Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 72 (1981)

Heft: 9

Artikel: Digitale Messdatenverfassung in Drehstromsystemen

Autor: Burtschler, H. / Kästli, U. / Steiner, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905106

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: 09.07.2025

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

Digitale Messdatenerfassung in Drehstromsystemen

Von H. Burtscher, U. Kästli und J. Steiner

621.313.3:621.317.049.037.37;

Es wird ein Meßsystem zur gleichzeitigen Erfassung des Zustandes von vier Dreiphasensystemen mit Nulleiter beschrieben (Effektivwerte der Ströme und Spannungen, Wirk-, Schein- und Blindleistung sowie Leistungsfaktor). Das Gerät arbeitet vollständig digital unter Verwendung eines Mikrorechners. Für den besonders zeitkritischen Teil wurde eine spezielle Hardware entwickelt, deren Hauptelement ein schneller Multiplikator ist. Die Datenausgabe erfolgt auf analoge Kontrollinstrumente oder digital, z.B. an einen übergeordneten Rechner.

Description d'un système de mesure pour la saisie simultanée de quatre systèmes triphasés avec neutre: valeurs efficaces des courants et tensions, puissances active, apparente et réactive, ainsi que le facteur de puissance. L'appareil est entièrement numérisé, avec microordinateur. Pour la partie particulièrement critique en temps, un matériel spécial a été conçu, dont l'organe principal est un multiplicateur rapide. La présentation des données peut se faire par des appareils de contrôle analogiques ou numériquement, par exemple à un ordinateur à un niveau supérieur.

1. Einleitung

Bei vielen Problemen in der Energietechnik ist es notwendig, an verschiedenen Stellen in Dreiphasennetzen deren Zustand erfassen zu können. Bedingt durch den Einsatz von Stromrichtern usw. müssen dabei häufig Abweichungen der Signale von der Sinusform berücksichtigt werden. Auch unsymmetrische Belastungen sollen die Messung nicht verfälschen.

Das hier beschriebene Meßsystem wurde für den Einsatz in einem Netzmodell entwickelt, wo es vor allem die für Regelungsaufgaben notwendigen Informationen liefern soll. Folgende Anforderungen wurden gestellt:

- An vier Messpunkten sollen die Effektivwerte aller Ströme (inkl. Nulleiterstrom) und Spannungen, Wirk-, Blind- und Scheinleistung sowie der Leistungsfaktor bestimmt werden.
- Oberschwingungen bis ca. 1 kHz sollen berücksichtigt werden.
- Die Genauigkeit soll 1% betragen.
- Die Resultate sollen einerseits auf analogen Kontrollinstrumenten angezeigt werden, anderseits digital zur Weiterverarbeitung zur Verfügung stehen.
- Jede Netzperiode sollen neue Messwerte geliefert werden.

Daraus ergeben sich 28 Eingangskanäle (je System 3 Spannungen und 4 Ströme) und 44 Ausgangsgrössen (je System 3 Spannungs- und 4 Stromeffektivwerte sowie P, Q, S und λ).

Verschiedene Lösungsmöglichkeiten für diese Aufgabe wurden untersucht, wobei grundsätzlich analoge und digitale Varianten in Betracht kamen. Da Wert auf eine gute Langzeitstabilität und möglichst wenig Kalibrierarbeit gelegt wurde und ausserdem die Daten am Ausgang ohnehin digital vorhanden sein müssen, wurde schliesslich eine digitale Version vorgezogen. Beim Vergleich von rein diskretem Aufbau des Systems, Realisierung ganz mit Mikroprozessoren oder Verwendung von Bit-slice-Rechnern erwies sich eine Lösung, die teils diskret, teils mit einem Mikroprozessor arbeitet, vor allem vom Aufwand her als am geeignetsten. Deshalb wurde diese realisiert und soll im weiteren beschrieben werden.

