

Serie Historische Flab-Rechner

Umfeld zum Feuerleitgerät 63/69 «Super-Fledermaus»:

Integrieranlage 58 von Contraves Zürich

Erste Annäherung	p. 1	Anhang: Rechenkondensatoren	p. 17
Rechentechnik	Hauptteil p. 2	Quellen	p. 19
Integratoren und Gleichungslöser	Haupt p. 6	Chronologie	p. 20
Weitere Beobachtungen	Nebenteil p. 12	Bisherige Arbeiten	p. 21

>> Erste Annäherung, Überblick

50 Jahre nach dem militärischen Dienst an der «Super-Fledermaus» konnte der Verfasser endlich den Aufbau und die Rechenweise des Fledermaus-Rechners studieren. Mit Elektromotoren werden Drehwellen angetrieben; die Variablen der Luftabwehr-Rechnungen (Flughöhe, Geschwindigkeit etc.) werden in Winkelwerte dieser Drehwellen abgebildet, aber auch in elektrische Wechselspannungen 400 Hz. Auf den Drehwellen sitzen speziell geformte **Rechenkondensatoren**, welche oft Funktionswerte gespeichert haben (z.B. Sinus- oder Cosinus-Tabellen, ballistische Werte der Kanonen). Die Kondensatoren stellen die Verbindungen her zwischen den Variablen in mechanischer Form und denjenigen in elektrischer Form. Die am meisten gebrauchten Variablen werden in beiden Formen dargestellt: sowohl als mechanische Drehwinkel, wie auch als elektrische Spannungen. Der Rechner des Feuerleitgerätes besteht aus insgesamt 25 Drehwellen und 68 Doppel-Rechenkondensatoren – auf den Wellen sitzen jeweils mehrere Kondensatoren.

Im Anhang zu dieser Arbeit wird das Prinzip der Rechenkondensatoren kurz vorgestellt (kopiert aus der Arbeit zum Feuerleitgerät).

Das Feuerleitgerät wurde zu einem starken kommerziellen Erfolg. 1957 ging ein Grossauftrag aus der BRD ein (Einachsanhänger). Die Schweizer Armee bestellte 1962 ihre ersten 78 Geräte (Zweiachsanhänger), später weitere mit Radar-Standzeichen-Unterdrückung.

Erste, noch verwaschene Spuren der Integrieranlage IA-58

Die Spezialnummer der Hauszeitschrift CONTACT «40 Jahre Contraves 1936-1976» erinnert Jahr für Jahr kurz an die Höhe- (ev. auch Tief-) punkte der Firmengeschichte. So erfährt man zum Jahr 1958: «Dem Technikum Winterthur wird eine Integrieranlage 58 geliefert». Mit dabei ist eine ganz kleine Abbildung, ohne Erklärungen. Die Anlage wurde eher 1959 oder 1960 geliefert – ev. Vorbereitungen 1958.

Nachforschungen in Winterthur blieben erfolglos – alles ist vergessen. Menschen, Bibliothek, Internet: Nichts. Immerhin ist im **Staatsarchiv des Kt. Zürich** noch das Kantonsratsprotokoll der Sitzung vom 9.2.59 zu finden, in der der Kauf einer Analogie-Rechenanlage von Contraves für das Technikum Winterthur beschlossen wird (nach Rabatten von Contraves und MFO, nicht ganz Vollausbau, zu Fr. 130'000.-): Das Geschäft wird ohne Gegenantrag genehmigt. «Prof. Schoch begrüsst die Anschaffung der teuren Maschine und wünscht, dass diese, wenn das Technikum sie nicht voll benötigt, auch der Industrie zur Verfügung gestellt wird». **Diese Winterthurer Anlage ist heute im Museum für Kommunikation (Bern, Schwarzenburg) intakt erhalten, inklusive Dokumentationen.**

>> Integrieranlage IA-58: Dieselbe Rechenelemente wie im Feuerleitgerät

Die IA-58 ist in ähnlicher Technik aufgebaut wie der Rechner im Feuerleitgerät Super-Fledermaus, mit **motorisierten Drehwellen** und **Rechenkondensatoren**. Die Motoren werden in geschlossenen Servokreisen betrieben: Vergleich des Istwertes mit dem Sollwert. Die dadurch gesteuerten Drehkondensatoren haben Rotoren in speziellen Formen, so dass die Kapazität entweder linear zum Drehwinkel steigt, oder wie trigonometrische Funktionen. Eine reziproke Funktion für die Division ist auch möglich. Nach den Drehkondensatoren werden die Signale durch Verstärker abgenommen.



Eine stolze, wuchtige Anlage: Fünf Schubladen mit je zwei Integratoren (Drehzeiger aussen). Mitgedreht werden gleich dahinter die Stapel der Rechenkondensatoren.

In der Mitte der Schubladen die verstellbaren Additions-Gewichte.

Rechts zwei Steck-Felder mit den Ein- und Ausgängen aller Rechenelemente. Auf dem oberen liegt ein Papier mit konkretem Rechenprogramm

2 m hoch, 1m70 breit, 90 cm tief.
3.5 kVA. Schwer! 400 Hz, um Eisen zu sparen bei Trafos & Motoren.

