

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 108 (2017)
Heft: 5

Artikel: Präzise Zeiten in Stromnetzen
Autor: Kirrmann, Hubert / Graf, Roman
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-791317>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Präzise Zeiten in Stromnetzen

Hochgenaue Zeitverteilung nach IEC/IEEE 61850-9-3 | Schutz und Stabilität der Stromnetze beruhen auf zeitgenauen Messungen von Strom und Spannung an Knotenpunkten innerhalb eines Landes oder Kontinents. Diese Messwerte werden über ein Datennetzwerk ausgetauscht, dessen Verzug stark schwankt. Um diese Werte zu vergleichen, werden sie mit der absoluten Zeit ihrer Abtastung «gestempelt».

TEXT HUBERT KIRRMANN, ROMAN GRAF

Um eine Zeitstempelung durchführen zu können, braucht es im Stromnetz eine gemeinsame Zeit, die auf wenige Mikrosekunden genau ist. Obwohl Navigationssatelliten eine solche Genauigkeit bieten, wird eine Zeitverteilung über das Datennetzwerk bevorzugt. Die IEC hat deshalb in Zusammenarbeit mit der IEEE die Norm IEC/IEEE 61850-9-3 zur Zeitverteilung veröffentlicht, als Teil der Normreihe IEC 61850, die eine Synchronisierung unterhalb einer Mikrosekunde erlaubt.

Es gibt diverse Anwendungen im Elektrizitätsnetz, die auf eine präzise Zeit angewiesen sind. Diese umfassen:

Ereignismelder

Die Aufzeichnung von Ereignissen im Netz verlangt, dass die Messwerte mit etwa 10 ms absoluter Zeit gestempelt werden. [1]

Synchrophasoren

Um die Netzstabilität zu prüfen, wird die Phasenlage von Strom und Spannung an verschiedenen Stellen im Netz verglichen.

Die Phasemessgeräte (PMU, Phasor Measurement Unit) senden über das Datennetz ihre Phasenlage zu Phasendatensammlern (PDC = Phasor Data Concentrator), die ihrerseits die gebündelten Werte zur Leitstelle übertragen, die die Netzstabilität berechnet.

Der Verzug im Netz ist nicht voraussehbar. Um Bündelung und Vergleich korrekt durchzuführen, werden die Phasenwerte mit dem genauen Zeitpunkt ihrer Messung übertragen. Danach können die Werte auf einen beliebigen Zeitpunkt extrapoliert werden.

Synchrophasoren verlangen eine absolute Zeit mit einer Genauigkeit von einigen Mikrosekunden. Ein Phasenfehler von $0,1^\circ$ entspricht einem Zeitfehler von $5 \mu\text{s}$. [2] Die Anforderungen steigen noch bei Synchrophasoren in einem Verteilnetz. [3]

Differenzialschutz

Der Schutz von Hochspannungsleitungen beruht auf der Messung von Strom und Spannung an den Enden eines Leiters. Der Differenzialschutz misst die momentanen Stromwerte und berechnet die Kirchhoffsche Gleichung, um

