

Messungen des Zeitverhaltens in Schaltanlagen in Namibia mit DANEO 400

Helgo Müller, Chris Viljoen, David Magongo (NamPower (Pty) Ltd Namibia)

Zusammenfassung

Bei Schutz-, Automatisierungs- und Steuerungssystemen ist das Timing von Steuer- und Messsignalen von entscheidender Bedeutung. Dies bezieht sich vor allem auf das Instanzieren, Senden und Empfangen solcher Signale wie auch das Reagieren darauf. Das Timing muss präzise und zuverlässig sein, und erfordert eine sorgfältige Koordinierung, damit jegliche Zweideutigkeit ausgeschlossen werden kann bei dem Erstellen, dem Betrieb, der Wartung und der Fehlerdiagnose eines Systems.

Bei IEC 61850-basierten Systemen stellt diese Koordinierung eine interessante Aufgabe dar, die auch nicht ohne Herausforderungen bleibt. Signale erstrecken sich über beide, die physikalische Domäne (Spannungs-/Stromsignale, Relaiskontakte, etc.) als auch die „virtuelle“ Domäne (GOOSE und Sampled Values). Beide Domänen sind von gleicher Bedeutsamkeit und haben direkte sowie indirekte Auswirkungen aufeinander.

Darüber hinaus müssen Faktoren wie variierende und unvorhersehbare Netzwerklasten, manchmal sogar teilweise Nichtverfügbarkeit, schlechte Verbindungen, usw., berücksichtigt werden. Vor allem wenn man sich waghalsigen Herausforderungen stellt wie zum Beispiel geografisch aufgeteilter Übertragung, GOOSE via WAN, vielleicht sogar VPN Tunnel, wird der Determinismus und die Komplexität des Timing vielfach komplizierter.

Es stellt sich somit die Frage, wie kann das Timing richtig gemessen und bewertet werden in Systemen unterschiedlicher Größe, variierend zwischen ein paar einzelnen Geräten bis zu ein paar hundert Geräten? Die Timing Parameter, meistens verteilt über eine Vielfalt unterschiedlicher logischer als auch elektrischer Netzwerke bei öfters unterschiedlichen Standorten, müssen erfasst und analysiert werden. Dies an sich ist bereits eine beachtenswerte Herausforderung.

In diesem Fachbeitrag wird also das hybride Messen des Zeitverhaltens in Schaltanlagen untersucht und es wird erläutert warum, wie und wofür dies von statten geht.

Die Studie hat ergeben, dass es durchaus möglich ist Entwurf- und Leistungspezifikationen von IEC 61850 Systemen mittels präziser Messungen zu untersuchen und zu bestätigen. Sie liefert auch aufschlussreiche Informationen über die Einflüsse der jeweils elektrischen und virtuellen Signale und

Verarbeitungsverzögerungen eines IEC 61850-basierten Systems.

Einführung

Das korrekte Timing von Ereignissen und Signalen in und um eine Schaltanlage ist von entscheidender Bedeutung, da es fundamental beiträgt zu dem sicheren und effektiven Betrieb eines elektrischen Übertragungsnetzes. In modernen IEC 61850-basierten Anlagen kann die Anzahl von solchen Ereignissen und Signalen mit Leichtigkeit Quantitäten überschreiten die noch durch menschliche Beobachtung und Verständnis überschaubar und wartungsfähig sind.

Daher ist es notwendig geworden, Methoden und Plattformen zu entwickeln die das Erfassen, die Analyse, die Präsentation und das Koordinieren von Ereignissen und Signalen in der Zeit Domäne zu vereinfachen und, zumindest teilweise, zu automatisieren. Diese Anforderung wird noch komplizierter durch die Tatsache, dass mit IEC 61850, Ereignisse und Signale gleichzeitig existieren können als physikalische (elektrische) sowie virtuelle (Daten-) Entitäten. Sie alle enthalten wichtige Informationen, manchmal in strukturierter Form und andermal in unstrukturierter Form. Diese Brocken und Einzelteilchen müssen konsolidiert und ordnungsgemäß in Zusammenhang miteinander gebracht werden, vor allem bezüglich ihrer exakten Timing-Parameter.

