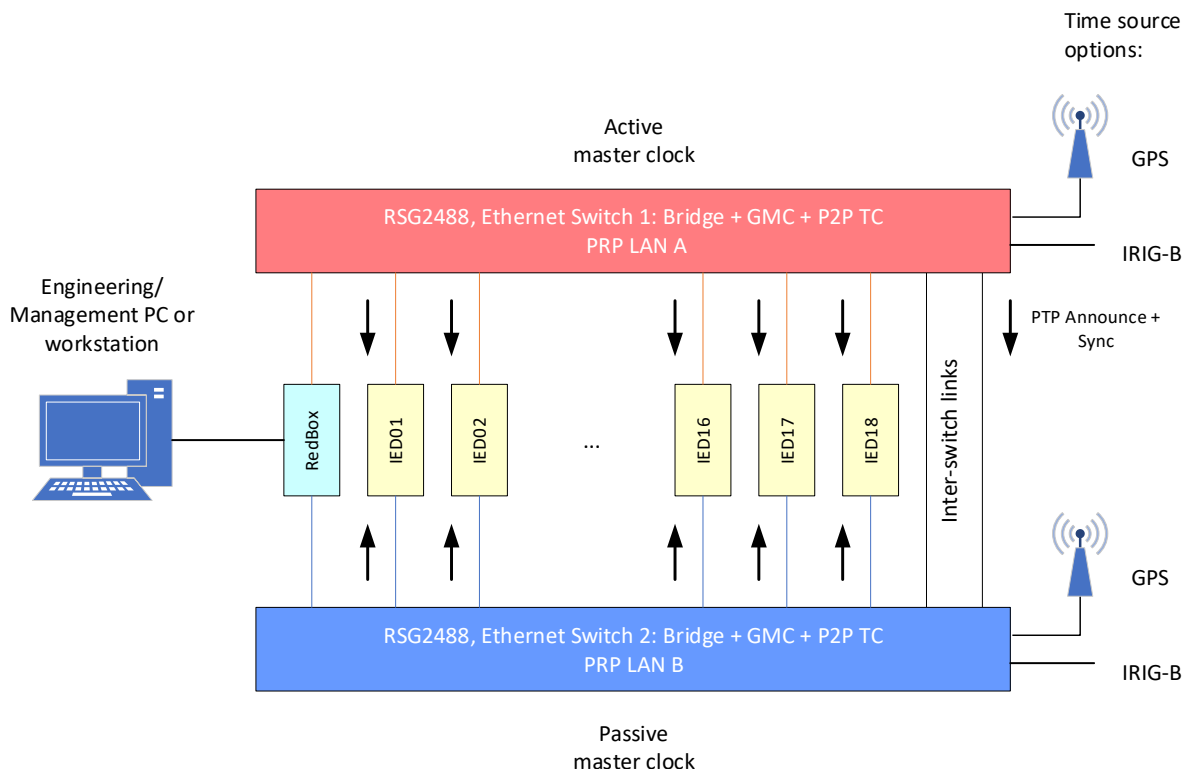


Abbildung 2: Netzwerktopologie der Kommunikationslösung

Die gesamte Kommunikation erfolgt über diese beiden Schalter. Die Weiterleitung von GOOSE-, SV-Frames und der Engineering- / Management-Kommunikation erfolgt wie oben beschrieben.

Die RSG2488-Switches sind direkt über zwei Verbindungen verbunden, die als Inter-Switch-Verbindungen bezeichnet werden. Aus Redundanzgründen gibt es zwei solche Verbindungen: eine leitet weiter und die andere blockiert, wobei letztere bereit ist, zu übernehmen, wenn die erste ausfällt. Diese Redundanzprozedur wird vom Rapid Spanning Tree Protocol (RSTP) [5] ausgeführt, dass an den Inter-Switch-Link-Ports aktiviert ist.

PTP-Nachrichten beider Großmeister werden über die aktive Inter-Switch-Verbindung gesendet. Auf diese Weise „sehen“ sich die Großmeister und bestimmen, wer aktuell die aktive und wer die passive Hauptuhr ist. Die aktive und Haupttaktrolle während des fehlerfreien Betriebs kann durch Konfiguration vorbestimmt werden, z. der Priority2-Parameter. Der passive Master kann den Ausfall oder die Verschlechterung des aktiven Masters erkennen und wird in diesem Fall zur aktiven Master-Uhr.

