

# Analoge Integration

Othmar Fischer, Markus Seidl

Die Laborübung „Analoge Integration“ wird am TGM, Höhere Abteilung für Elektronik, durchgeführt und vermittelt als Lehrinhalt das Zusammenwirken einer Analog-Schaltung (Integrator) mit einem Personalcomputer, verbunden mit einer Einführung in die Datenanalyse, mit der die erfaßten Meßdaten einer linearen Regression (Kurvenanpassung) unterzogen und der prozentuelle Fehler zwischen den gemessenen und den errechneten Werten bestimmt und grafisch dargestellt wird, um die Genauigkeit des Analog-Integrators zu erfassen. Dazu wird eine Gleichspannung während eines festgesetzten Zeitintervalls integriert; als Resultat entsteht eine zeitproportionale Ausgangsspannung. Diese Vorgangsweise erlaubt es auch, die Qualität eines Analogwert-Speichers zu überprüfen.

Ein Analog-Integrator besteht aus einem dazu geeigneten Operationsverstärker in Inverter-Grundschialtung, der mit einem RC-Glied beschaltet ist, ergänzt mit Einrichtungen zum Setzen der Anfangsbedingung und zum Festlegen des Integrations-Zeitintervalls. Unter der Voraussetzung eines idealen Operationsverstärkers gilt für den Analog-Integrator die Übertragungsgleichung

$$u_q(t) = U_0 - \frac{1}{R \cdot C} \int_0^t u_i(t) dt \quad \text{für}$$

$$u_i(t) = U_i \quad \text{folgt} \quad u_q(t) = U_0 - U_i \cdot t$$

Die Ausgangsspannung  $u_q(t)$  des Analog-Integrators entspricht dem Integral der Eingangsspannung  $u_i(t)$  in den Grenzen von 0 bis  $t$ , wobei der Integrations-Zeitkonstanten  $\tau = R \cdot C$  die Bedeutung einer Skalierung zukommt, vermehrt um die Anfangsbedingung  $U_0$ ; die negativen Vorzeichen entstehen durch die Inverter-Grundschialtung.

## Hardware

Ein Integrator arbeitet grundsätzlich statisch instabil und dynamisch stabil; daher stellt die Integration einer Gleichspannung technisch das schwierigste, mathematisch aber das einfachste Problem dar, denn eine Konstante („Gleichspannung“) integriert, liefert als Resultat eine lineare Funktion („zeitproportionale Spannung“).

Ein Analog-Integrator benötigt grundsätzlich die drei Steuerbefehle

1. SET (Setzen der Anfangsbedingung),
2. HOLD (Speichern des Analogwertes) und
3. RUN (Integration).

Der Personalcomputer gibt diese Steuerbefehle als TTL-kompatible Signale programmgesteuert ab, übernimmt die Ausgangsspannung des Analog-Integrators, digitalisiert sie und führt diese Werte der Verarbeitung durch die Software zu. Das **Bild 1** veranschaulicht den bei dieser Laborübung verwendeten grundsätzlichen Versuchsaufbau.

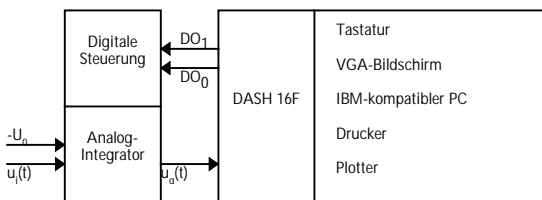


Bild 1: Grundsätzlicher Aufbau der Laborübung „Analoge Integration“

## Software

Im Hinblick auf schulische Laborübungen wurde diese Software nur für die Integration einer Gleichspannung ausgelegt und beinhaltet innerhalb der gewählten Meßzeit drei Betriebsarten:

1. „manuell“: Steuerung von SET, HOLD und RUN über Funktionstasten
2. „periodisch“: abwechselnd eine Sekunde lang RUN und dann HOLD
3. „kontinuierlich“: Integration (RUN) während der gesamten Meßzeit

Die gewählte Betriebsart und der aktive Steuerbefehl werden am Bildschirm festgehalten; wenn ein Steuerbefehl wirksam ist, wird die Ausgangsspannung des Analog-Integrators numerisch ausgegeben. Nach erfolgter Messung läßt sich in allen Betriebsarten ein Cursor über den gewählten Zeitbereich bewegen; dabei werden die der Cursor-Position entsprechenden Zahlenwerte am Bildschirm dargestellt.