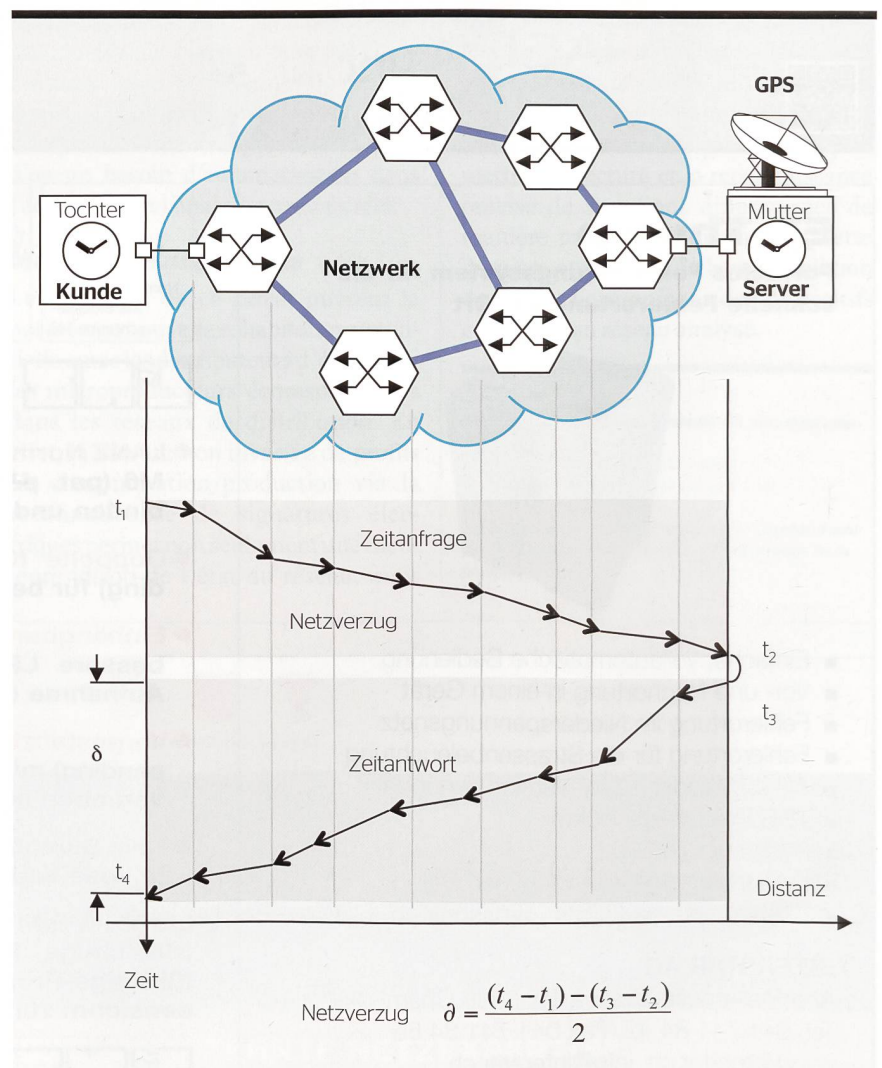


Bild 1 Beispiel einer SNTP-Zeitfrage.

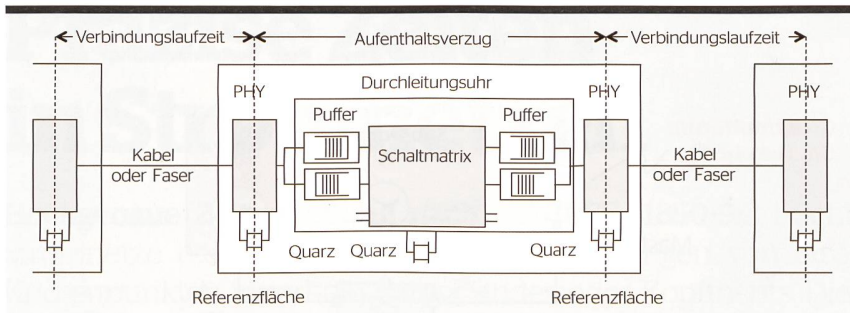


Bild 5 Prinzip der Zeitstempelung in einer TC (nur zwei Ports gezeichnet).

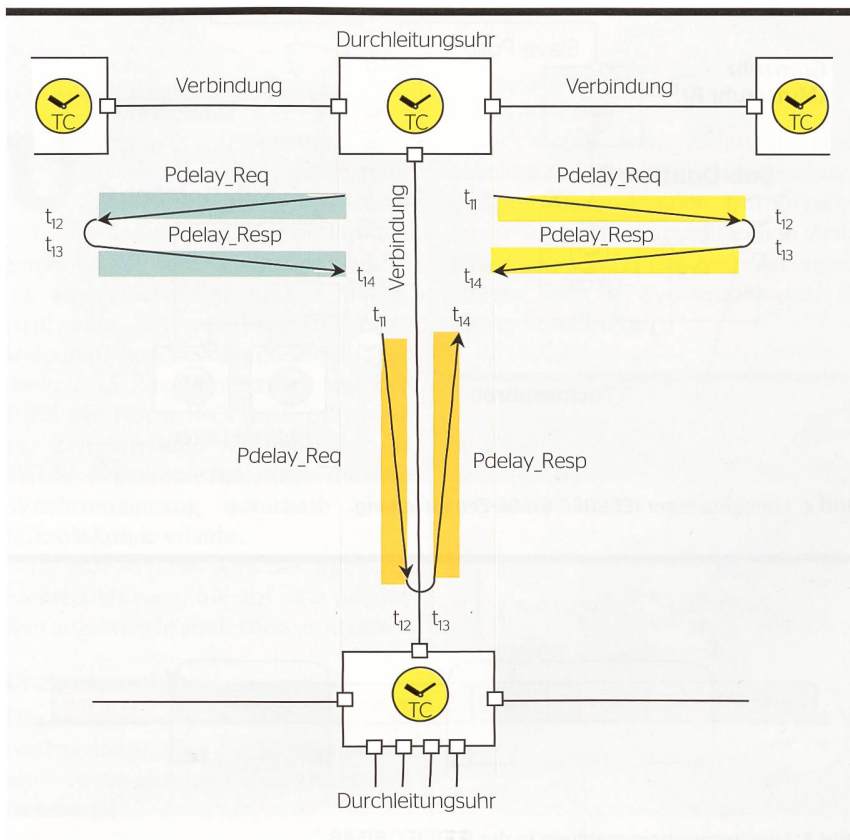


Bild 6 Prinzip der Laufzeiterfassung bei TCs.