FltGt und IA-58 sind zwar mit denselben Elementen aufgebaut – aber in der **Ausführung ganz gegensätzlich konzipiert**: Das FltGt ist fest verdrahtet, jedes Element hat seine ihm zugedachte Funktion. Demgegenüber ist die IA-58 eine Sammlung **einzelner Funktionselemente**, die nach Belieben zusammengesteckt werden, je nach der mathematischen Aufgabe. Es ist ein **Baukastensystem** – zu jedem Rechenproblem werden Ein- und Ausgänge der Rechenelemente anders miteinander verbunden.

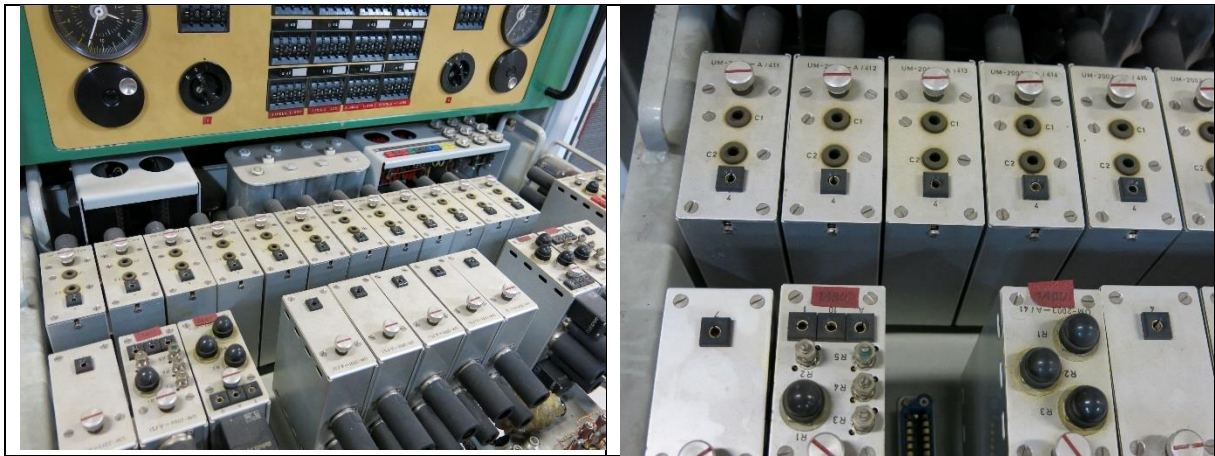
Während der Rechner im FltGt mit vielen Kabeln stark mit der Aussenwelt, d.h. mit der ganzen Feuereinheit verbunden ist, Signale entgegennimmt vom Radar und von optischen Zielsuchern, und selber auch Signale von Winkeln aussendet, Kanonen steuert etc., arbeitet die IA-58 als Laborgerät und ist normalerweise **ganz getrennt von der Aussenwelt**. Immerhin sind Kontakte mit externen Geräten möglich – Sensoren als Eingang oder Steuerungsaufgaben bei den Ausgängen könnten bei Bedarf angeschlossen werden.

Das Winterthurer-Gerät hat in fünf Schubladen insgesamt 10 Integratoren, 25 Additionen oder Subtraktionen (mit bis zu fünf Eingängen). Die meisten Additionen können mit frei wählbaren Gewichten versehen werden (dreistellige Dekadenschalter mit 1% Auflösung, plus Vorzeichen). Jeder Integrator bedient 6 Rechenkondensatoren (d.h. drei Doppel-Kondensatoren): vier lineare, sowie sinus, cosinus

des Drehwinkels (oder zwei Reziprok-Schaltungen zum Dividieren statt sin/cos). Die Integratoren können mit beliebigen Anfangswerten gestartet werden.

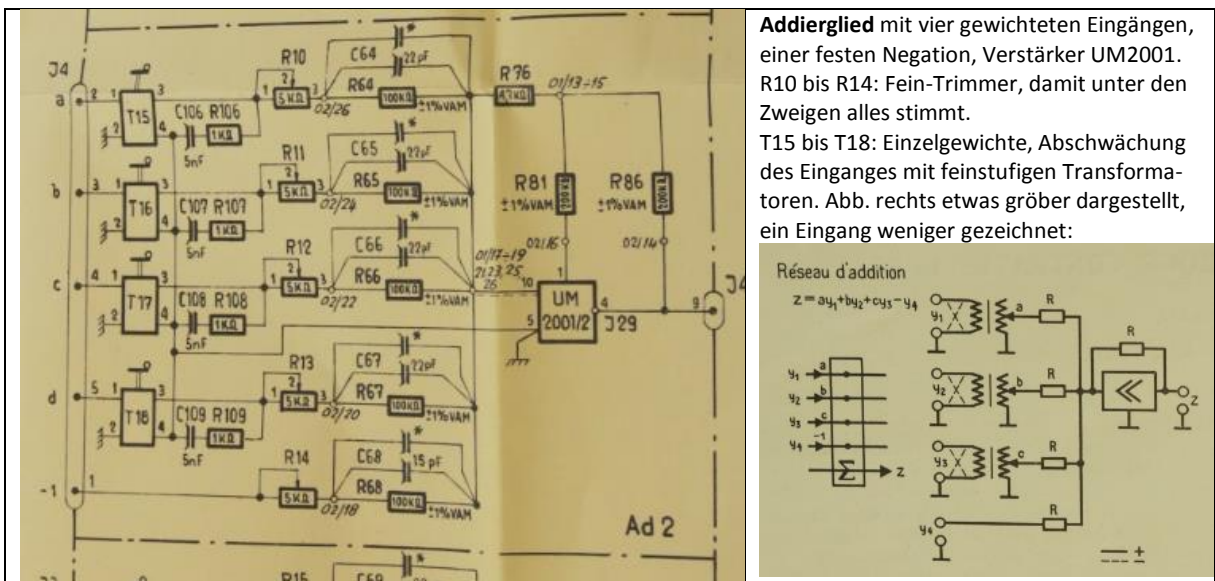
Beim Prototypen IA-55 waren noch 8 Rechenkondensatoren auf jeder Integrator-Welle.