Das Programm setzt einen IBM-kompatiblen AT-Personalcomputer mit DOS 3.3, einen VGA-Bildschirm und die Meßwerterfassungskarte DASH 16F (MetraByte, Keithley), eingestellt auf 8 Differenzeingänge für eine bipolare Eingangsspannung von  $\pm 10$  V, voraus. Nach dem Programmstart erscheint das Programmlogo mit dem Hauptmenue, aus dem eine Hilfe aufgerufen, die Meßumgebung konfiguriert, die Meßzeit eingestellt und die manuelle, periodische oder kontinuierliche Steuerung des Analog-Integrators gewählt werden kann. Das Hauptmenue und die Untermenues „manuell“, „periodisch“ und „kontinuierlich“ mit den Folgemenues für „Messen“ zeigt das **Bild 2**.

### Hauptmenue

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	ESC
Hilfe	Konfig.	Manuell	period.	kontin.			Quit

### Untermenue „manuell“

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	ESC
Messen	Speich.	Laden		Cursor	Text	Drucken	Quit
SET	HOLD	RUN					Quit

### Untermenue „periodisch“

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	ESC
Messen	Speich.	Laden		Cursor	Text	Drucken	Quit
SET	START						Quit

### Untermenue „kontinuierlich“

F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	ESC
Messen	Speich.	Laden	Regres.	Cursor	Text	Drucken	Quit
SET	START						Quit

Bild 2: Menustruktur der Software „Analoge Integration“

In der Konfiguration wird festgelegt, welchen Analog-Eingangskanal (CH0 bis CH7) der Integrator-Ausgang belegt und welche Digital-Ausgänge (OP0 bis OP3) die Steuersignale für den Analog-Integrator liefern; außerdem kann eine Meßzeit von 10 s, 20 s, 30 oder 40 s gewählt werden, innerhalb der der Personalcomputer den Analog-Eingang periodisch 500mal abtastet.

Die Betriebsart „manuell“ gestattet es, die Anfangsbedingung zu setzen und den Analog-Integrator nach dem Start der Messung während der gewählten Meßzeit mit den zugeordneten Funktionstasten (SET, HOLD und RUN) zu steuern.

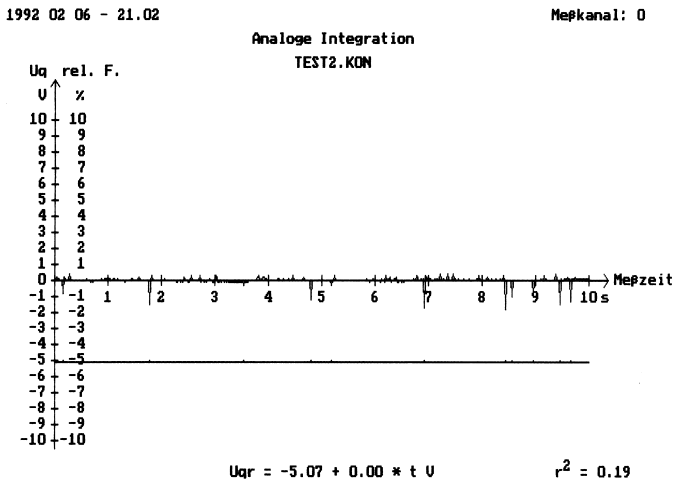
In der Betriebsart „periodisch“ wird der Analog-Integrator nach dem Setzen der Anfangsbedingung und folgendem Start abwechselnd während einer Sekunde auf RUN und dann während einer Sekunde auf HOLD geschaltet, bis die konfigurierte Meßzeit abgelaufen ist.

Bei der Betriebsart „kontinuierlich“ läuft der Analog-Integrator nach dem Setzen der Anfangsbedingung und dem Start während der festgelegten Meßzeit auf RUN; anschließend kann die lineare Regression (mathematisch:  $y = a + b \cdot x$ ) - die ermittelte Übertragungsfunktion wird angegeben - mit der Berechnung des prozentuellen Fehlers durchgeführt werden, wobei die Ergebnisse grafisch aufscheinen. Überschreitet die Ausgangsspannung des Analog-Integrators den Arbeitsbereich des Analog-Digital-Konverters (9,995 V), so wird die laufende Messung abgebrochen und die bis dahin erfaßten Daten ausgewertet.