Die Wichtigkeit des Zeitverhaltens

Obwohl es relativ offensichtlich scheint warum es wichtig ist die exakten Timing-Parameter einer Schaltanlage zu kennen, zu verstehen und zu koordinieren, ist es durchaus sinnvoll, mehr darüber nachzudenken.

Schutz-, Automatisierungs- und Steuerungsfunktionen (auch bekannt als PAC, vom englischen „Protection, Automation and Control“) kommen einem natürlich als erstes in den Sinn. Diese müssen ordnungsgemäß eingerichtet und getestet werden so dass sie als harmonisches System zusammenarbeiten können. Ihre Sequenzierung, Reaktionszeiten und operativen Grenzwerte sind durchaus sehr zeitabhängig.

Diese Zeitabhängigkeit ist auch von wesentlicher Bedeutung bei Testen zwecks Fabrikabnahme. Lieferanten wie auch Kunden müssen bestätigen können, dass Spezifikationen und Anforderungen eingehalten werden.

Bei der Fehlersuche ist Timing Information auch nicht wegzudenken. Dann wenn Fehler auftreten, muss der Ablauf von Ereignissen und Signalen fachgerecht und verständlich präsentiert und analysiert werden, um die Fehlersuche zu ermöglichen.

Aber es gibt auch subtileren Nutzen für präzise und zuverlässige Timing Informationen. Condition Monitoring, zum Beispiel, könnte großen Nutzen ziehen aus der Verfügbarkeit akkurater Timing-Informationen um, beispielsweise, in Erscheinung tretende Wartungsanforderungen frühzeitig zu erkennen.

Das Erfassen von Timing-Daten

Wie bereits erwähnt, trifft die Erfassung von Ereignissen und Signalen innerhalb der Zeitdomäne auf elektrische sowie auch virtuelle Signale zu. Da in dem Fall dieser Studie virtuelle Signale definiert werden durch den IEC 61850 Standard, beschränkt sich deren Erfassung im Wesentlichen auf die Daten im Netzwerk. Damit ist im Prinzip ein Gerät erforderlich welches:

- Analoge und binäre elektrische Signale erfassen kann
- Datenpakete in quasi-Echtzeit erfassen und analysieren kann
- Allen Signalen und Ereignissen einen Zeitstempel hinzufügen kann mittels einer sehr genauen Zeitquelle, wie zum Beispiel IEEE 1588 (PTP).

Für den Zweck dieser Studie, wurde das DANEO 400 von OMICRON als ein gut geeignetes Gerät identifiziert. Das DANEO 400:

- Erfasst Datenpakete auf dem Kommunikationsnetzwerk
- Erfasst analoge und binäre elektrische Signale
- Nutzt PTP zur Zeitstempelung
- Speichert Messdaten
- Bietet Möglichkeiten zeitlich synchronisierte Daten und Ereignisse darzustellen
- Bietet dem Benutzer lokalen Zugriff als auch Zugriff mittels dem Netzwerk
- Ermöglicht den Netzwerkzugriff ohne Eingriff auf die Daten des Stations-LANs ausüben zu müssen und beeinträchtigt dadurch nicht die wesentlichen und sensitiven Kommunikationen der Schaltanlage.



Bild 1 OMICRON DANEO 400

Der Prüfaufbau

Um besser vertraut zu werden mit dem DANEO 400 und den vorliegenden Messmethoden wurde ein Prüfstand eingerichtet bei einem Umschaltwerk im Westen Namibias. Dieses wurde speziell daher gewählt, weil es Teil eines elektrischen Übertragungsnetzes ist, das aus vier UWs besteht die wiederum mittels Lichtwellenleiter in Ethernet Ringstruktur verbunden sind. Die UWs benutzen daher den gleichen Kommunikationsbus und sind auf dem gleichen Netzwerk, sind jedoch geografisch voneinander getrennt. Eine schematische Darstellung der Netzwerkverbindungen des Systems ist in Bild 1 dargestellt. Der Prüfstand wurde bei T1 eingerichtet.

