

Die Rolle von Merging-Units und der asynchronen Abtastung in Verteilungssystemen

Symposium Energieinnovation – EnInnov 2010

Verfasser:

DI Emanuel Fuchs

Projektleiter:

Univ.-Prof. DI Dr. Lothar Fickert

Technische Universität Graz
Institut für Elektrische Anlagen

Präsentationsinhalt

Inhaltsverzeichnis:

- Grundlagen Merging-Unit
 - IEC 60044-8
 - IEC 61850
- Praktische Realisierung in Netzen
- Asynchrone Abtastung
- Interpolationsverfahren
 - Lineare Interpolation
 - Lagrange Interpolation
 - Spline Interpolation
- Testsignale
- Berechnungs- und Simulationsergebnisse
- Zusammenfassung
- Ausblick

Merging-Unit



Die Normen IEC 60044-8 und IEC 61850 definieren das logische Gerät „Merging-Unit“ (MU).

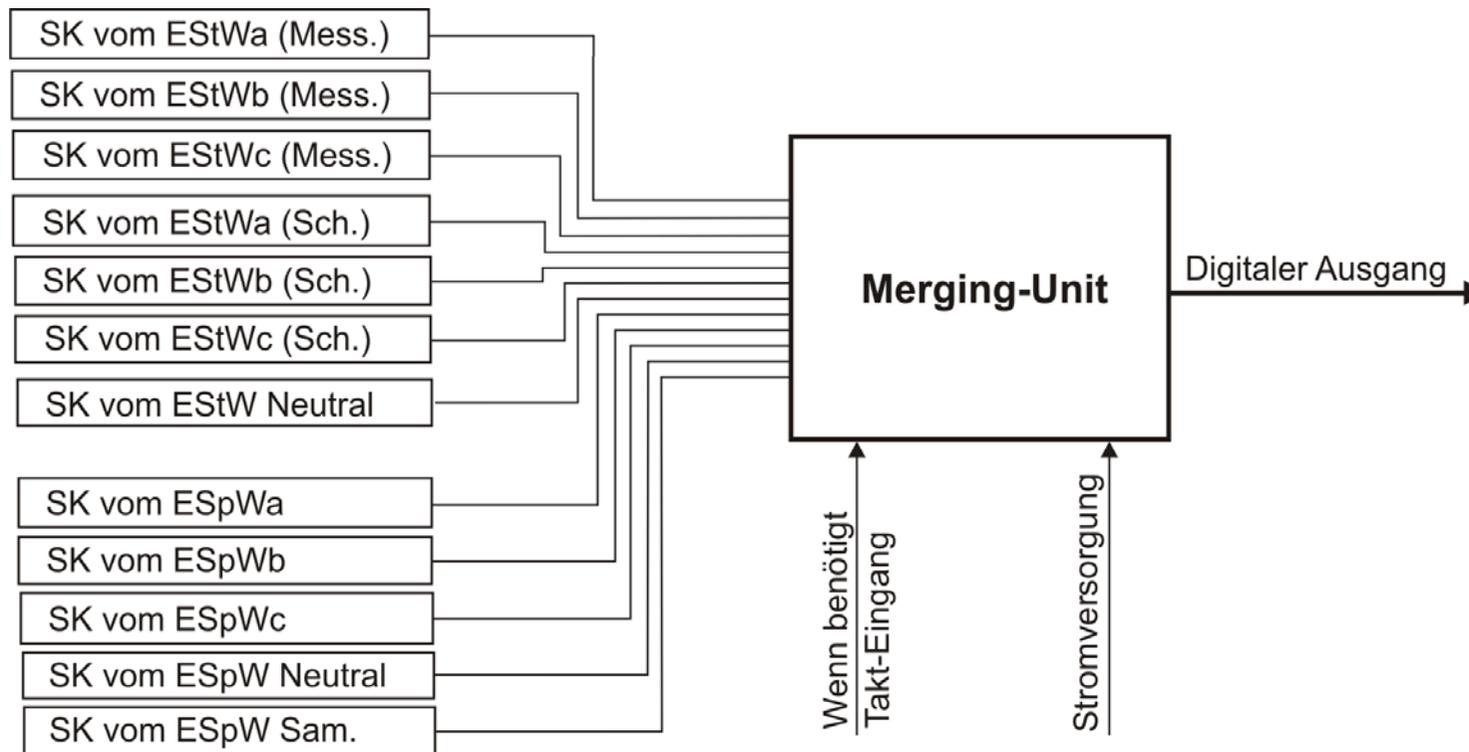
Definition:

Physikalische Einheit die zur zeitkohärenten Kombination von Strom- und Spannungswerten aus den Sekundärkreisen dient. Die MU kann teil eines Messwandlers im Feld oder eine separate Einheit sein.