Die Schubladen sind wie beim Feuerleitgerät herausziehbar; wie beim Feuerleitgerät können die Einzelemente, Verstärker etc. mitten im Betrieb ausgemessen und fein abgeglichen werden. Bild unten links: Die Reihe von 12 identischen Kästchen sind die Verstärker der Rechensignale, welche von den Rechenkondensatoren her stammen (Verbindung erfolgt mit Koaxialkabel). Davor fünf Summier-Verstärker. Schwarze Abschirmungen um die Elektronen-Röhren. Bild rechts, eine andere Schublade: Rot angeschrieben sind TABU-Zonen – Hände weg, nichts verstellen!



Additionen

Die zu addierenden Signale (400 Hz) kommen mit Widerständen auf den Eingangspunkt des Verstärkers UM 2001, der Ausgang wird ebenfalls zurückgeführt. Will zeigen: alles ist im Prinzip gleich wie bei den heutigen Operationsverstärkern.



Alle fünf Zweige führen in den **Summierverstärker UM 2001**. Sämtliche Verstärker in der IA-58 arbeiten mit Elektronenröhren. UM 2001 arbeitet mit einer Pentode als Spannungsverstärker (mit Gleichstromheizung, weniger Brumm) und einer Doppel-Triode zur Impedanzwandlung (Kathodenfolger).



Rechts: Einstellbare Dezimal-Faktoren für Summierer. Werte z.B. +0.220 oder -0.952. Vorzeichen durch Phasenumkehr, siehe Bild gleich oben rechts.

Mitte: Oben Einstellung Anfangswert des Integrators, unten Wahl, ob der Motor als Integrator arbeiten soll oder als Direkt-Verstärker (Funktion des Nullstellen-Suchers, siehe später).

Links: Aktueller Wert des Integrators mit kurzem Grobzeiger und langem Feinzeiger. Fein geht 22.5 mal schneller herum als grob. Darunter Hand-Einstellung für Test-Messungen. Die Drehwellen bewegen sich heute noch einwandfrei, auch die Dekadenschalter (nur eine Ziffer war blockiert).

A-Schubladen haben neben 2 x 4 linearen Kondensatoren noch 1 x sinus, 1 x cosinus-Kondensatoren links, und 2 x reziprok rechts.

B-Schubladen haben neben 2 x 4 linearen Kondensatoren noch links wie rechts je sinus und cosinus.



Links oben: Aktueller Stand des Integrators.

Rechts davon: Anfangswert des Integrators, Startwert beim automatischen Lauf. Der Wert «1» bedeutet 80°.

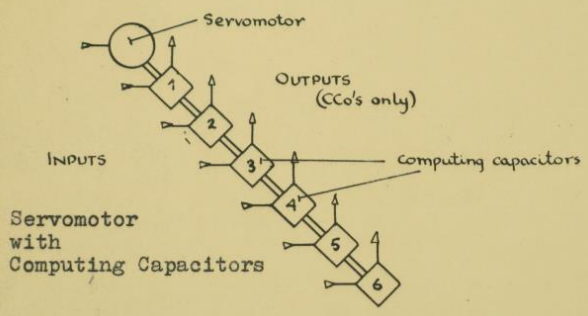
Rechts unten: Jede Nachfolgeeinheit lässt sich per Drehschalter einzeln in der Funktion umschalten: Integrator / Null / (Positions-)Servo. Beim Integrator wirkt ein **Geschwindigkeitsnachlauf**, beim Servo ein **Positionsnachlauf**.

Zusätzlich gibt es zur Steuerung aller 10 Integratoren zusammen die Druckknöpfe: Anfangswerte einstellen – Start – Stop (oder auch genannt: Reset – Run – Hold).

Verknüpfungen: Bei allen Rechenelementen der IA-58 werden die Ein- und Ausgänge auf eine dichte, rechtwinklige Matrix geführt, auf der sich die Verknüpfungen mit Steckstiften darstellen lassen: Eingänge liegen auf den horizontalen Bahnen, Ausgänge auf den vertikalen Bahnen – Stift dort einstecken, wo man verbinden will. Da es zwei solcher Felder hat: Die Ausgänge des jeweils anderen Feldes liegen rechts ebenfalls an. Der Prototyp hatte drei solcher Steckfelder