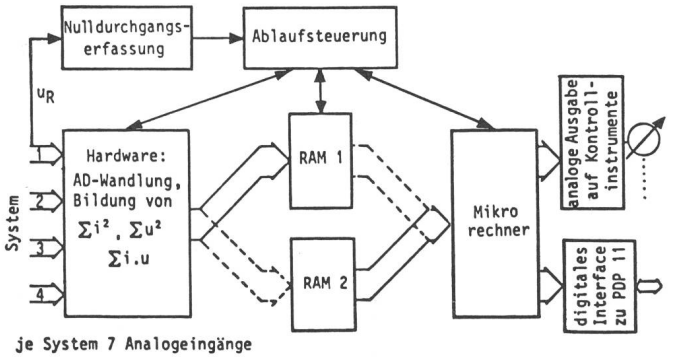


Fig. 1 Blockschaltbild des Gerätes

2. Übersicht über die gewählte Lösung

2.1 Benötigte Operationen

Bevor auf die Realisierung selbst eingegangen wird, folgt eine Zusammenstellung der benötigten Operationen:

Effektivwerte (28×): $$X_{eff} = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i^2} \quad (1)$$

Wirkleistung (4×):
$$P = \frac{1}{N}\cdot\sum_{i=1}^{N}(u_{Ri}\cdot i_{Ri} + u_{Si}\cdot i_{Si} + u_{Ti}\cdot i_{Ti}) \quad (2)$$

Scheinleistung (4×):
$$S = \sqrt{\underbrace{U_R{}^2\cdot I_R{}^2 + U_S{}^2\cdot I_S{}^2 + U_T{}^2\cdot I_T{}^2}_{\text{Effektivwerte}}}\cdot\sqrt{3} \quad (3)$$

Blindleistung (4×): $$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad (4)$$

Leistungsfaktor (4×): $$\lambda = P/S \quad (5)$$

Diese Operationen können unterteilt werden in solche, die je Abtastintervall durchgeführt werden müssen, und solche, die nur einmal pro Netzperiode notwendig sind. Daraus ergeben sich je Abtastintervall 40 Multiplikationen und Additionen von der Art:

$$28\times:\ (\Sigma x^2)_i = (\Sigma x^2)_{i-1} + x_i^2 \quad (6)$$

$$12\times:\ (\Sigma ui)_i = (\Sigma ui)_{i-1} + u_i i_i \quad (7)$$

Für die verlangte Genauigkeit und Bandbreite sind mindestens 100 Abtastwerte je Netzperiode notwendig; es stehen demnach weniger als 5 µs je Multiplikation/Addition zur Verfügung.

Für die weitere Auswertung, die einmal pro Netzperiode erfolgt, bleiben die Aufgaben: Normierung, Berechnung der Quadratwurzeln für die Effektivwerte sowie Bestimmung von S, Q und λ. Hier fallen vor allem die 36 benötigten Quadratwurzeln ins Gewicht.

In dieser Zusammenstellung wurden nur mathematische Operationen berücksichtigt, dazu kommen natürlich noch die Datenausgabe, Überwachungsaufgaben usw.

2.2 Realisierung

Wie erwähnt wurde eine Variante gewählt, bei der ein Teil der Arbeit durch eine diskret aufgebaute Hardware erledigt und ein Teil von einem Mikrocomputer ausgeführt wird. Die

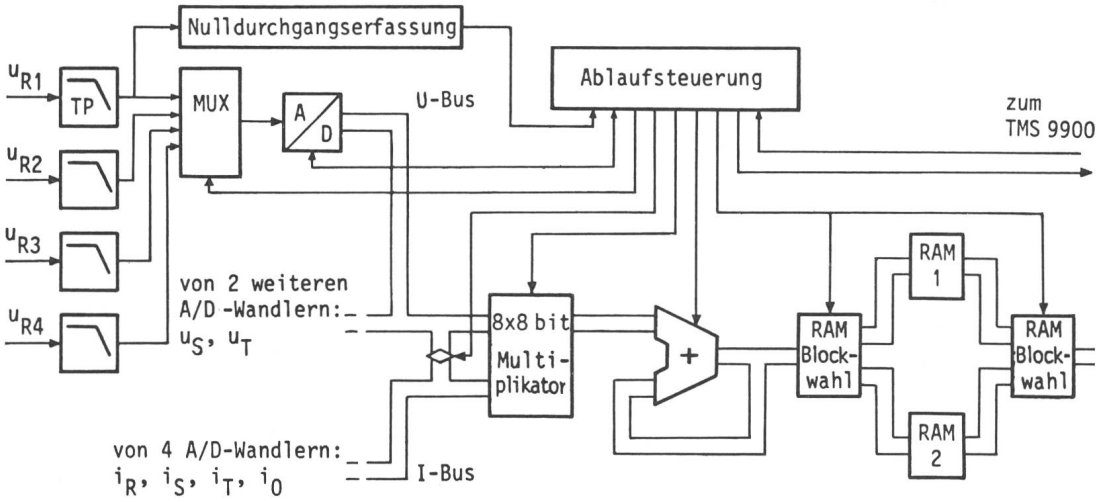


Fig. 2
Messwerterfassung und Vorverarbeitung

Arbeitsteilung erfolgt dabei so, dass dem Rechner alle Operationen zugeteilt sind, die einmal je Netzperiode erforderlich sind, während alles, was innerhalb eines Abtastintervalls notwendig ist, von der externen Hardware durchgeführt wird. Die Schnittstelle zwischen Rechner und Hardware bilden zwei Dualport-RAM-Blöcke. Damit ergibt sich eine Struktur gemäss Figur 1.