Eckdaten einer MU:

- Bis zu 12 Messeingänge (digital oder analog)
- Messeingänge nicht normiert (Hersteller spezifisch)
- Synchrone Abtastung der Messeingänge
- Genormter Ausgang

Merging-Unit



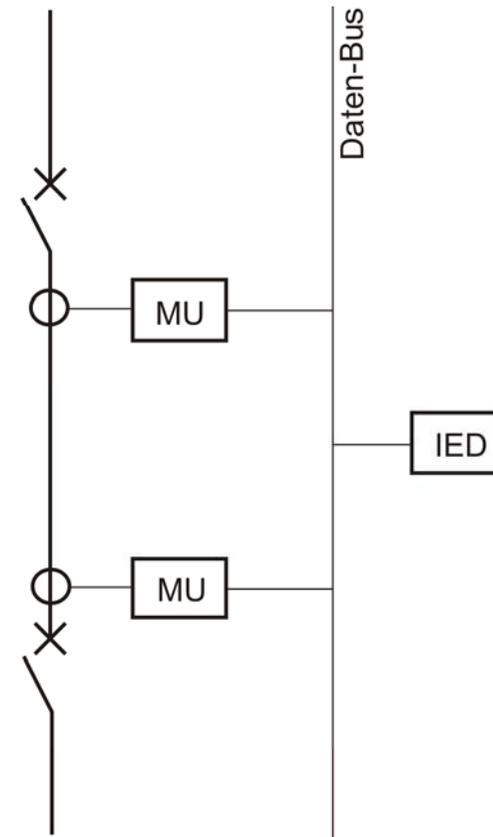
Beispiel für die Verwendung einer MU

Praktische Realisierung in Netzen

- Mehrere MUs in einem Umspannwerk
- Zugriff eines „Intelligent Electronic Device“ (IED) auf unterschiedliche MUs

Zeitsynchronisation nach IEC 60044-8 zwischen den Datenkanälen der verschiedenen MUs:

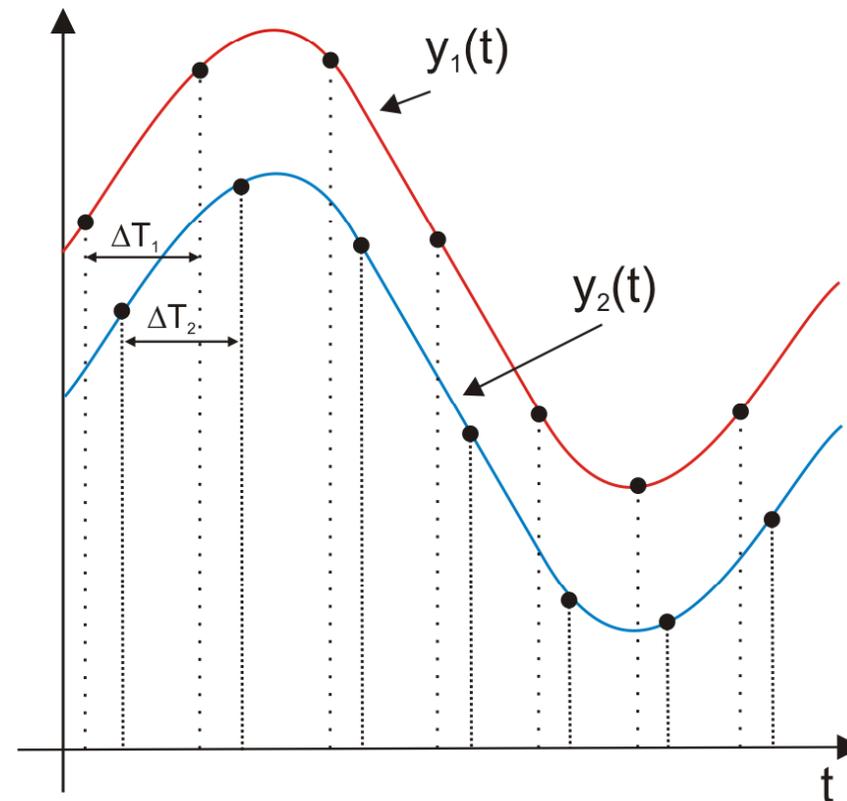
- Synchronisation durch stationsweite synchrone Abtastung
- Synchronisation durch Interpolation (asynchrone Abtastung)



Asynchrone Abtastung

- Äquidistante Abtastung in den MUs
- Synchroner Abtastung aller Messeingänge in einer MU
- Asynchrone Abtastung der MUs untereinander