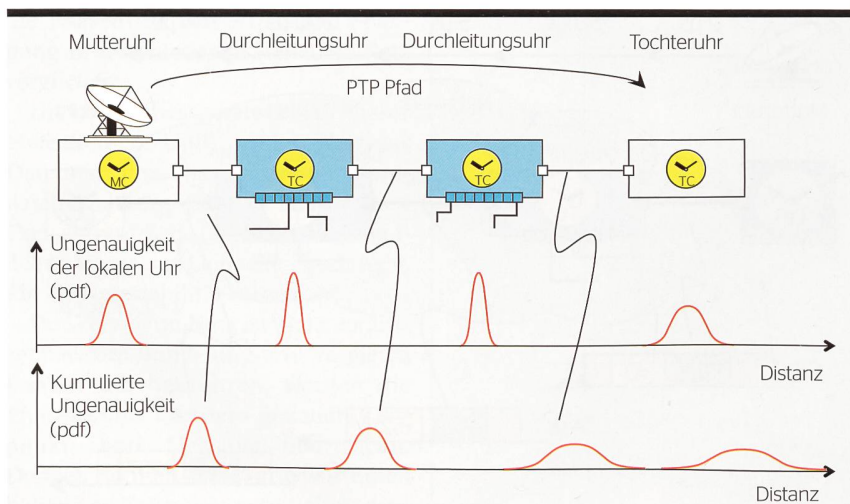


Bild 7 Abnahme der Genauigkeit entlang des Pfades.

Zeit aus. Aus Kostengründen wurde er 2011 eingestellt. Der Langwellensender Frankfurt (DCF-77) sendet weiter und dient den Funkuhren in Europa als Referenz. Funkempfänger für DCF-77 sind in vielen Unterstationen vorhanden. Sie werden vor allem gebraucht, um präzise Frequenzsignale in der Unterstation zu verteilen, d.h. die 1-PPS-Signale (1 Puls pro Sekunde).

Ein weiteres Verfahren verwendet **Navigationssatelliten**. Die Satelliten GPS (USA), Glonass (Russland), Beidou (China) und Galileo (Europa) arbeiten mit Atomuhren und senden Zeitsignale mit einer Genauigkeit von etwa 100 ns. Zur Korrektur der Laufzeit wird die genaue Position von Satellit und Empfänger ermittelt. GPS-Empfänger sind in vielen Unterstationen eingebaut. Jedoch trauen einige EVUs den Satelliten nicht, weil einige Unterstationen kaum Sichtverbindung haben (z.B. in tiefen Tälern oder unterirdisch), weil sich zeigte, dass sich Satellitensignale durch eine einfache Verzögerung absichtlich fälschen lassen, oder weil Satelliten durch einen Sonnensturm ausgeschaltet werden können sowie aus politischen Gründen.[4]

Heute verfügen die meisten Unterstationen über eine **Mutteruhr**, die mit hochstabilem Quarz arbeitet, zum Beispiel mit Temperaturkompensation oder mit einem stabilisierten Ofen. Rubidium-Atomuhren sind billiger und beliebter geworden. Der Fehler dieser Uhren liegt bei wenigen Millisekunden pro Jahr. Sie sind also genau genug, um die relative Zeit innerhalb der Unterstation zu verteilen, aber sie müssen doch regelmässig wieder synchronisiert werden, um als Basis für Synchronisoren zu taugen. Eine tägliche Synchronisierung mit einer Referenzzeit ist ohnehin notwendig, um die Schaltsekunden der UTC-Zeit zu erfassen.

Das Signal der lokalen Uhren wird an alle Schutzgeräte verteilt, entweder in Form von 1 PPS oder mit dem seriellen Code IRIG-B über eine gesonderte Leitung.

Das **Zeitverteilungsprotokoll SNTP** (Simple Network Time Protocol) [5] des Internets wird in IEC 61850-8-1 [6] für die Synchronisierung des Stationsbusses angegeben. In SNTP fragen die Kunden die Zeit von einem Zeitserver ab, z.B. europe.pool.ntp.org oder

ch.pool.ntp.org, der mit dem Weltzeitwerk der Atomuhren synchronisiert ist.

Laufzeiten

Die Laufzeit in einem Paket-Vermittlungsnetzwerk wie IP variiert viel stärker als diejenige von Radiowellen oder optischen Signalen. Der Verzug stammt aus der Propagationszeit über die Leitungen, die einigermassen voraussehbar ist und aus der Aufenthaltsdauer der Pakete in den Netzwerkelementen, die vom Datenverkehr abhängt und nicht voraussehbar ist.

Die Korrektur der Laufzeit der Zeitmeldung durch das Netzwerk ist das Herzstück von SNTP (Bild 1).

Der Kunde berechnet die Laufzeit zwischen dem Zeitserver und sich selber, indem er den Zeitpunkt t_1 misst, wann er die Zeitanfrage sendet und den Zeitpunkt t_4 misst, wann die Zeitanantwort des Servers bei ihm eintrifft. Der Zeitserver fügt in der Zeitanantwort die Zeitspanne $(t_3 - t_2)$ zwischen Eintreffen der Zeitanfrage t_2 und Senden der Zeitanantwort t_3 ein. Der Server berechnet die Laufzeit gemäss der Formel in Bild 1 unten.

Diese Messmethode setzt voraus, dass Zeitanfrage und Zeitanantwort den gleichen Verzug erfahren. Dazu müssten Zeitanfrage und Zeitanantwort genau durch die gleichen Router fahren, die Knoten in beiden Richtungen gleich verzögern und die Verbindungen symmetrisch sein. Die Genauigkeit leidet insbesondere darunter, dass die Zeitstempelung der Meldungen in Software gemacht wird. Die Genauigkeit ist auf wenige Millisekunden innerhalb einer Unterstation begrenzt und auf etwa 10 ms in einem Langstreckennetz wie Internet. Diese Genauigkeit genügt für Ereignisfolgemelder, nicht aber für Differenzialschutz oder Synchrophasoren.