6. 1. Preparing the patchplan

6. 1. 1. Symbols

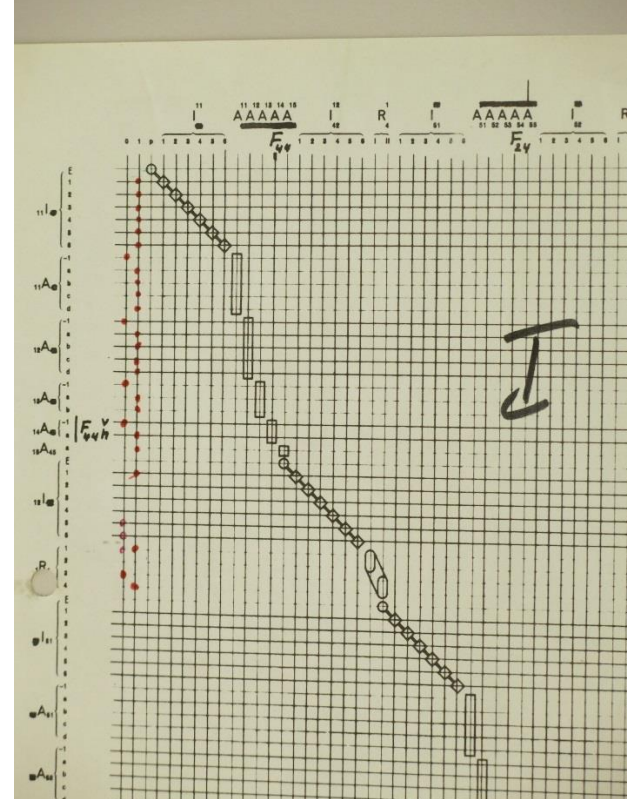


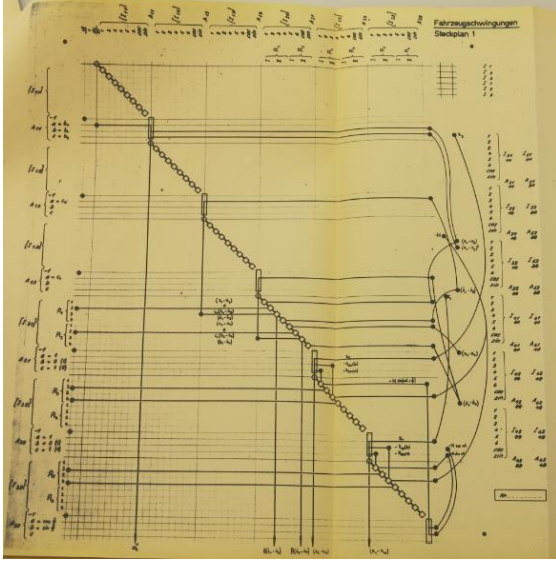
In einem dichten Matrix-Feld sind alle horizontalen Linien mit den Eingängen zu den Rechenelementen verbunden, die vertikalen Linien mit den Ausgängen.

Gezeichnet ist ein Integrator mit Motor: an der Welle sind sechs Rechenkondensatoren befestigt, jeder hat seinen eigenen Ein- und Ausgang.

An Kreuzungsstellen horizontal / vertikal wird ein Stecker eingesteckt, der die erforderliche Verbindung zwischen den Rechenelementen herstellt. So ist die Anlage frei programmierbar.

Ein Summator hat meistens fünf Eingänge (vier mit Gewichtung plus Vorzeichen, daneben noch ein fester Eingang $\cdot(-1)$, und einen Ausgang.

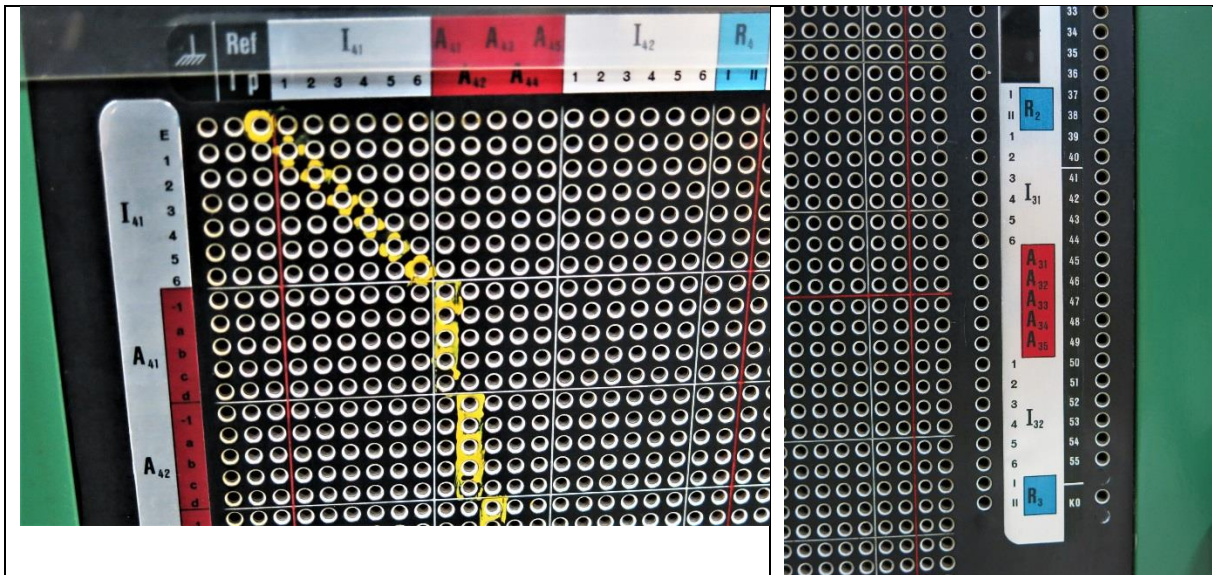




Links: Aus einem noch nicht ausgefüllten, vordruckten Rechenplan mit (hier Ausschnitt) drei Integratoren, sechs Additionen und einem Relais-Verstärker für Spezialeffekte (nimmt die kleinere von zwei Variablen)

Rechts: «Fahrzeug-Schwingungen», eine ausgedachte Schaltung. Hier liegen acht Kondensatoren an einem Integrator, das Problem ist also noch auf der Anlage IA-55 gerechnet worden (Prototyp). Die freien Kabel rechts der Stecker-Matrix sind verbunden mit den Ausgängen der anderen Steckbretter, und gehen im abgebildeten Bereich immer auf Eingänge des aktuellen Steckbrettes.