Jeweils während einer Netzperiode werden in einem Speicherblock die Summen Σu^2, Σi^2, $\Sigma u \cdot i$ (total 40 Grössen) von der Hardware gebildet. Gleichzeitig wertet der Rechner diese Summen der letzten Periode, die im anderen Block gespeichert sind, aus. Nach jeder Periode werden die Speicher umgeschaltet. Eine Schaltung zur Nulldurchgangserfassung liefert die dafür nötige Information.

Das Kernstück der Hardware stellt ein schneller 8×8-bit-Multiplikator dar. Dessen Steuerung erfolgt über eine mikroprogrammierte Ablaufsteuerung. Als Mikroprozessor wurde ein TMS 9900 von Texas Instruments eingesetzt, wobei eine käufliche Rechnerplatine verwendet werden konnte, auf der alle benötigten Elemente vorhanden sind. Die digitale Datenausgabe erfolgt über ein 8-bit-Parallelinterface, im vorliegenden Fall zu einem PDP11-Minicomputer. Andere Rechner wären aber ohne weiteres ebenfalls einsetzbar. Für die Ansteuerung der Kontrollinstrumente wurde ein einfaches DAC-Interface entwickelt.

3. Beschreibung der einzelnen Systemkomponenten

3.1 Hardware zur Messwerterfassung und Vorverarbeitung

Figur 2 zeigt ein Blockdiagramm der zur Erfassung der Messeingänge und zur digitalen Vorverarbeitung dienenden Schaltungsteile. Die 28 Eingänge müssen digitalisiert werden. Um die gleichzeitige Abtastung aller Eingänge eines Dreiphasensystems sicherzustellen, werden sieben 8-bit-A/D-Wandler eingesetzt. Dies ist im Vergleich mit anderen Lösungsvarianten vom Schaltungs- und Kostenaufwand her gesehen recht günstig. Für die Auswahl des zu wandelnden Systems ist jedem A/D-Wandler ein 4-zu-1-Multiplexer vorgeschaltet. Jeder Eingang wird mit einem TP-Filter dritter Ordnung auf 1 kHz bandbegrenzt. Die Signale werden mit einer Frequenz von 6,25 kHz abgetastet, so dass pro Netzperiode und Eingang etwa 125 Abtastwerte erfasst werden.

Im digitalen Schaltungsteil werden die Abtastwerte weiterverarbeitet. Die auszuführenden Operationen sind in den Gleichungen (6) und (7) definiert. Die für die Wandlung der Spannungseingänge verwendeten 3 A/D-Wandler können dazu jeweils auf den sog. *U*-Bus gegeben werden, die Ausgänge der 4 A/D-Wandler der Stromeingänge auf den *I*-Bus. Diese Busse können so mit den Eingängen eines schnellen 8×8-bit-LSI-Multiplikators verbunden werden, dass dieser die gewünschten Produkte u_i^2, i_i^2 und $u_i \cdot i_i$ liefert. In einer anschliessenden Addierstufe wird die bereits errechnete Summe um den neuen Wert erhöht. Der so erhaltene Wert wird als neue Summe im aktuellen Speicherblock abgespeichert. Damit stehen am Ende einer Netzperiode die Quadratsummen aller Effektivwerte sowie die Summen der Leistungen im Speicher. Damit der Mikroporzessor diese Daten weiterverarbeiten kann, muss er noch die Anzahl der aufsummierten Abtastwerte kennen. Diese werden von der Hardware gezählt und dem Rechner ebenfalls im Speicherblock zur Verfügung gestellt.

Die Steuerung dieser Vorverarbeitungsfunktionen und der A/D-Wandler übernimmt eine programmierte Ablaufsteuerung. Sie schaltet auch den Zugriff zu den beiden Speicherblöcken im Takt der Netzfrequenz um. Dazu erhält sie von einer Nulldurchgangserfassung ein entsprechendes Signal. Als Referenzsignal wird in der Nulldurchgangserfassung die Spannung U_{R1} verwendet. Mit einem 50-Hz-Bandpass wird die Grundwelle von U_{R1} herausgefiltert und danach in ein frequenzsynchrones Rechtecksignal gewandelt.