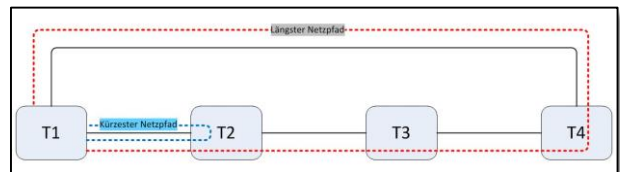


Bild 2 Netzwerk

Diese Aufstellung ermöglicht lokale Messungen bei T1, bietet aber auch die Möglichkeit für Zeitmessungen der Verbreitung von Netzwerkdaten über unterschiedliche Pfade, wie in Bild 2 dargestellt wird, durch „Kurzester Netzpfad“ und „Langer Netzpfad“.

Die Ausrüstung die zum Messen und Testen verwendet wurde wird in Bild 3 gezeigt. Sie besteht aus:

- IO Box: Dient zum Erzeugen eines DC-Impulses, der den Testablauf auslöst.
- Zwei ISIO 200: Diese sind über das Netz miteinander verbunden und so konfiguriert, dass ein eingehender elektrischer Impuls auf dem ersten ISIO 200 wahrgenommen und als

GOOSE über das Netzwerk transportiert wird um dann vom zweiten ISIO 200 in einen ausgehenden elektrischen Impuls umgewandelt zu werden.

- DANE0 400: Misst und notiert den eingehenden elektrischen Impuls, den dazugehörigen ausgehenden Impuls, sowie auch die GOOSE auf dem Netzwerk.
- Laptop: Steuert über das Netzwerk die IO Box an, um den Puls auszulösen und dient auch als Schnittstelle für den Benutzer zum DANE0 400.
- Ethernet Switch: Ist Teil der Netzwerkinfrastruktur des UWs und dient zur Datenübertragung der GOOSE und anderen relevanten Paketen auf dem Netzwerk

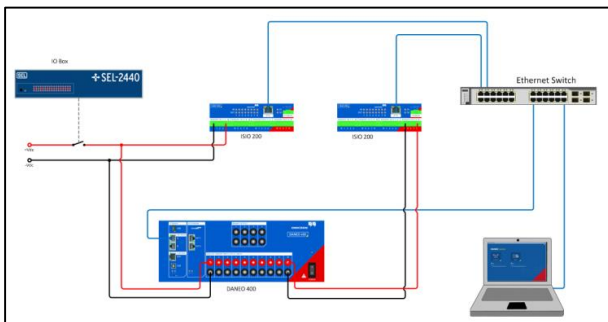


Bild 3 Prüfaufbau

Im Prinzip kann die Aufstellung in zwei Schichten getrennt werden, eine elektrische Schicht und eine Netzwerkschicht (siehe Bild 4 und Bild 5);

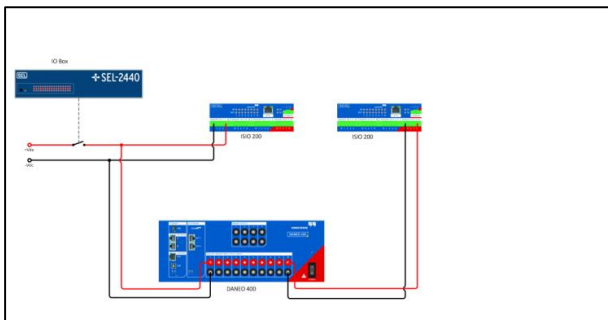


Bild 4 Elektrische Schicht

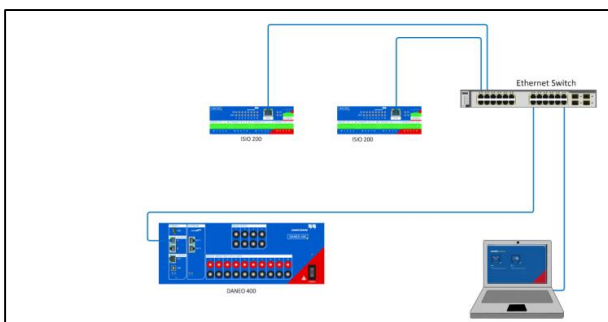


Bild 5 Netzwerkschicht

Wie zu sehen ist, überwacht das DANE0 400 beide Schichten und funktioniert somit als ein voll hybrides Testgerät.