IEEE/IEC 61588

Eine genaue Messung der Laufzeit ist nur möglich, wenn der Beitrag aller Elemente im Netzwerk laufend gemessen wird.

Die IEEE/IEC 61588 Norm [7,8] sieht vor, dass der Zeitgeber nicht mehr abgefragt wird, sondern spontan die Zeit verteilt, wie bei Radiostationen. Darum redet man hier von Master/Slave und nicht von Zeitkunde/Zeitdiener (Client/Server) wie bei SNTP.

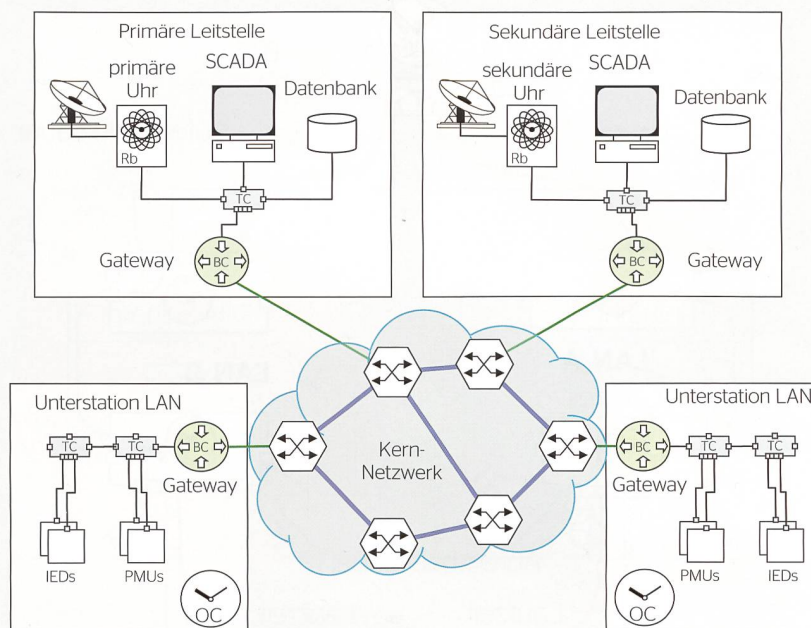


Bild 8 Zeitverteilung im WAN.

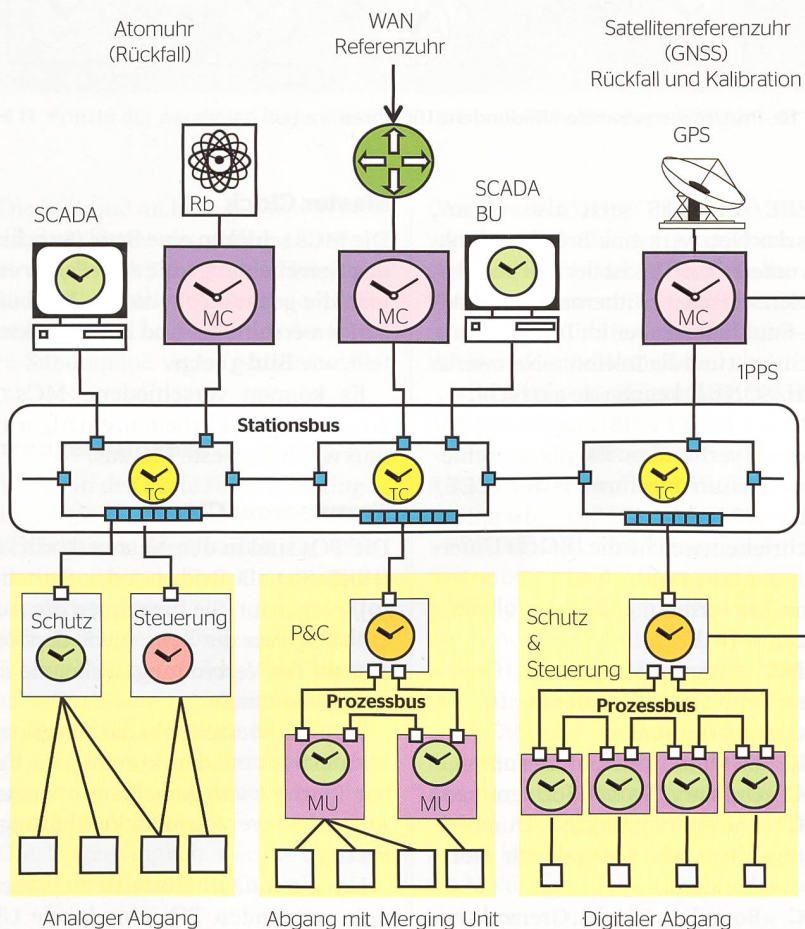


Bild 9 Zeitverteilung in einer Unterstation.