Die Ablaufsteuerung erfüllt noch Aufgaben, die der Synchronisation von externer Hardware und Mikroprozessor dienen. Da für mehrfach benötigte Programmteile die Verwendung von Subroutinen möglich ist, beansprucht das in PROM abgespeicherte Mikroprogramm lediglich 59×16 bit.

3.2 Aufgaben des Mikroprozessors

Der 16-bit-Mikroprozessor TMS 9900 hat die Aufgabe, die von der Hardware gewonnenen Daten der letzten Netzperiode während der laufenden Netzperiode zu den gewünschten Werten zu verarbeiten, diese dann auf den Kontrollinstrumenten zur Anzeige zu bringen und auf Verlangen an den PDP-Rechner weiterzugeben.

Das dazu benötigte Programm wurde, um maximale Effizienz zu erreichen, in Assembler geschrieben. Ein grobes Flussdiagramm des Programmes zeigt Figur 3. Der Mikroprozessor wartet jeweils in einer Schleife auf ein Signal von der Hardware, welches gesetzt wird, wenn die Ablaufsteuerung die Speicherblöcke infolge Periodenendes umgeschaltet hat, und

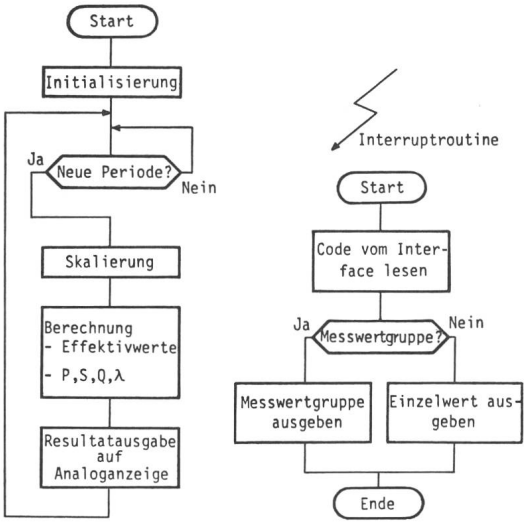


Fig. 3 Flussdiagramme der μP-Software

damit dem Mikroprozessor neue Messwerte zur Verfügung stellt. Diese Werte müssen zuerst skaliert werden. Hierbei gehen die Anzahl der verwendeten Abtastwerte pro Periode, wie auch Skalierungsfaktoren, die eine möglichst gute Ausnutzung der Rechengenauigkeit und des Anzeigebereichs sicherstellen, in die Berechnung ein. Nach den Gleichungen (1) bis (5) werden dann die Effektivwerte sowie P, S, Q und λ berechnet. Die 44 Resultate werden nach der Verarbeitung auf eine Breite von 8 bit beschnitten und auf die Analoganzeige ausgegeben. Sie stehen dem PDP-Rechner in digitaler Form zur Verfügung.

Der Datenaustausch zwischen μP- und PDP-Rechner erfolgt über eine Parallelschnittstelle im Handshaking-Betrieb. Der PDP-Rechner fordert mit einem 6-bit-Code einen gewünschten Messwert oder eine definierte Gruppe von Messwerten an. Der Mikroprozessor liefert dann die gewünschten Daten. Um die Rechner zu entkoppeln, übergibt der TMS 9900 die Daten nicht direkt, sondern über einen zum Parallelinterface gehörenden Buffer, aus dem sich der PDP-Rechner die Daten unabhängig von der Arbeitsweise des μP abholen kann.

Um alle diese Aufgaben zu erledigen, benötigt der Mikroprozessor, je nach Belastung durch den Datentransfer zum Minirechner, etwa 12 bis 15 ms.