Messkonzepte

Obwohl die Messungen sich hauptsächlich um das Timing (Signallaufzeit und Verzögerungen) von GOOSEs handeln, erfasst der Testaufbau inhärent auch Timing-Daten der Signalverarbeitungsdauer und Reaktionsvermögen der Geräte. Es wurde festgestellt, dass dies durchaus vorteilhaft ist für die Studie, vor allem in Betracht dessen wie ausschlaggebend diese Testergebnisse in der Praxis bei bestehenden PAC-Systemen angewandt werden können.

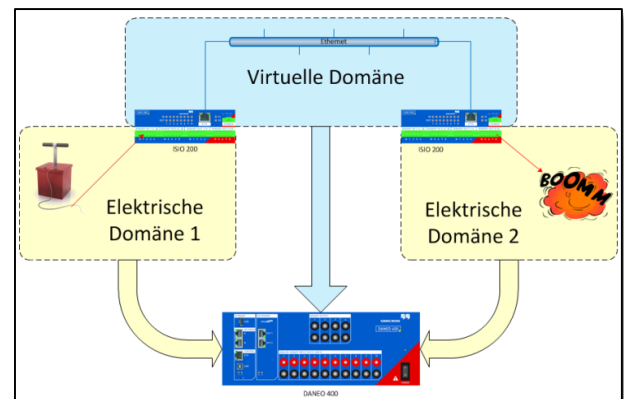


Bild 6 Unterschiedliche Domänen- elektrisch und virtuell

Die Herausforderung liegt darin, die Zeitpunkte und Zeitspannen zu messen bezüglich der eingehenden Impulse im Gegensatz zu den darauf erscheinenden Reaktionen, zutreffend für die jeweilige Domäne, elektrisch als auch virtuell (siehe Bild 6). Wie bereits genannt, ist das DANE0 400 gerade zu diesem Zweck entworfen worden.

Kurzgefasst, die Timing-Informationen, die festgesellt werden können, sind (siehe Bild 7):

- Zeitdauer vom Absenden der GOOSE Botschaft bis zum Empfangen der GOOSE Botschaft, t_{G-A} bis t_{G-B} ist gleich Δt_G (die Laufzeit durch das Netzwerk).
- Die Zeitdauer der "elektrischen Domäne", Δt_{E-G} , ist die Summe von:
- Dem Empfangen des elektrischen Impulses bis zum Absenden der GOOSE, t_{E-A} bis t_{G-A} (Verarbeitungsdauer des Gerätes),
- Dem Empfangen der GOOSE bis zum Moment der elektrischen Reaktion, t_{G-B} bis t_{E-B} (Reaktionsdauer des Gerätes),

Die Reaktionsdauer des gesamten Systems ist inhärent eine Kombination der "elektrischen Übertragungszeit" (Verzögerungen von elektromechanischen Relais, von Ausgangskontakten, usw.) und der Netzwerk-Übertragungsdauer, t_{E-A} bis t_{E-B} , ist gleich Δt_E (Reaktionsdauer des Systems).