Weitere Präsentation:
Synchronisierung durch Interpolation



Gegenüberstellung zweier Datenkanäle in
zwei unterschiedlichen MUs

Interpolationsverfahren



Folgende Interpolationsverfahren wurden untersucht:

- Linear-Interpolation
- Lagrange-Interpolation
- Spline-Interpolation
 - Natürliche Randbedingung
 - Not-a-knot Randbedingung
 - $E(\alpha)$ -Randbedingung

Mit Ausnahme der Linear-Interpolation wurden kubische Interpolationen verwendet. Es werden nun kurz die Grundlagen der einzelnen Interpolationsverfahren dargestellt.

Linear-Interpolation

Mathematischer Ansatz:

$$p_n(x) = \sum_{\mu=0}^n f_{\mu} \cdot L_{\mu}(x)$$

$$L_0(x) = \frac{x - x_1}{x_0 - x_1}$$

$$L_1(x) = \frac{x - x_0}{x_1 - x_0}$$

$$p_1(x) = L_0(x) \cdot f_0 + L_1(x) \cdot f_1$$

Fehlerabschätzung:

$$\varepsilon_n(x) = |f(x) - p_n(x)| \leq \frac{\max_{\xi \in [a,b]} |f^{(n+1)}(\xi)|}{(n+1)!} \left| \prod_{i=0}^n (x - x_i) \right|$$



Lagrange-Interpolation

Mathematischer Ansatz:

$$p_n(x) = \sum_{\mu=0}^n f_{\mu} \cdot L_{\mu}(x)$$

$$L_{\mu}(x_i) = \delta_{\mu i} = \begin{cases} 1 & \mu=i \\ 0 & \mu \neq i \end{cases}$$

$$L_{\mu}(x) = \prod_{\substack{i=0 \\ i \neq \mu}}^n \frac{x - x_i}{x_{\mu} - x_i}$$



Kubisches Interpolationspolynom:

$$g(x) = p_3(x) = y_0 \cdot L_0 + y_1 \cdot L_1 + y_2 \cdot L_2 + y_3 \cdot L_3$$

Fehlerabschätzung:

$$\varepsilon_n(x) = |f(x) - p_n(x)| \leq \frac{\max_{\xi \in [a,b]} |f^{(n+1)}(\xi)|}{(n+1)!} \left| \prod_{i=0}^n (x - x_i) \right|$$

Spline-Interpolation

Kubisches Interpolationspolynom:

$$p_i(x) = a_i + b_i \cdot (x - x_i) + c_i \cdot (x - x_i)^2 + d_i \cdot (x - x_i)^3$$

Mathematischer Ansatz:

- $p(x)$ erfüllt die Interpolationsbedingung $p(x_i) = y_i$ ($i=0, 1, \dots, n-1$)
- $p(x)$ ist in jedem Teilintervall $[x_i, x_{i+1}]$ ein Polynom vom Grad ≤ 3
- $p(x)$ ist zweimal stetig differenzierbar im gesamten Approximationsintervall $[x_0, x_{n-1}]$
- $p(x)$ erfüllt spezielle Randbedingungen
 - Natürlicher Spline
 - Not-a-knot Bedingung
 - $E(\alpha)$ Bedingung (speziell die $E(3)$ Bedingung)



Idee: Kubisches
Polynom zwischen
zwei Abtastwerten



Spline Interpolation

Gleichungssystem für die Spline-Interpolation

$$h_i = x_{i+1} - x_i \quad \text{für } (i = 0, 1, \dots, n-2)$$

$$a_i = f_i \quad \text{für } (i=0, 1, \dots, n-1)$$

$$b_i = \frac{a_{i+1} - a_i}{h_i} - \frac{c_{i+1} - 2 \cdot c_i}{3} \cdot h_i \quad \text{für } (i = 0, 1, \dots, n-2)$$

$$d_i = \frac{c_{i+1} - c_i}{3 \cdot h_i} \quad \text{für } (i = 0, 1, \dots, n-2)$$

$$3 \cdot \left(\frac{a_{i+1} - a_i}{h_i} - \frac{a_i - a_{i-1}}{h_{i-1}} \right) = h_i \cdot c_{i+1} + (h_{i-1} + h_i) \cdot 2 \cdot c_i + h_{i-1} \cdot c_{i-1} \quad \text{für } (i=1, 2, \dots, n-2)$$

Die Koeffizienten c_i werden durch aufstellen des Gleichungssystems auf Basis von der letzten Gleichung und im Zusammenhang mit den Randbedingungen ermittelt.