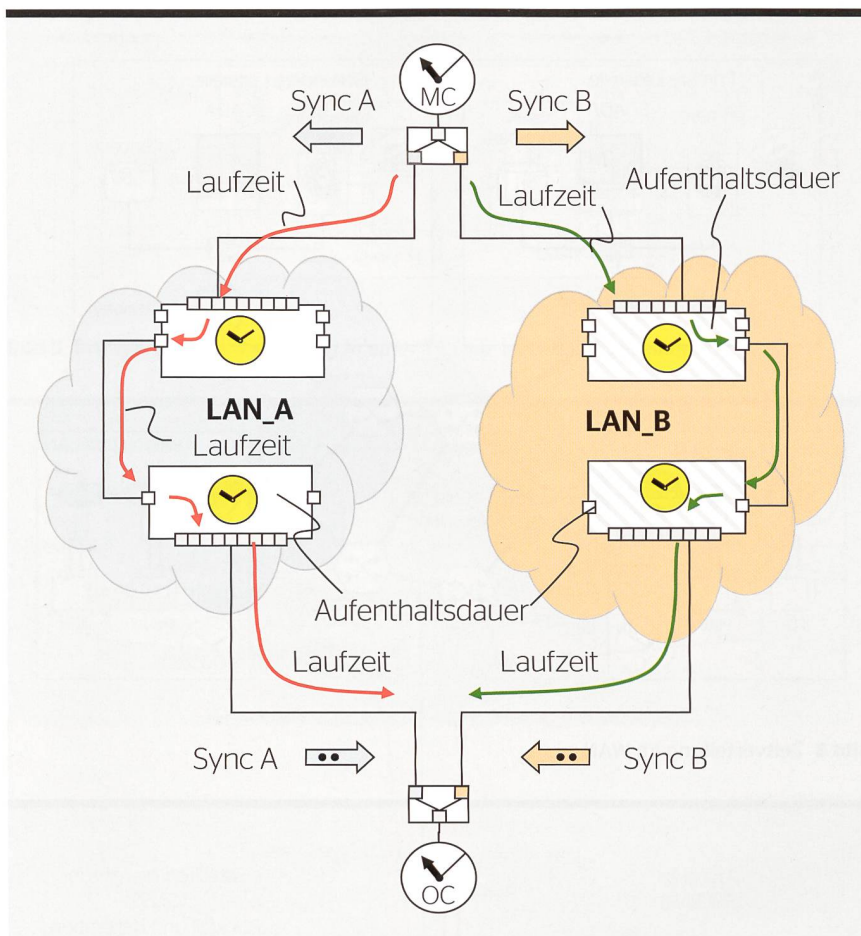


Bild 10 Prinzip der parallelen Redundanz für Uhren.

IEEE/IEC 61588 setzt also voraus, dass das Netzwerk eine Broadcastfunktion unterstützt. Das ist der Fall bei lokalen Netzwerken wie Ethernet. Die Broadcast-Funktion ist aber im Internet stark beschränkt und die Telefonie-Netzwerke (SDH/SONET) kennen sie gar nicht.

Darum ist IEEE/IEC 61588 eng mit Ethernet verbunden. Es gibt verschiedene Ausführungsformen der IEEE/IEC 61588, hier wird diejenige beschrieben, welche die IEC für Unterstationen ausgewählt hat.

Die Zeitverteilung umfasst folgende Elemente (**Bild 2**):

- **GMC** «Grandmasterclock», Grossmutteruhr, die als Referenz für die Zeitdomäne dient,
- **MC** «Master Clock», Mutteruhren,
- **OC** «Ordinary Clocks», Tochteruhren,
- **TC** «Transparent Clocks», Durchleitungsuhr als verbindende Netzwerkelemente,
- **BC** «Boundary Clocks, Grenzuhr, trennende Netzwerkelemente,
- **HC** «Hybrid Clocks» sind gleichzeitig TC und OC.

Master Clock

Die MCs schicken eine Sync (Synchronisationsmeldung), die zwei Felder enthält: die genaue Zeit, die die MC beim Senden ermittelte, und ein Korrekturfeld, wie **Bild 3** zeigt.

Es können verschiedene MCs in einem Netzwerk arbeiten, ein Algorithmus wählt die beste MC aus.

Transparent Clocks

Die TCs sind in den Netzwerkbrücken (IEEE 802.1D Bridges oder Switches [9]) eingebaut. Sie berechnen die Aufenthaltsdauer der Sync sowie den Verzug auf der Verbindung, woher sie die Sync bekommen.

Jede TC überschreibt das Korrekturfeld der Sync mit dem kumulierten Verzug (Summe von gemeldetem Verzug, Aufenthaltsverzug und Verbindungsverzug).

Um die Aufenthaltsdauer zu berechnen, verwenden TCs eine lokale Uhr und eine genaue Zeitstempelung der Meldungen in Hardware. Die Ethernet-Transceivers (PHY) analysieren die

Meldungen und generieren ein hochgenaues Signal, wenn sie nach dem Vorspannen den Synchronisierungspunkt entdecken (**Bild 5**).

Die TCs berechnen den Verzug aus der Richtung, woher Sync kommt, indem sie an ihren Nachbarn eine Abfrage/Antwort (Pdelay_Req/Pdelay_Resp) schicken, auch über Ports, die sonst durch RSTP (Spanning Tree) geschlossen sind. Pdelay_Req und Pdelay_Resp werden nie weitergeleitet.