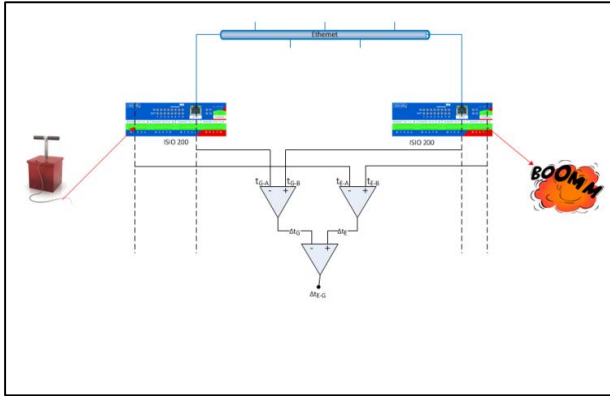


Bild 7 Konzeptionelle Zeitpunkte

Testszenerien

PAC Systeme sind durchwegs entweder "lokale" oder "aufgeteilte" Systeme, das heißt Systeme die sich entweder beschränken auf einen einzelnen geografischen Standort/Netzwerk, oder die sich über mehrere geografische Standorte wie auch Netzwerke erstrecken. Glücklicherweise führt eine geografische Aufteilung nicht unbedingt auch zu einer Aufteilung des Netzwerks. Das erste Testszenario das hier erläutert wird bezieht sich auf ein gänzlich „lokales“ System, während das zweite Szenario eine Kombination ist aus einem Einzelnetzwerk welches jedoch geografisch aufgeteilt ist.

Das „lokale“ Test Szenario ist in Bild 8 gezeigt. Dieser Test wurde bei nur einem UW lokal durchgeführt. Die Impulse und Reaktionen wurden auf dem lokalen PAC Netzwerk gemessen während es sich im normalen Einsatz befand. Um jedoch keine unnötigen Störungen in dem PAC-System zu verursachen, wurden dem Netzwerk zwei ISIO 200 Geräte hinzugefügt, die wiederum mit ihren elektrischen Kontakten an freie Kanäle einer IO Box des Umschaltwerks angeschlossen wurden (siehe auch Bild 3).

Für das „verteilte“ Testszenario (Bild 9) war es erforderlich, sowohl die Messgeräte bei dem ersten Umschaltwerk (welches für die „lokalen“ Tests benutzt wurde) aufzustellen, als auch bei einem zweitem Umschaltwerk in etwa 20 km Entfernung. Der benötigte Fernzugriff von dem zweiten Werk zu den Testgeräten bei dem ersten Werk wurde ebenfalls bewerkstelligt. Wie auch bei dem „lokalen“ Testszenario wurden wieder zwei ISIO 200 eingesetzt, um keine unnötigen Störungen zu verursachen. Allerdings wurde in diesem Fall das

zweite ISIO 200 in dem zweiten Umschaltwerk angeschlossen.

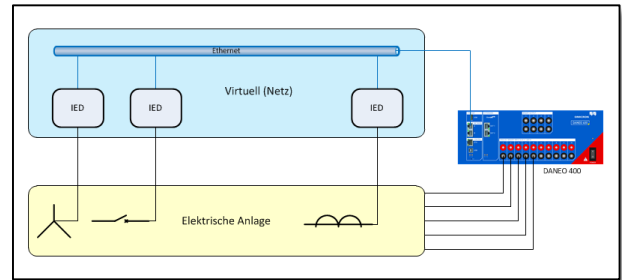


Bild 8 Lokales Testszenario

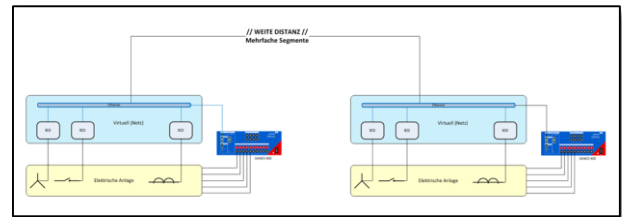


Bild 9 Verteiltes Testszenario

Messresultate und Ergebnisse

Die Messresultate des „lokalen“ Tests sind wie folgt:

- Zeitdauer zwischen elektrischem Impuls bis zum empfangen des GOOSE-Telegrammes, t_{E-A} bis t_{G-A} (ISIO 200 Verarbeitungsdauer inkl. Entprellung), $|t_{E-A} - t_{G-A}| = 1.125 \text{ ms}$ (Bild 10)
- GOOSE bis zur elektrischen Reaktion, t_{G-A} bis t_{E-B} , $|t_{G-A} - t_{E-B}| = 4.275 \text{ ms}$ (Bild 11)