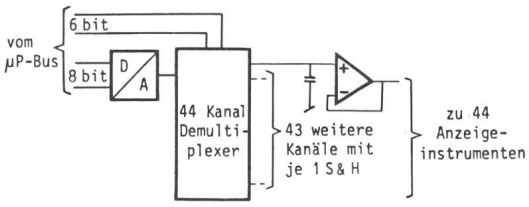


Fig. 4 Analoge Datenausgabe
S & H: Sample-&-Hold-Glied

3.3 Ansteuerung der Kontrollinstrumente

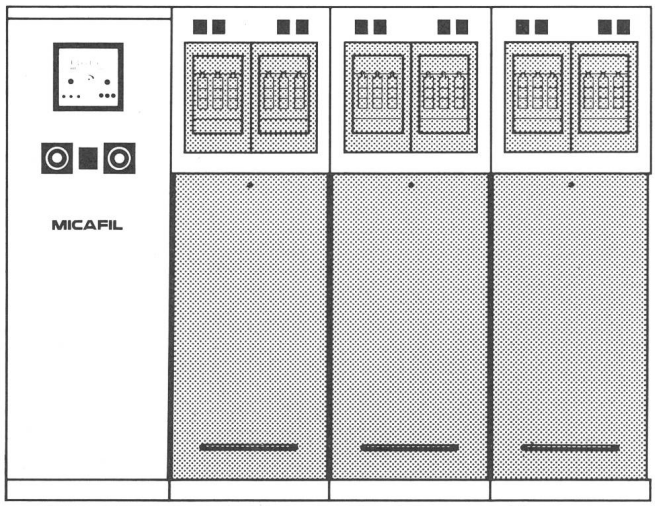
Das Blockschaltbild für das Interface, welches die Resultate vom Mikroprozessor auf die Analoganzeige bringt, zeigt Figur 4. Vom Mikroprozessor wird ein 8-bit-D/A-Wandler mit den Messresultaten angesteuert. Dem Wandler nachgeschaltet ist ein 44-Kanal-Analog-Demultiplexer, dessen Stellung ebenfalls programmgesteuert bestimmt werden kann. Für jeden der 44 Resultatkanäle ist dem Demultiplexer ein Sample-&-Hold-Glied nachgeschaltet. Da diese alle 20 ms angesprochen werden, erfüllt eine sehr einfache Schaltung alle Anforderungen. Die den Hold-Kondensatoren nachgeschalteten FET-Operationsverstärker dienen gleichzeitig als Treiber für als Anzeigeinstrumente verwendete Drehspulmesswerke.

4. Schlussbemerkungen

Bei der Realisierung des hier beschriebenen Gerätes wurde auf einen einfachen, modularen Aufbau geachtet. Strom- und Spannungswandler wurden im Gerät selbst keine vorgesehen, um bezüglich Messbereichen, Art der Wandler usw. möglichst flexibel zu bleiben. Alle Eingänge arbeiten mit $\pm$ 10 V für Vollaussteuerung. Für den Aufbau wurden neben der Rechnerplatine (TMS 990/100 M) 8 Platinen der Grösse 120 × 200 mm benötigt, wobei für den analogen Eingangsteil (Filter, AD-Wandler) Prints entworfen wurden, während der Digitalteil in Wire-Wrap-Technik realisiert wurde. Das ganze Gerät wurde in ein 19″-Rack eingebaut.

Adresse der Autoren
Dr. *H. Burtscher*, dipl. Ing. *U. Kästli*, dipl. Ing. *J. Steiner*, Institut für Automatik und Industrielle Elektronik, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

Blindstrom kompensieren!



Eine problemlose Art Energie+Geld zu sparen...

... ohne Schmälerung der zur Verfügung stehenden Leistung.

Micafil-Fachingenieure stehen Ihnen jederzeit für eine unverbindliche, individuelle Beratung und mit ausführlichen Unterlagen zur Verfügung.

Micafil-Kondensatorenanlagen amortisieren sich in 2 bis 3 Jahren und arbeiten dann wartungsfrei weiter für die Reduktion Ihrer Betriebskosten.

Profitieren Sie von der Micafil-Kondensatorentechnik. Sie garantiert für minimale dielektrische Verluste (unter 0,5 W/kvar) und gibt Ihnen die Sicherheit, umweltschutzgerechte Kondensatoren installiert zu haben, die kein PCB enthalten.

Verlangen Sie telefonisch eine Besprechung: 01-62 52 00, intern 473

MICAFIL

MICAFIL AG 8048 Zürich Dept. Kondensatoren

HÜTEN SIE SICH VOR UMLEITUNGEN...

Wählen Sie die Brüstungs- und-Bodenkanäle GARDY

wahre Autobahnen der Kabelverlegung

Die Installationskanäle GARDY werden vor allem für das Verlegen von elektrischen Leitungen, Telephonleitungen und flüssigen oder pneumatischen Installationen verwendet, die eine rasche und einfache Energieverteilung in Industriegebäuden, Laboratorien, grossen Büros und Spitalkomplexen erfordern.

GARDY

Agenturen Gardy: Zürich · Basel · Chur · Genève · Préverenges · Sion · Lugano