Wie bei SNTP berechnen die Uhren den Leitungsverzug zu jedem Nachbarn als die Hälfte der gesamten Laufzeit, abzüglich der Aufenthaltsdauer im Nachbarknoten. Die Genauigkeit ist aber drei Grössenordnungen besser als bei SNTP, da nur eine reine Signallaufzeit über eine optische Faser oder ein verdrehtes Aderpaar gemessen wird, und dies mit einer Zeitstempelung der Nachrichten in Hardware. Es wird angenommen, dass die Laufzeit in beiden Richtungen genau gleich ist, was für die erzielte Genauigkeit in Unterstationen genügend ist. Umsetzer zwischen Faser und Kabel müssen deshalb speziell mit konstantem und symmetrischem Verzug gebaut werden.

Jede TC leitet eine empfangene Sync zu allen anderen aktiven Ports weiter und korrigiert die Sync für jeden Ausgangsport separat.

Die TCs fügen die Korrekturen während des Sendens der Sync ein. Eine TC hat also bei 100 Mbit/s 1760 ns, um die Korrektur zu berechnen und den Wert anstelle des früheren Wertes einzufügen. Danach hat die TC etwa 2240 ns, um die Prüfsumme (FCS) zu berechnen (**Bild 3**).

Das Einfügen während des Sendens heisst «1-Schritt»-Verfahren und setzt hohe Anforderungen an die Hardware. Im «2-Schritt»-Verfahren schicken TCs die Korrektur in einer nachfolgenden Meldung, die «Follow-up». Wenn die Zeitstempelung in Hardware gemacht wird, ist die Genauigkeit gleich, aber der Datenverkehr steigt. Das «2-Schritt»-Verfahren gilt übrigens auch für Pdelay_Resp, in Form einer Pdelay_Resp_Follow_Up.

Boundary Clocks

Die IEEE/IEC 61588 unterstützt neben TCs auch BCs. BCs waren auch die einzigen Uhren in IEEE 1588v1, bevor die Vorteile der TC offensichtlich wurden.

Parameter	Wert
Profil-Kennung	00-1B-19-00-02-00
Uhren	MC, BC, TC, OC
Media	Ethernet Layer 2
Topologie	voll-duplex IEEE 802.3
Übertragung	Multicast Meldungen
Destinationsadressen	01-1B-19-00-00-00 01-80-C2-00-00-0E (Pdelay)
VLAN	Erlaubt, nicht empfohlen
Etherntype	0x88F7 (1588)
Subtype	0 (IEEE 1588v2)
Laufzeitmessung	Port-zu-Port
Korrektur	1-Schritt oder 2-Schritt, mischbar
Zeitdomäne	0: Werkeinstellung, 93: empfohlen
Periode der Announce	1 s
Periode der Sync	1 s
Periode von Pdelay_req	1 s
Timeout	3 s
Algorithmus zur Selektion des besten MC	Werkeinstellung nach 1588 IEC 62439-3 mit Redundanz
Ersatz-MC	Mehrere MCs dürfen gleichzeitig die Zeit verteilen, die Slave wählen aus.
Priority1	128
Priority2	128
Ungenauigkeit von Umsetzer	50 ns
Ungenauigkeit des GMC	250 ns
Ungenauigkeit einer TC	50 ns
Ungenauigkeit des BC	250 ns
Quarz-Stimmung	Implizit notwendig
Aushaltezeit	5 s
Geräteverwaltung	1) IEC 62439-3 Annex E 2) IEC 61850-90-4 3) benutzerdefiniert
MIB	Gemäss IEC 62439-3 Annex E
TLVs	Optional ATOI (1588 16.3)
Datensicherheit	IEC 62351

Tabelle 1 Hauptparameter von IEC/IEEE 61850-9-3.

Eine BC hat genau einen Port im Slave-Zustand, der die lokale Tochteruhr synchronisiert. Die BC arbeitet als MC auf den anderen Ports.

In Gegensatz zu TCs leiten BCs die Syncs nicht weiter, sondern verwenden sie, um die eigene Uhr zu synchronisieren. Sie senden die Zeit dieser Uhr mit einer eigenen Sync. Damit trennen sie die Zeitdomäne in Unterdomänen.

Mit BCs wird eine Hierarchie von Uhren gebildet, an deren Spitze die GMC steht, die an einer Referenzzeit (z.B. GPS oder Atomuhr) angeschlossen ist.