Spline Interpolation

Natürliche Randbedingung:

Randbedingung: $p_0''(x_0) = p_{n-2}''(x_n) = 0 \Rightarrow c_0 = c_{n-2} = 0$

Fehlerabschätzung:

$$\max_{x_0 \leq x \leq x_n} |f(x) - p(x)| \leq \frac{1}{2} M \cdot h^2$$

$$M = \max |f''(x)| \quad \text{für } x_0 \leq x \leq x_n$$



Spline Interpolation

Not-a-knot Randbedingung:

Randbedingung: $p_0^{(3)}(x_1) = p_1^{(3)}(x_1)$; $p_{n-3}^{(3)}(x_{n-1}) = p_{n-2}^{(3)}(x_{n-1})$

Fehlerabschätzung:

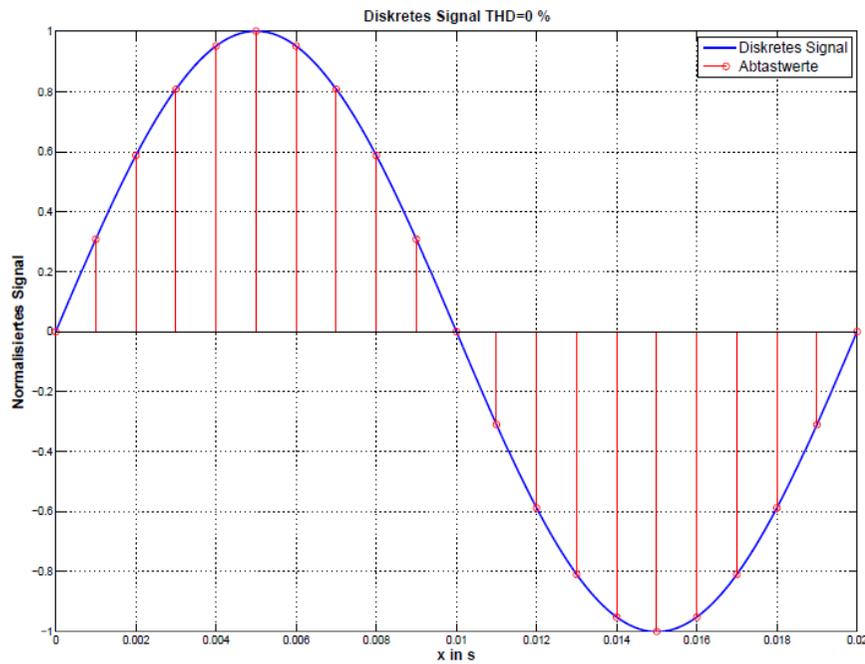
$$\|f(x) - p(x)\|_{\infty, [x_0, x_n]} \leq \frac{5}{384} \cdot \|f(x)^{(4)}\|_{\infty, [x_0, x_n]} \cdot h^4$$

E(α)-Randbedingung:

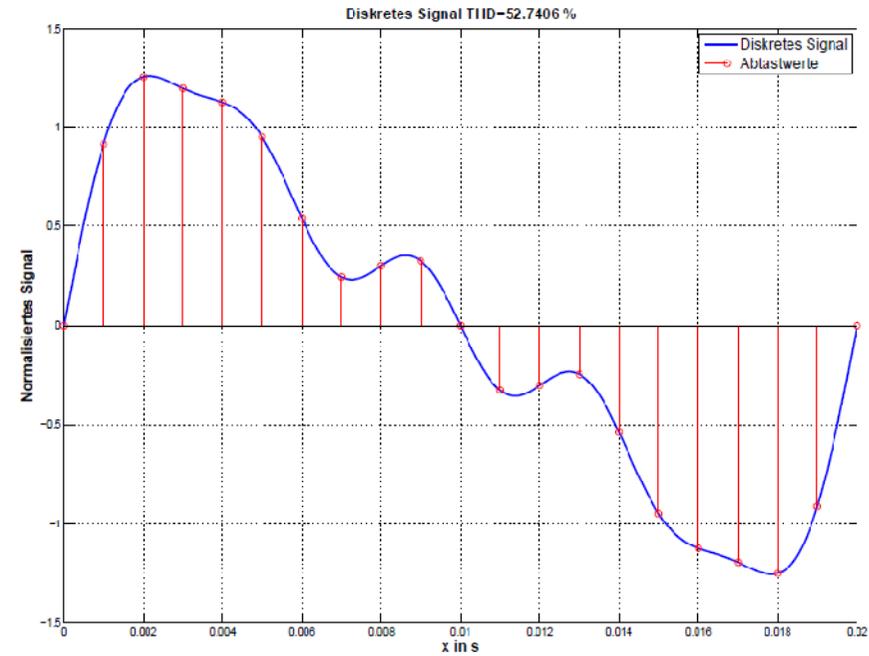
Die E(α)-Randbedingung wird als die mit den geringsten Abweichungen, bei der Spline-Interpolation, in der Literatur beschrieben. Die Angabe der Fehlerabschätzung erfolgt in diesem Fall nur durch die Simulation.