Abbildung 2 zeigt, dass der RSG2488-Switch mit aktiver Hauptuhr PTP-Synchronisierungsnachrichten über seine Switch-Ports an den angeschlossenen ETH-BD-2FO-Modulport der Prozessbus-Clients und Zusammenführungseinheiten sendet. Zusätzlich sendet dieser RSG2488 PTP-Synchronisierungsnachrichten über die Inter-Switch-Verbindung an den anderen Switch, wo sie über die integrierte transparente PTP-Uhr und die Switch-Ports an den anderen ETH-BD-2FO-Modul-Port der IEDs weitergeleitet werden. Mithilfe dieses Verfahrens empfangen die doppelt angeschlossenen Slave-Uhren der Geräte

die PTP-Synchronisierungsnachrichten vom aktiven Master über zwei Pfade: über die direkte Verbindung zum RSG2488-Switch, auf dem der aktive Master einerseits ausgeführt wird, und über die Inter-Switch-Verbindung, der andere Schalter und die Verbindung zu diesem Schalter andererseits. Die Slave-Uhren bestimmen den „besseren“ Pfad für die PTP-Synchronisation und behandeln Verbindungsunterbrechungen und Switch-Fehler wie oben beschrieben.

Im vorherigen Kapitel wurde beschrieben, dass Ethernet-Switches in PRP LAN A und LAN B immer voneinander isoliert sind. Sie können nicht direkt verbunden werden. Genau dies ist jedoch aufgrund der in dieser speziellen Netzwerktopologie verwendeten Inter-Switch-Verbindungen der Fall. Um Fehlverhalten zu vermeiden, wird bei der Switch-Konfiguration besonders darauf geachtet, dass nur PTP, aber keine andere Kommunikation über die Inter-Switch-Verbindungen erfolgt. Die technischen Details sind in den Kommentaren des folgenden Switch-Konfigurationsbeispiels enthalten.

1.4 Regeln und Vorschriften dieser speziellen Kommunikationslösung

Bitte beachten Sie die folgenden Regeln und Einschränkungen dieser speziellen Kommunikationslösung:

- Die RSG2488-Switch-Ports 2/4, 4/4, 6/4 und 7/2 können nicht für PTP verwendet werden, wenn die Funktionen der Hauptuhr und der transparenten P2P-Uhr parallel ausgeführt werden (Abbildung 3). Diese Informationen stammen aus dem RUGGEDCOM ROS-Handbuch. Dies bedeutet, dass in dieser Lösung diese vier Switch-Ports nicht zum Verbinden von Geräten verwendet werden können, für die eine PTP-Synchronisierung erforderlich ist, z. B. Prozessbus-Clients und Zusammenführungseinheiten. Diese Ports können jedoch zum Anschließen der PRP-Redbox verwendet werden, da der Engineering- / Management-PC keine PTP-Synchronisierung benötigt. Dies ergibt die maximale Anzahl von 18 IEDs, die an die RSG2488-Switches angeschlossen werden können (da der Switch maximal 24 Ports bietet und zwei PTP-fähige Ports für die Inter-Switch-Verbindungen verwendet werden).
- RSG2488 unterstützt PTP in Kombination mit PRP-Redundanz nicht. Trotzdem funktioniert es, aber nur mit dieser spezifischen Netzwerktopologie und Switch-Konfiguration und mit der folgenden Einschränkung: PRP-Überwachungsrahmen werden nicht gesendet und nicht verarbeitet. Dies schränkt die Netzwerkdiaagnosefunktionen ein, andere Probleme, die sich aus dieser Einschränkung ergeben, wurden jedoch nicht gefunden.
- RSG2488-Switches mit der Hardware-ID RSG2488 (anstelle von RSG2488v2) unterstützen die kombinierte transparente Master- und P2P-Taktfunktion nicht und können für diese Lösung nicht verwendet werden. Die Hardware-ID wird unter Diagnose >> Produktinformationen der RSG2488-Benutzeroberfläche angezeigt (Abbildung 4).
- Diese Lösung reagiert empfindlich auf falsche Gerätekonfiguration und falsche Geräteverbindung zu Ports. Ein nicht oder falsch konfiguriertes oder falsch angeschlossenes Gerät kann das gesamte Netzwerk verwirren. Es wird empfohlen, nicht verwendete Switch-Ports administrativ zu deaktivieren
- GOOSE- und SV-Frames können von IEDs mit Prioritätskennzeichnung gesendet werden (Standardeinstellung). Alternativ kann das Senden von VLAN-markierten Frames mit einer VLAN-ID > 1 in Kombination mit einer VLAN-Filterung in den Switches vorteilhaft sein, um GOOSE- und SV-Streams voneinander und von der Engineering- / Management-Kommunikation zu isolieren.
- Diese Lösung wurde getestet und funktioniert mit RUGGEDCOM ROS 5.4.1 und 5.4.2. Der Betrieb mit anderen ROS-Versionen kann nicht garantiert werden und erfordert neue Tests.
- Diese Lösung verwendet die spezifischen Funktionen von RSG2488-Switches und ist auf die Kommunikationsanforderungen kleiner Schutzbereitstellungen für kleine Prozessbusse und Sammelschienen zugeschnitten (wie in diesem Anwendungshinweis beschrieben). Es wurde von Siemens sorgfältig evaluiert und getestet. Änderungen oder Erweiterungen oder die Verwendung für andere Zwecke erfordern zusätzliche Bewertungen und neue Tests.