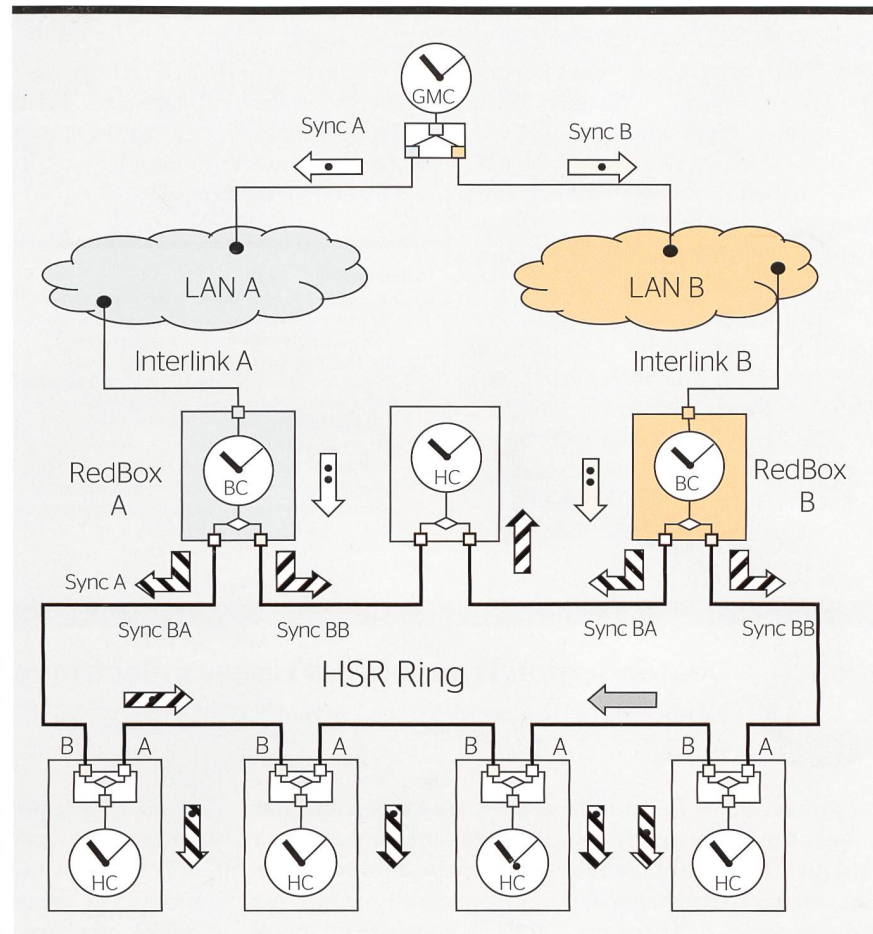


Bild 11 Prinzip der parallelen Redundanz von Uhren mit PRP (oben) und HSR (unten).

Die BCs sind nicht so genau wie TCs, weil eine Kette aus vielen Uhren in Serie zu Instabilität neigt. Hingegen können BCs Zeitverteilungsdomänen unterteilen und bei Wegfallen der GMC ihre Subdomäne weiter synchronisieren.

Uhrengenauigkeit

Jede Uhr in der Kette führt eine Ungenauigkeit ein. Die Genauigkeit einer MC hängt von der Qualität der Referenzzeit und von der Stabilität des Referenzoszillators ab.

Jede TC fügt eine Ungenauigkeit ein, weil die Zeitstempelung von einem Quarz-Oszillator gewonnen wird, der eine endliche Frequenz hat. Es gibt auch mehrere Quarze, normalerweise einen pro Port, und daher entstehen Quantifikationsfehler.

Die Ungenauigkeit wächst mit der Anzahl Uhren, wie **Bild 7** zeigt.

Zeitverteilung in Unterstation

Die primäre Zeitreferenz kommt aus dem übergeordneten Datennetz

(WAN) z.B. SDH/SONET oder MPLS, wo eine Vielzahl von Atomuhren die absolute Zeit bildet (**Bild 8**). Sollte das WAN zusammenbrechen, übernimmt eine lokale Rubidium-Atomuhr, bis das WAN wieder funktioniert.

Bild 9 zeigt die Zeitverteilung innerhalb einer Unterstation.

Eine GPS-Verbindung dient als Rückfall (Back-up) und Plausibilitätskontrolle. Die MCs generieren auch 1-PPS-Signale, mit denen die Inbetriebsetzung kontrolliert wird.

Bild 9 zeigt verschiedene Abgänge, die Synchronisierung brauchen: links einen klassischen Abgang mit konventioneller analoger Messtechnik, rechts einen Abgang mit komplett digitaler Messtechnik und in der Mitte einen Abgang mit «Merging Units» (MU), welche die Messwerte der konventionellen Messinstrumente in IEC 61850-9-2 Meldungen packen.

Die IEC/IEEE 61850-9-3 Norm

Die IEEE/IEC 61850 Norm erlaubt eine Vielzahl von Optionen, z.B. 1-Schritt-

oder 2-Schritt-Korrektur, Laufzeitmessung von Ende zu Ende oder von Port zu Port, Betrieb auf Layer 2 oder Layer 3. Die Norm nennt hingegen keine Genauigkeitsmerkmale.

Die IEC TC 57 WG10 und SC 65C WG15 haben in Zusammenarbeit mit IEEE PSRC ein Profil (eine Untergruppe) der IEEE/IEC 61588 erarbeitet, das die Bedürfnisse von Unterstationen und Smart Grids deckt. Die Spezifikationen dazu entstanden in der Schweiz in Zusammenarbeit von ABB Forschungszentrum mit der EPFL und der ZHAW. Mit IEC/IEEE 61850-9-3 [10] lässt sich in einem Netzwerk mit 15 TCs eine Genauigkeit von einer Mikrosekunde erreichen. Die Norm

bietet nahtlose Redundanz gemäss IEC 62439-3.