Testsignale



THD = 0 %



THD ~ 52 %

Signaleigenschaften:

$$f_N = 50 \text{ Hz}$$

$$f_S = 20 \cdot f_N$$

Berechnungs- und Simulationsergebnisse

		$h = \frac{2\pi}{20}$		$h = \frac{2\pi}{48}$		$h = \frac{2\pi}{80}$		
		Testsig. A	Testsig. B	Testsig. A	Testsig. B	Testsig. A	Testsig. B	
Fehlerabschätzung	Berechnet	1,2337%	8,5531%	0,2142%	1,4849%	0,0771%	0,5346%	Lineare Interpolation
	Simuliert	1,2160%	7,8084%	0,2140%	1,4455%	0,0770%	0,5304%	
	Berechnet	4,0580E-02	4,5550%	1,2230E-03	0,1373%	1,5854E-04	1,7793E-02	Lagrange Interpolation
	Simuliert	4,0100E-02	3,5100%	1,2000E-03	0,1200%	1,5840E-04	1,7550E-02	
	Berechnet	4,9348%	34,2126%	0,8567%	5,9396%	0,3084%	2,1383%	Spline - natürliche RB
	Simuliert	0,4900%	1,9800%	0,0841%	0,6000%	0,0305%	0,2110%	
	Berechnet	1,2680E-04	0,0142%	3,8220E-06	4,2900E-06	4,9500E-07	5,5600E-05	Spline - not-a-knot RB
	Simuliert	2,6220E-02	2,9600%	8,5000E-04	8,0000E-02	1,0980E-04	1,2110E-02	
	Simuliert	6,7600E-03	2,0200%	1,1000E-04	0,0400%	1,1290E-05	3,4000E-03	Spline - E(3) RB

...Gegenüberstellung von Linear-Interpolation und der exaktesten Interpolationsvariante für Testsignal B (THD ~ 52 %) bei unterschiedlichen Abtastraten

Zusammenfassung



Es wurden die folgenden 3 Interpolationsverfahren in Bezug auf die Genauigkeit evaluiert :

- Linear-Interpolation (“gerade Verbindung zwischen den Abtastwerten”)
- Lagrange-Interpolation (“kubisches Polynom zwischen 4 Abtastwerten”)
- Spline-Interpolation (“stückweise kubisches Polynom”)

Es konnte gezeigt werden, dass :

- bei der niedrigsten Abtastrate ($f_S=20 \cdot f_N$) und einem reinen Sinus die Fehlergrenze von bis zu 10^{-3} möglich ist.
- die Fehlerabschätzungen für die Spline-Interpolation, je nach Signalverlauf, mit Vorsicht zu betrachten sind
- bei einer Einschränkung der Abtastrate auf ($f_S=80 \cdot f_N$) bei dem einfachsten Interpolationsverfahren (Linear-Interpolation) der maximale Fehler auf ca. 0.08 %, bei einem reinen Sinus, bzw. auf ca. 0,55 %, bei einem THD von ~52 %, beschränkt ist

Ausblick



In der IEC 61850 kommt nur die synchrone Abtastung zum tragen. Die Interpolationsverfahren finden in diesem Fall in den Schutzgeräten Anwendung (z.B. um eine FFT zu optimieren)

Eine Einschränkung der Abtastrate auf höhere Werte (80, 256-fache Nennfrequenz) ermöglicht die Verwendung einfacher Interpolationsverfahren mit hinreichender Genauigkeit.

Es muss auf den Rechenaufwand der Interpolation in den Schutzgeräten bedacht genommen werden, um die Laufzeiten einhalten zu können.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Die Rolle von Merging-Units und der asynchronen Abtastung in Verteilungssystemen

Symposium Energieinnovation – EnInnov 2010

Ausarbeitung

DI Emanuel Fuchs

Projektleiter

Univ.-Prof. DI Dr. Lothar Fickert

Technische Universität Graz
Institut für Elektrische Anlagen
Inffeldgasse 18-I / A-8010 Graz
Tel. : ++43/(0)316 / 873 7551
Fax.: ++43/(0)316 / 873 7553
email:

<http://www.ifea.tugraz.at>

<http://portal.tugraz.at>