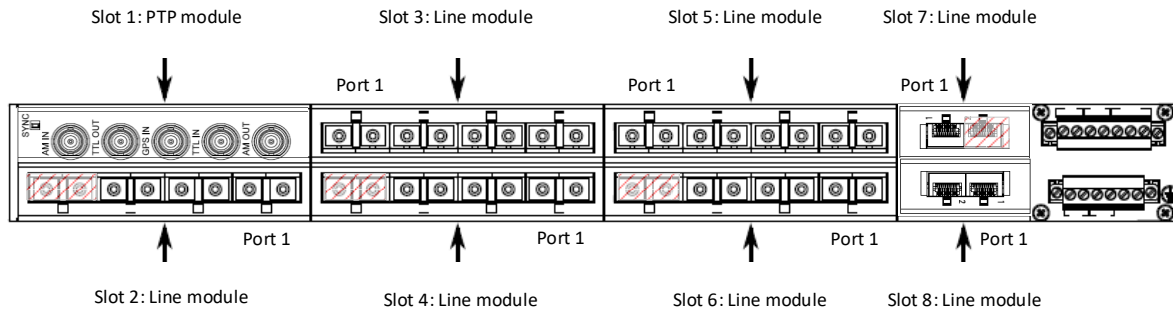


Abbildung 3: RSG2488-Rückansicht und Ports, die nicht für die PTP-Synchronisation verwendet werden können (im Umfang dieser Lösung)

```

Main Version   v5.4.1 (Dec 18 2019 13:49)
Hardware ID    RSG2488v2
Descr         RSG2488
    
```

Abbildung 4: Hardware ID RSG2488

1.5 Konfigurationsbeispiele RSG2488

Konfigurationsbeispiele werden für RSG2488-Switch 1 und Switch 2 sowie für GPS- und IRIG-B-Zeitquellen bereitgestellt (Dateien rsg2488_gps_switch1.csv, rsg2488_gps_switch2.csv, rsg2488_irig-b_switch1.csv, rsg2488_irig-b_switch2.csv). Diese Dateien enthalten nur die lösungsbezogene Konfiguration (sogenannte Teilkonfiguration). Die Dateien können auf die Switches heruntergeladen werden, z. über die serielle Schnittstelle, mithilfe eines Terminalprogramms (wie TeraTerm) und unter Verwendung von XMODEM. Weitere Informationen finden Sie im RSG2488-Benutzerhandbuch, Abschnitt 4.5.1. Die heruntergeladene Teilkonfiguration wird automatisch mit der vorherigen RSG2488-Switch-Konfiguration zusammengeführt.

Die beispielhaften RSG2488-Switches sind vollständig mit dem PTP-Modul und sieben Leitungsmodulen ausgestattet (zusammenfassend 24 Ports). Die Ports 2 / 1-2 / 3,3 / 1-4 / 3,5 / 1-6 / 3 werden zum Anschließen von IEDs verwendet, Port 4/4 zum Anschließen der PRP Redbox und die Ports 8/1, 8/2 für die Inter-Switch-Verbindungen.

1.6 Zusammenfassung

Durch die Nutzung spezifischer Funktionen der RSG2488-Switches kann die Anzahl der bereitgestellten Netzwerkgeräte in einer Prozessbuslösung auf nur zwei reduziert werden. Diese Netzwerkkonfiguration erfordert eine ganz spezielle Switch-Konfiguration und ist nur für kleine Prozessbusstationen und für den Sammelschienendifferentialschutz geeignet. Beachten Sie, dass diese Lösung Konnektivität für maximal 18 Prozessbus-Clients und Zusammenführungseinheiten in jedem erforderlichen Verhältnis bietet.