Zehn Rechenkondensatoren sind in diesem Beispiel nur am Eingang angeschlossen, der Ausgang bleibt frei: Was gibt das für einen Sinn? In der Eile wird im Archiv fotografiert – ob das aber ein Entwurf war, etwas Fertiges, Ausbildungs-Aufgabe, Brouillon, unfertig oder gar Abfall – das bleibt halt unbekannt. Die Papiere liegen einfach stumm im Ordner. 6 mal wird der Input der Kondensatoren auf null gelegt (Brumm-Minimierung für benachbarten Kondensator?), 4 mal auf ein Signal – und immer ohne den Ausgang der jeweiligen Rechenkondensatoren zu verwenden: Seltsam.



Linke Seite vertikal: Ein Integrator weiss (Eingänge: Motor, 6 Kondensator-Eingänge). Eingänge von zwei (von fünf) Additionen rot. Ausgänge jeweils die vertikalen Reihen. Steckreihe ganz links: Erdung, dann Recheneinheit «1» entspricht 10 V, dann $p =$ «variable Referenz».

Bild Rechts: Ausgänge von zwei Vergleichs-Relais blau, 5 Additionen rot, 2 Integratoren weiss. Die Ausgänge des oberen Steckbrettes stehen hier am unteren Steckbrett auch zur Verfügung, siehe Gesamt-Foto p.2.

>> Nachfolge-Motoren als Integratoren oder als Gleichungs-Löser

Bedeutung von «Integrieren»:

Integrieren heisst: laufend aufsummieren, mit stets wechselnden Werten der Variablen. In der Regel ist es ein Prozess, d.h. etwas läuft ab. Im Rechner kann – losgelöst von der Realität – ein Vorgang in Natur oder Technik künstlich nachgebildet werden.

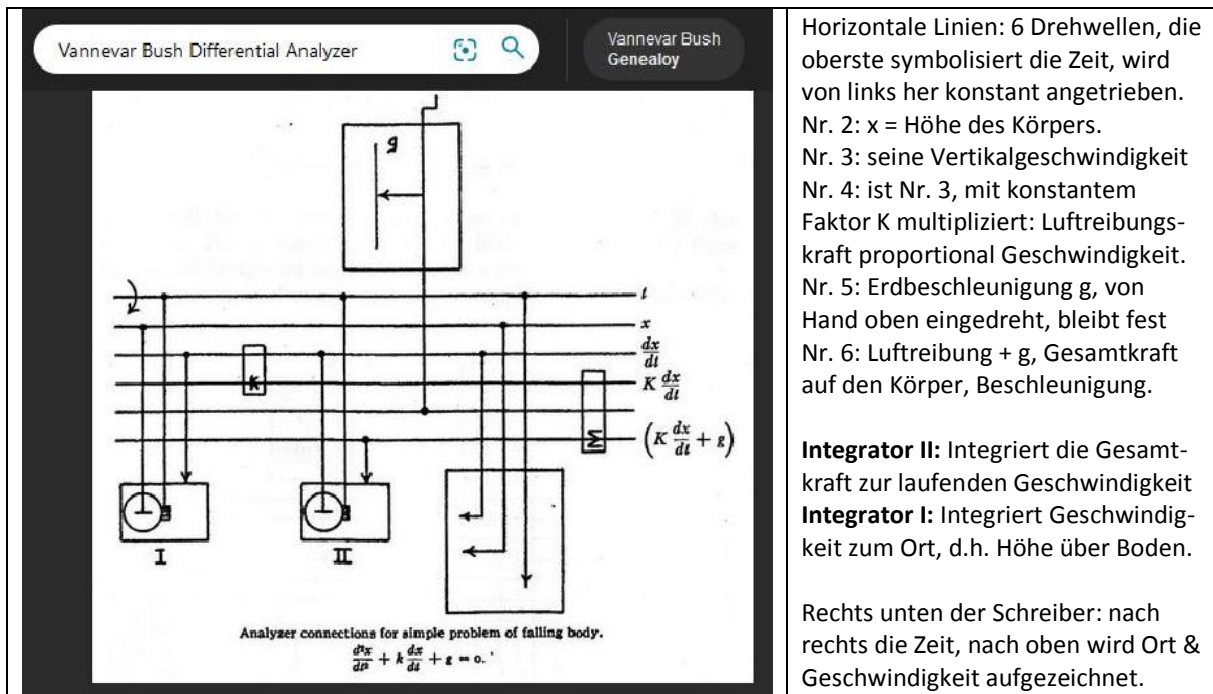
Beispiel 1:

Das Auto fährt mit variabler Geschwindigkeit auf der Autobahn. Zu jeder Zeit ist seine aktuelle Geschwindigkeit bekannt. Gesucht ist sein «Fahrplan»: Wann ist das Auto wo? Startpunkt sei gegeben. Zusätzlich gefahrener Weg ist in jeder Sekunde oder Minute = aktuelle Geschwindigkeit mal Zeitintervall. Addiere alle diese Zusatz-Wegstücklein, ab Start eine Viertelstunde lang – das gibt den ganzen Fahrplan der Bewegung. Das kontinuierliche Addieren in feinen Intervallen heisst Integrieren.