Obwohl dies in IEC/IEEE 61850-9-3 nicht spezifiziert ist, kann IEC/IEEE 61850-9-3 auf allen Ethernet-basierten Netzen verwendet werden, also auch in MPLS und Metro-Ethernet.

Referenzen

- [1] IEC 61850-5 Communication networks and systems for power utility automation - Part 5: Communication requirements for functions and device models.
- [2] IEC TR 61850-90-5 Communication networks and systems for power utility automation - Part 90-5: Use of IEC 61850 to transmit synchrophasor information according to IEEE C37.118.
- [3] M. Pignati, L. Zanni, P. Romano, R. Cherkaoui and M. Paolone. Fault Detection and Faulted Line Identification in Active Distribution Networks Using Synchrophasors-based Real-Time State Estimation, in IEEE Transactions on Power Delivery, 2016.

- [4] IEC TR 61850-90-12 Communication networks and systems for power utility automation - Part 90-12: Wide Area Network engineering guidelines.
- [5] Internet RFC 2030 Simple Network Time Protocol (SNTP) Version 4 for IPv4, IPv6 and OSI, 1996.
- [6] IEC 61850-8-1 Communication networks and systems for power utility automation - Part 8-1: Specific Communication Service Mapping (SCSM) - Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/IEC 8802-3.
- [7] IEC 61588 Precision Time Protocol, 2009.
- [8] IEEE Std 1588, Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems, 2008.
- [9] ANSI/IEEE Std 801.2D, Media Access Control (MAC) Bridges, 2004.
- [10] IEC/IEEE 61850-9-3 Communication networks and systems for power utility automation - Part 9-3: Precision time protocol for power utility automation, May 2016.

Autoren

Prof. Dr. Hubert Kirmann ist Geschäftsführer von Solutil.
→ Solutil, 5405 Baden
→ hubert.kirmann@solutil.ch

Roman Graf ist Produktmanager bei ABB.
→ ABB, 5400 Baden
→ roman.graf@ch.abb.com

RÉSUMÉ

Des temps précis au sein des réseaux électriques

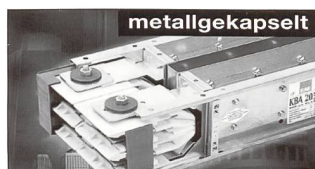
Une distribution de temps aussi exacte que possible selon la norme IEC/IEEE 61850-9-3

La protection et la stabilité des réseaux électriques reposent sur la mesure de courant et de tension des nœuds critiques du réseau à l'échelle d'un pays ou d'un continent. Ces valeurs sont échangées par un réseau de type Internet, dont le retard de transmission varie considérablement, contrairement aux lignes téléphoniques d'antan. Pour pouvoir les comparer, ces valeurs sont estampillées avec le temps absolu de leur échantillonnage, à la microseconde près.

Bien que les satellites de navigation GPS ou Galileo offrent une distribution de temps avec la précision requise, certaines entreprises d'électricité préfèrent une synchronisation par le réseau même qui transporte les données, ne

serait-ce que pour assurer la redondance des sources de temps. Les protocoles de mise à l'heure d'Internet, NTP/SNTP n'offrent pas une précision suffisante et des directives de la norme IEEE/CEI 61588 sont employées. De même, au sein de la sous-station, une synchronisation à la microseconde près est requise, en particulier pour la « sous-station digitale » avec son « bus de processus ». Dans ce but, la CEI a, en coopération avec l'IEEE, publié la norme IEC/IEEE 61850-9-3 de distribution précise du temps. Ces directives de la norme CEI 61588 avaient été spécifiées et réalisées en Suisse dans le cadre d'une coopération du Centre de recherche ABB à Baden, de l'EPFL et de la ZHAW de Winterthur.

HUBERT KIRRMANN



LANZ Stromschienen 25 A – 6000 A
unsere Kernkompetenz   

lanz ist der marktführende Schweizer Stromschienenhersteller mit langjähriger Erfahrung und komplettem Lieferprogramm:

Verlangen Sie Beratung und Offerte:

lanz oensingen ag 4702 Oensingen Tel. 062 388 21 21



lanz oensingen ag
CH-4702 Oensingen
Südringstrasse 2
www.lanz-oens.com
info@lanz-oens.com
Tel. ++41/062 388 21 21
Fax ++41/062 388 24 24

SORGFALT, SERVICE
UND HOCHWERTIGER
OFFSETDRUCK.

www.somedia-production.ch

somedia
PRODUCTION

PRINT VIDEO WEB



Jetzt anmelden!
strom.ch/veranstaltungen

Anschluss und Betrieb von dezentralen Speichern

Mittwoch, 28. Juni 2017
Hotel Arte, Olten

Der technologische Fortschritt und die sinkenden Kosten für Batteriespeicher führen zu einem Paradigmenwechsel. Sowohl für die Energieversorger als auch für die Installateure ist die Etablierung und Anwendung von effizienten und stabilen Anschluss- und Betriebsbedingungen wichtig. Die Fachtagung beschäftigt sich umfassend mit dem Thema der dezentralen Speicherung.

SWISSOLAR 

VSE
LES