Die aufgenommenen Dateien können mit einem erklärenden Text bis zu 20 Bildschirmzeilen versehen, gespeichert und geladen sowie vierfarbig über einen 24-Nadel-Farb-Matrixdrucker (Fujitsu DL 2600, NEC P60) oder Plotter (HP 7475 A) ausgegeben werden.

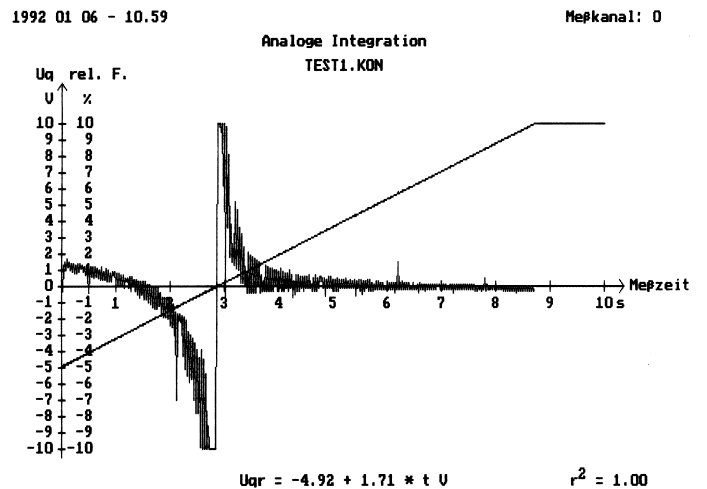
## Messung

Beispielsweise vermittelt das **Bild 3** einen Eindruck von der Qualität eines Analogwert-Speichers. Dazu wurde in der Betriebsart „kontinuierlich“ als Anfangsbedingung die Ausgangsspannung auf den Wert -5 V gesetzt, die Eingangsspannung 0 V mit der Zeitkonstante 1 s über eine Zeit von 10 s integriert, anschließend eine lineare Regression durchgeführt und der prozentuelle Fehler berechnet.



**Bild 3:** Integration der Eingangsspannung 0 V mit der Anfangsbedingung  $U_0 = -5$  V; prozentueller Fehler nach Regression

Als weiteres Beispiel zeigt das **Bild 4** die analoge Integration einer Gleichspannung mit der Zeitkonstanten  $\tau = 1$  s über eine Zeit von 10 Sekunden bei der Anfangsbedingung  $U_0 = -5$  V in der Betriebsart „kontinuierlich“. Aus den aufgenommenen Meßwerten wurde die Übertragungsgleichung durch lineare Regression bestimmt; dann wurde der prozentuelle Fehler zwischen den gemessenen und den berechneten Werten ermittelt und dieser grafisch dargestellt.



**Bild 4:** Integration einer Gleichspannung, lineare Regression und Fehlerberechnung

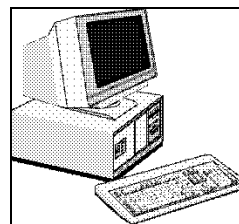
□

## Unverzichtbar bei Protokollierungen

Die neue low-cost Meßdatenerfassung ADC-11 von Megalab ist ein komfortabler Bedien- und Automationstool am PC unter Windows:

11 Analogkanäle werden bei direktem Anschluß an die parallele Schnittstelle mit ATEWIN-Software mit hoher Samplingrate betrieben. Der Eingangsspannungsbereich ist mit 2,5 V und 10 Bit Auflösung angegeben.

Der Baustein in Größe einer Streichholzschachtel ist hervorragend für die Meßdatenerfassung mit Notebooks, z.B. als Datenlogger, für zahlreiche Routineaufgaben konzipiert, da keine zusätzliche Stromversorgung benötigt wird.



**MESSEN  
AUTOMATISIEREN  
und  
PROTOKOLLIEREN**

einfach und schnell  
mit dem PC und LAPTOP

**INDUSTRIEMESSTECHNIK**  
1170 Wien, Clemens-Hofbauer-Platz 10  
Telefon und Fax 0222-486 51 25