Beispiel 2:

Man werfe einen Stein oder ein Geschoss senkrecht in die Höhe. Wann ist der Gegenstand wo?

Es folgt eine Lösung von Vannemar Bush, dem Klassiker und Altmeister der mechanischen Integrationen (Blüte ca. 1923-1940). Im Internet sind leicht Bilder zu finden seiner Maschine (genannt differential analyzer): grossflächige Tische voller Drehwellen, längs und quer, je nach Bedürfnis miteinander gekoppelt. Das rattert alles ab und simuliert den Prozess, der anders oft nicht numerisch zu lösen ist. Zahnräder und Getriebe verbinden die einzelnen Wellen. Der Drehwinkel (ev. auch die Dreh-Geschwindigkeit) der Wellen symbolisiert den Wert der simulierten Variablen.



Horizontale Linien: 6 Drehwellen, die oberste symbolisiert die Zeit, wird von links her konstant angetrieben.
 Nr. 2: x = Höhe des Körpers.
 Nr. 3: seine Vertikalgeschwindigkeit
 Nr. 4: ist Nr. 3, mit konstantem Faktor K multipliziert: Luftreibungskraft proportional Geschwindigkeit.
 Nr. 5: Erdbeschleunigung g , von Hand oben eingedreht, bleibt fest
 Nr. 6: Luftreibung + g , Gesamtkraft auf den Körper, Beschleunigung.

Integrator II: Integriert die Gesamtkraft zur laufenden Geschwindigkeit
Integrator I: Integriert Geschwindigkeit zum Ort, d.h. Höhe über Boden.

Rechts unten der Schreiber: nach rechts die Zeit, nach oben wird Ort & Geschwindigkeit aufgezeichnet.

Es werden hier Drehteller-Integratoren eingesetzt: Eine runde Scheibe rotiert mit konstanter Geschwindigkeit, von der Zeitwelle angetrieben. Darauf rollt in variablem Abstand zum Zentrum (Eingang mit Pfeil) eine Abnehmer-Rolle: sie rollt weiter aussen schneller. Der Drehwinkel der Abnehmer-Rolle ist der Ausgang: die Rolle summiert laufend die variable Steingeschwindigkeit mal die Zeit (Integrator I, gibt den Ort) resp. die variable Stein-Beschleunigung mal die Zeit (gibt die momentane Geschwindigkeit). Zuerst im Bild die Differentialgleichung, die hier gelöst wird.

Vor dem Laufenlassen müssen überall die richtigen Anfangswerte eingestellt werden, das ist nicht gezeichnet. – Ob denn die Bremskraft wirklich proportional zur Geschwindigkeit ist, wie hier vereinfacht angenommen wird, steht auf einem anderen Blatt, bzw. bleibt auch nach der Rechnung unbekannt. Die Rechnung kann ein falsches Resultat ergeben, wenn falsche Annahmen getroffen wurden.

Figur mit genauerer Erklärung aus: <https://thefutureofthings.com/3710-the-differential-analyzer/>
 Dort mit Foto eines historischen Glasscheiben-Integrators. Solche Integratoren waren üblich in den Rechnern zur Kanonensteuerung der Fliegerabwehr in den 1930er- und 1940er-Jahren. Die Figur oben ist einer Original-Publikation von Vannevar Bush entnommen (antiquarisches Buch).

Die Integrieranlage auf Grund der Contraves-Feuerleitgerätes (Drehwellen / Rechenkondensatoren) macht dasselbe wie bereits bekannte Maschinen, aber mit einer neuen Technik zum Integrieren – kurz bevor Halbleiter und bequeme Operationsverstärker (ab 1969) alles wieder obsolet machen.

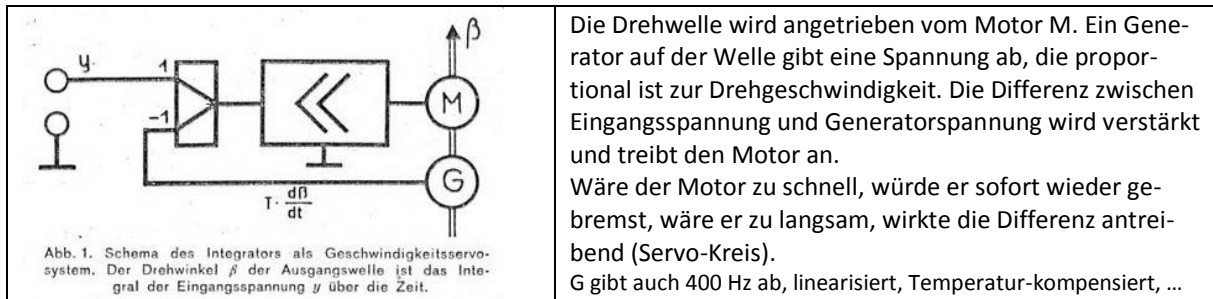
Es kann auch komplizierter sein:

Manchmal sind die Variablen im Kreis herum verkoppelt. Es hat keinen Anfang und kein Ende – das wirkt nicht mehr so anschaulich und sprengt den Einleitungs-Rahmen dieser Arbeit. Im Beispiel oben mit dem Stein-Wurf gehen die Signale von der festen Erdbeschleunigung g aus, sowie vom Anfangswert von Ort und Geschwindigkeit. Dann folgt alles zwangsläufig, ohne dass das Ende auf den Anfang zurückwirkt. Flab-Problem: Wohin zielen vor das Flugzeug? Die Flugstrecke des Flugzeuges hängt von der Geschossflugzeit ab, aber die Geschossflugzeit hängt auch von der Flugstrecke des Flugzeuges ab.