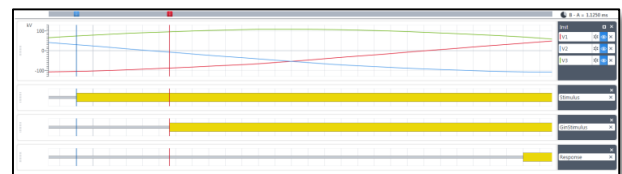


Bild 10 Impuls bis zur GOOSE

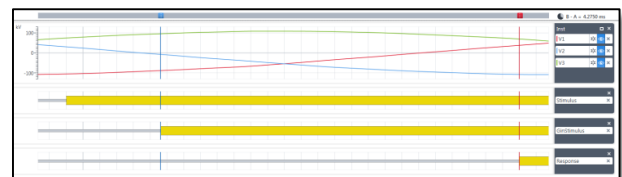


Bild 11 GOOSE bis zur Reaktion

Diese Zeit zwischen GOOSE und elektrischer Reaktion ist hauptsächlich beeinflusst durch die Verarbeitungszeit im ISIO 200, was das Schließen des Relaiskontaktes am Ausgang des ISIO 200

enthält. Die Spezifikationen des ISIO 200 geben hierfür eine Zeitdauer von <5ms an. Der Einfluss des lokalen Netzwerkes auf die gesamte Verzögerungszeit wurde als vernachlässigbar angenommen, da das DANE0 und ISIO am selben Netzwerk-Switch angeschlossen waren. Diese Annahme hat sich bei dem anschließenden „verteilten“ Testszenario bestätigt. Dort lässt sich feststellen, dass die Verarbeitungszeit den größten Teil der gemessenen 4.275ms ausmacht und dass die Laufzeitverzögerung der GOOSE im lokalen Netzwerk dagegen vernachlässigbar ist. Es wurde auch eine hervorragende Wiederholpräzision festgestellt.

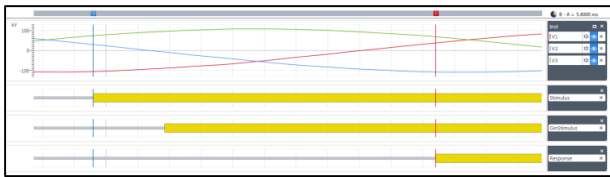


Bild 12 Reaktion des gesamten Systems

Bild 12 zeigt die Reaktionsdauer und daher die Timing-Leistungsfähigkeit des gesamten Testsystems, $|t_{E-A} - t_{E-B}| = 5.4 \text{ ms}$. Angesichts der Tatsache, dass der größte Teil der Verzögerungsspannen aus Verarbeitungsdauer besteht und dass die Netzwerk-Laufzeiten vergleichbar unbedeutend sind, ist es bemerkenswert festzustellen, dass die getesteten Reaktionsdauern sich kaum änderten. Dies ergibt eine zufriedenstellende Leistungsfähigkeit des Systems.

Das „verteilte“ Testszenario hat sich insofern als besonders erwiesen, da es die Möglichkeit bietet, Timing- und Laufzeitmessungen von GOOSE zu erfassen, die ein geografisch weit verbreitetes Netzwerk mit mehreren Knotenpunkten durchschreiten müssen. Wichtig zu beachten ist, dass für diese Messungen ein äußerst stabiler, zuverlässiger und präziser Synchronisationsmechanismus in beiden UW erforderlich ist. Die OTMC 100 PTP Grandmaster Clock von OMICRON wurde für diesen Zweck eingesetzt.

Dieses Szenario bewirkte somit die Möglichkeit, die Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Netzwerkpfade zu ermitteln und ergab für diese Studie zwei Sätze von Messresultaten (siehe auch Bild 2). Zuerst wurde der kürzeste Netzpfad getestet, die Messresultate sind in Bild 13 zu sehen. Bei 504 erfassten Ethernetpaketen wurde im Durchschnitt eine Verzögerung von 148.8µs gemessen. Es gab auch einen Ausreißer bei 200µs, doch dies ist akzeptabel und überschreitet nicht die Konstruktionstoleranzen des Systems.