SIPROTEC 5 Applikation

Spezielle Netzwerktopologie für kleine Prozessbus- und verteilten Sammelschienenschutz

1.7 Glossar

Grandmaster clock (Großmeisteruhr): Innerhalb einer Domäne eine Uhr, die die ultimative Zeitquelle für die Uhrensynchronisation unter Verwendung des Protokolls darstellt. [1]

Master clock (Hauptuhr): Im Zusammenhang mit einem einzelnen Precision Time Protocol (PTP)-Kommunikationspfad eine Uhr, die die Zeitquelle ist, auf die sich alle anderen Uhren auf diesem Pfad synchronisieren [1]

Slave clock: Eine Uhr, die sich mit einer anderen Uhr synchronisiert

Transparent clock: Ein Gerät, das die Zeit misst, die eine Precision Time Protocol (PTP)-Ereignisnachricht benötigt, um das Gerät zu passieren, und diese Information an Uhren liefert, die diese PTP-Ereignisnachricht empfangen. [1]

Peer-to-peer transparente Uhrzeit: Eine transparente Uhr, die neben der Bereitstellung von PTP-Ereignis-Transitzeitinformationen (Precision Time Protocol) auch Korrekturen für die Ausbreitungsverzögerung der Verbindung bietet, die mit dem Hafen verbunden ist, der die PTP-Ereignisnachricht empfängt. Bei Vorhandensein von transparenten Peer-to-Peer-Taktgebern werden Verzögerungsmessungen zwischen Slave-Taktgebern und dem Master-Taktgeber unter Verwendung des Peer-to-Peer-Verzögerungsmessmechanismus durchgeführt. [1]

Doubly attached node: Knoten mit zwei Anschlüssen zum Zweck des redundanten Betriebs. [3]

Singly attached node: Knoten mit nur eine Schnittstelle zum LAN. [3]

RedBox: Gerät, das einzeln angeschlossene Knoten an ein redundantes Netzwerk anschließt. [4]

1.8 Abkürzungen

BMCA	Best Master Clock Algorithm
DANP	Double Attached Node PRP
GMC	Grandmaster Clock
GNSS	Global Navigation Satellite System
GOOSE	Generic Object Oriented Substation Event
GPS	Global Positioning System
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
HTTPS	HTTP Secure
ID	Identifier
IEC	International Electrotechnical Commission
IED	Intelligent Electronic Device
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IP	Internet Protocol
L2	Layer 2
LAN	Local Area Network
MU	Merging Unit
P2P	Peer-to-Peer
PC	Personal Computer
PRP	Parallel Redundancy Protocol
PTP	Precision Time Protocol
PVID	Port VLAN Identifier
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol
SSH	Secure Shell (Protocol)
SV	Sampled Measured Values
TC	Transparent Clock
VLAN	Virtual LAN

1.9 Referenzen zu Standards

- [1] IEEE 1588:2008
Precision Clock Synchronization Protokoll
- [2] IEC 61850-9-3:2016
PTP Profil für die Automatisierung von Energieversorgungsunternehmen
- [3] IEC 62439-1:2010
Industrielle Kommunikationsnetzwerke – High availability automation networks –
Part 1: Generelle Konzepte und Kalkulationsmethoden
- [4] IEC 62439-3:2016
Industrielle Kommunikationsnetzwerke – High availability automation networks –
Part 3: Parallel Redundancy Protocol (PRP) und
High-availability Seamless Redundancy (HSR)
- [4.A] IEC 62439-3:2016, Annex A
Zeitsynchronisierung über redundante Pfade in IEC 62439-3
- [5] IEEE 802.1Q-2014
Brücken und überbrückte Netzwerke

Herausgeber

Siemens AG 2020
Smart Infrastructure
Digital Grid
Humboldtstraße 59
90459 Nürnberg, Deutschland

www.siemens.de/siprotec

Wünschen Sie mehr Informationen,
wenden Sie sich bitte an unser Customer
Support Center.

Tel.: +49 180 524 70 00

Fax: +49 180 524 24 71

(Gebühren in Abhängigkeit vom Provider)

Customer Support: www.siemens.com/csc

© 2020 Siemens. Änderungen und Irrtümer vorbehalten.
Die Informationen in diesem Dokument enthalten
lediglich allgemeine Beschreibungen bzw. Leistungsmerkmale,
welche im konkreten Anwendungsfall nicht immer
in der beschriebenen Form zutreffen bzw. welche sich
durch Weiterentwicklung der Produkte ändern können.
Die gewünschten Leistungsmerkmale sind nur dann
verbindlich, wenn sie bei Vertragsschluss ausdrücklich
vereinbart werden.

Für alle Produkte, die IT-Sicherheitsfunktionen der
OpenSSL beinhalten, gilt Folgendes:
This product includes software developed by the
OpenSSL Project for use in the OpenSSL Toolkit.
(<http://www.openssl.org/>)
This product includes cryptographic software written
by Eric Young (eay@cryptsoft.com)
This product includes software developed by Bodo Moeller.