Zwei unterschiedliche Einsatz-Arten der Nachfolge-Motoren: **Integration** und **Nullstellen-Suche**:

→ **Prinzip-Schema einer Integration in der IA-58:**

Eine konstante Eingangsspannung y (ganz links) erzeugt eine konstante Drehgeschwindigkeit der Welle (= Doppelstrich, ganz rechts). Der Positionswinkel Beta der Welle ist somit das Zeit-Integral der Eingangsspannung. Der Eingangswert y kann auch variabel sein, d.h. zeitabhängig.



Eingangsspannung und Generatorspannung werden voneinander subtrahiert – das gibt aber nicht null, sonst würde der Motor stehen bleiben, die Generatorspannung wäre null, die verstärkte Eingangsspannung würde den Motor antreiben. Das ist keine mögliche Lösung (außer bei $y = 0$).

Zum Glück kann diese Schaltung von Hand gelöst werden:

Sei β der Drehwinkel, β' die Drehgeschwindigkeit, $U = A \cdot \beta'$ die Generatorspannung, K der Verstärkungsfaktor (sehr gross). Die Drehgeschwindigkeit β' ist $C \cdot K \cdot (y - U)$, in C ist eine Getriebe-Übersetzung zwischen Motor und Drehwelle enthalten. A, K, C sind feste Werte. Generatorspannung somit $U = A \cdot C \cdot K \cdot (y - U)$.

A: Wicklungen und Magnetfeld im Generator

C: Volt > Drehzahl im Motor inkl. Getriebe

K: Verstärkung Differenzspannung

Die beiden unterstrichenen Beziehungen zusammensetzen:

$$\beta' = C \cdot K \cdot (y - A \cdot \beta') \text{ oder } \beta' (1 + A \cdot C \cdot K) = y \cdot C \cdot K \text{ oder } \beta' = y \cdot C \cdot K / (1 + A \cdot C \cdot K) \text{ oder kürzen durch K ergibt:}$$

$$\beta' = y \cdot C / (A \cdot C + 1/K) \quad 1/K \text{ wird sehr klein, geht gegen null bei grosser Verstärkung K}$$

$\beta' = y / A$ **Die Drehgeschwindigkeit ist proportional zur Eingangsspannung, wie erhofft.**

C und K spielen keine Rolle mehr, solange K sehr gross ist.

>>> **Somit ist der Drehwinkel das Zeit-Integral der Eingangsspannung.**

Motor-Generatoren bei der IA-58:

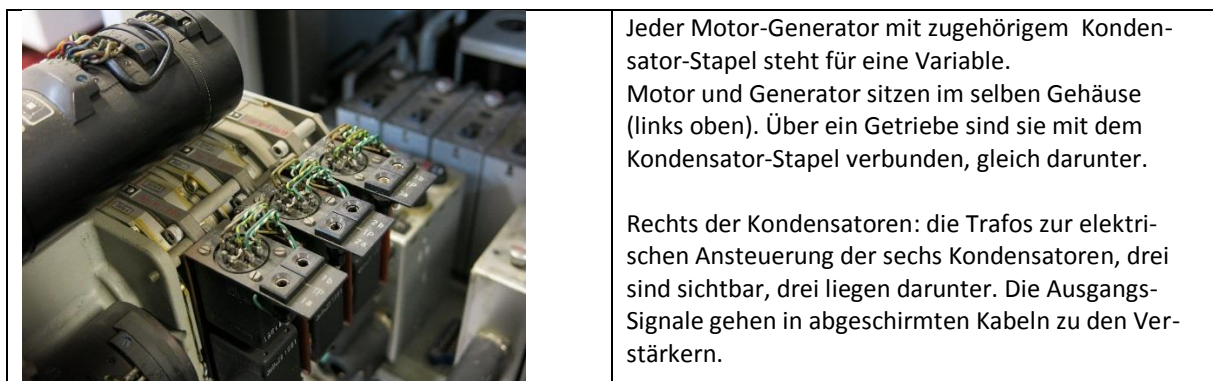
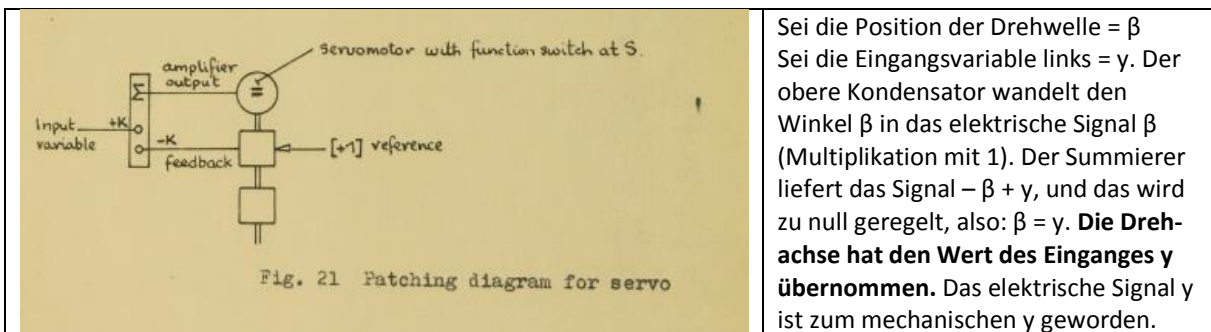