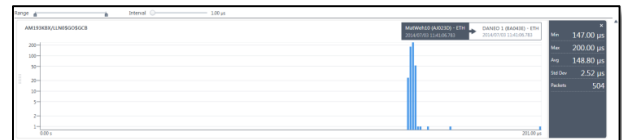


Bild 13 Laufzeitverzögerungen im kürzesten System

Als nächstes wurde der längste Pfad getestet und es wurde festgestellt, dass das System nach wie vor zufriedenstellend funktionierte, trotz der mehrfach erhöhten Anzahl von Netzwerksegmenten, die durchschritten werden mussten. Die Messresultate sind in Bild 14 zu sehen. Im Durchschnitt wurden 476.48µs gemessen bei insgesamt 556 erfassten Ethernet-Paketen. Wiederum gab es einen Ausreißer bei 658µs und wiederum ist dies auch akzeptabel und überschreitet nicht die Konstruktionstoleranzen des Systems.



Bild 14 Längster Pfad Laufzeitverzögerungen

Insgesamt ergaben beide Tests im Durchschnitt eine GOOSE Laufzeitverzögerung von weniger als 500µs. Diese war somit für beide Fälle ein nichtiger Beitrag zur gesamten Zeitspanne der Gesamtreaktion des Systems. Bild 15 zeigt die Messungen der Gesamtreaktion, vom Startimpuls bis hin zum finalen Schalten des elektrischen Relaiskontakts.

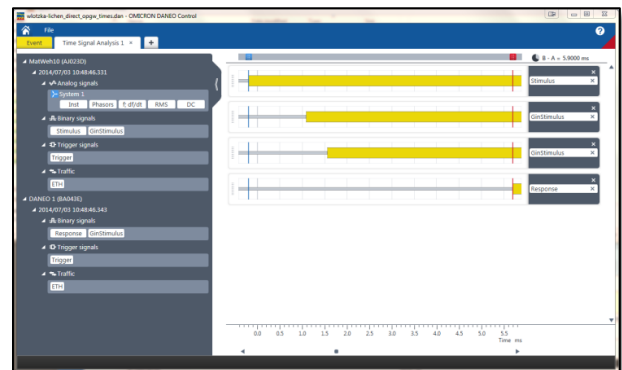


Bild 15 Messung der Gesamtreaktion des Systems

Vergleicht man die Resultate des „aufgeteilten“ Testszenarios mit denen des „lokalen“, lässt sich feststellen, dass die Laufzeitverzögerung des Netzwerkes im praktischen Rahmen kaum irgendeinen nennenswerten Einfluss hat. Die Differenz zwischen den gemessenen 5.9ms und 5.4ms ist grob 500µs, eine Dauer die übereinstimmt mit den Messungen der GOOSE Laufzeitverzögerungen. Ausschlaggebend ist aber vor allem, dass die Differenz weniger ist als 1ms, welches der angegebene Grenzwert war für die Erstellung der UWs mittels denen die Tests

durchgeführt wurden. Bild 16 bestätigt dies auch noch einmal, denn die per Probelauf gemessene GOOSE Laufzeitverzögerung des längsten Pfads betrug auch 474µs.

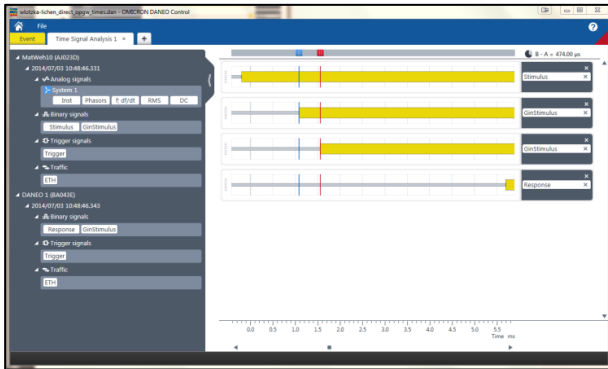


Bild 16 GOOSE Laufzeitverzögerung

Weitere mögliche Tests

Wie bereits genannt, wurden die Tests für diese Studie auf einem Netzwerk durchgeführt welches zwar ein einzelnes LAN ist, jedoch geografisch verteilt ist. Die Absicht der Autoren ist, um zukünftig GOOSE Botschaften auch via Router in unterschiedliche Netze zu schicken und die Verlässlichkeit und das Leistungsvermögen solch einer Konfiguration zu untersuchen. Mit den Messresultaten können weitere Möglichkeiten in Erwägung gebracht werden:

- WAMPAC Systeme (vom englischen "Wide Area Monitoring Protection and Control") mittels Inter-UW GOOSEs.
- Selektives GOOSE-routing.
- Ausbreitung intelligenter PAC Funktionen in das SMART Grid.
- Bewertung und Datenbanken für unterschiedliche Netzwerk-Architekturen und -Systeme bezüglich IEC 61850-basiertes Leistungsvermögen
- Erweiterung der Steuer- und Überwachungsfähigkeiten konventioneller SCADA Systeme.

Abschluss

Die Studie hat ergeben, dass es durchaus möglich ist, Entwurf- und Leistungsspezifikationen von IEC 61850 Systemen mittels Messungen zu untersuchen und zu bestätigen. Moderne Technologien ermöglichen das problemlose Zusammenstellen von IEC 61850 Systemen die harmonisch und zuverlässig miteinander funktionieren. Was das Zeitverhalten betrifft, nähern sich diese Systeme einem fast komplett deterministischen Modell.

Es wurde festgestellt, dass in der Netzwerk-, bzw. virtuellen Domäne die Anzahl an Netzwerksegmenten, die durchschritten werden müssen, den ausschlaggebenden Einfluss auf Laufzeitverzögerungen hat. Diese Verzögerungen sind jedoch unbedeutend im Vergleich zu den Verzögerungen der elektrischen Domäne (zu denen auch Verarbeitungsverzögerungen gehören), solange sie generell unter dem Grenzwert von 1ms bleiben. Sobald die Verzögerungen durch präzise Messungen bekannt geworden sind, wird es relativ einfach, das Leistungsvermögen unterschiedlicher Systeme aus ähnlichen Bauelementen voraus abzuschätzen.

Die Haupt- und Reservepfade des Netzwerks eines Systems (und so schließlich auch das ganze System) können individuell untersucht und getestet werden. Dies erzeugt wertvolle Informationen die im Grunde genommen das Leistungsvermögen des gesamten Systems erläutern.

Letztendlich geht es darum, was die Anforderungen und Entwurfsspezifikationen einer gewünschten Anlage sind. Es ist erforderlich sich zu Anfang realistische, praktische und logische Ziele zu setzen um gute und praktisch akzeptable IEC 61850-basierte Lösungen zu erstellen.

Über die Autoren

Helgo Müller (helgo.muller@nampower.com.na),
Chris Viljoen (chris.viljoen@nampower.com.na)
und David Magongo
(david.magongo@nampower.com.na) sind bei
NamPower (Pty) Ltd in
15 Luther Street
Windhoek
NAMIBIA tätig.

OMICRON ist ein weltweit tätiges Unternehmen, das innovative Prüf- und Diagnoselösungen für die elektrische Energieversorgung entwickelt und vertreibt. Der Einsatz von OMICRON-Produkten bietet höchste Zuverlässigkeit bei der Zustandsbeurteilung von primär- und sekundärtechnischen Betriebsmitteln. Umfassende Dienstleistungen in den Bereichen Beratung, Inbetriebnahme, Prüfung, Diagnose und Schulung runden das Leistungsangebot ab.

Kunden in mehr als 140 Ländern profitieren von der Fähigkeit des Unternehmens, neueste Technologien in Produkte mit überragender Qualität umzusetzen. Servicezentren auf allen Kontinenten bieten zudem ein breites Anwendungswissen und erstklassigen Kundensupport. All dies, zusammen mit einem starken Netz von Vertriebspartnern, ließ OMICRON zu einem Marktführer der elektrischen Energiewirtschaft werden.

Mehr Informationen, eine Übersicht der verfügbaren Literatur und detaillierte Kontaktinformationen unserer weltweiten Niederlassungen finden Sie auf unserer Website.