Bild oben rechts: Drei Integratoren und ein Nullstellen-Finder – alles verkettet zusammenhängt. Die Kreise stellen die Motoren dar inkl. Eingangsverstärker, die darunterliegenden Quadrate je einer der sechs linearen Rechenkondensatoren auf der Drehwelle (Drehwelle = Doppelstrich). Die untere Gleichung entsteht aus der oberen, indem beidseits mit dx/dt multipliziert wird. Die zweitoberste horizontale Linie geht nicht in den Summator (kein Punkt in der Leitung), das ist ein Zwischenergebnis des vierten Integrators, zuhanden des dritten, der daraus den zweiten Term der Gleichung herstellt. Woher das dx/dt kommt, geht aus der Skizze nicht hervor. Ausgang von I3 und I4 gehen auf den Schreiber.

Diese Darstellung ist immer noch inspiriert von den rein mechanischen Maschinen von Valdemar Bush. Hier sind die horizontalen Linien aber elektrische Signale, und nicht mehr die Bush-Drehwellen. Bei der IA-58 stellen einzig die Doppelstriche noch die mechanischen Drehwellen dar.

Hier wird alles klarer als beim Bild oben links, aber den Servo-Verstärker vor dem Motor muss man sich noch hinzudenken:



Dem Verfasser kommen die Integratoren klarer und einfacher vor als die Nullstellen-Sucher. Deshalb noch zwei Anwendungen mit «Nullstellen-Suchern», damit man besser in die Gedankenwelt kommt:

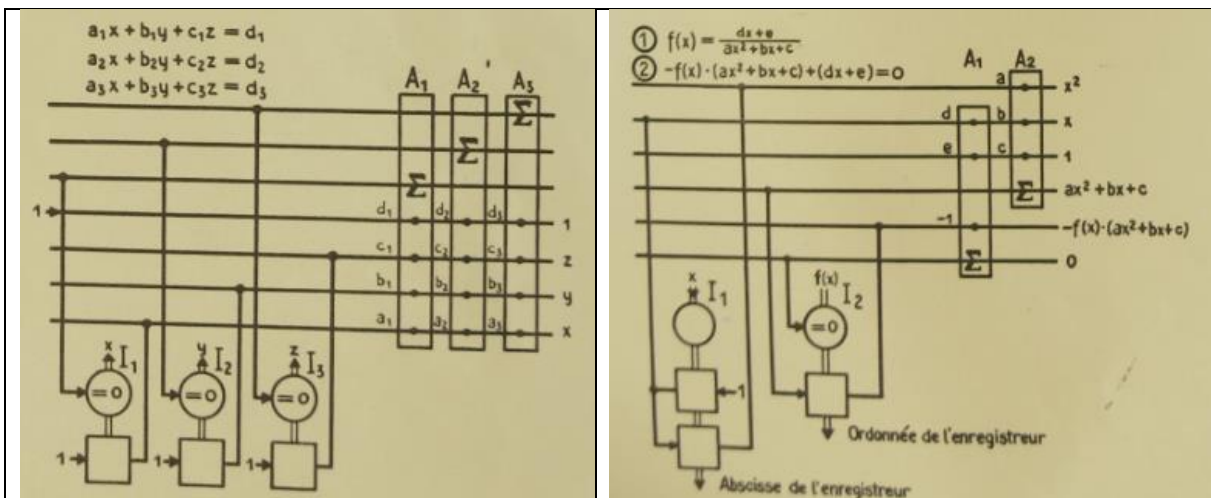


Bild links: Drei lineare, gekoppelte Gleichungen mit drei Unbekannten x , y , z . Jeder Nullstellensucher liefert als Ausgang seine Variable x , y resp. z in mechanischer und elektrischer Form, und gibt sie rechts in die drei Summatoren, wo sie mit den richtigen Koeffizienten (sie müssen aber numerisch bekannt sein) gemäss den Gleichungen addiert werden. Die Summen gehen auf die Nullstellensucher zurück – die kombinierten Lösungen x , y , z stehen mechanisch an den Drehwellen, und elektrisch auch an den Ausgängen der Rechenkondensatoren zur Verfügung. Vorzeichen bei d_1, d_2, d_3 : $*(-1)$

Bild oben rechts: Lineares dividiert durch quadratisches Polynom (rationale Funktion).

Gleichung 2 ist dasselbe wie Gleichung 1. I_1 liefert x (nicht gezeigt, wie), am unteren Kondensator kommt x^2 heraus. I_2 erhält vom Summator ($ax^2 + bx + c$), multipliziert im Kondensator mit $f(x)$ und löst nach null auf. x und $f(x)$ gehen auf den Schreiber – die Kurve der rationalen Funktion wird geschrieben, wenn x alle Werte durchfährt. x könnte z.B. linear mit der Zeit ansteigen.

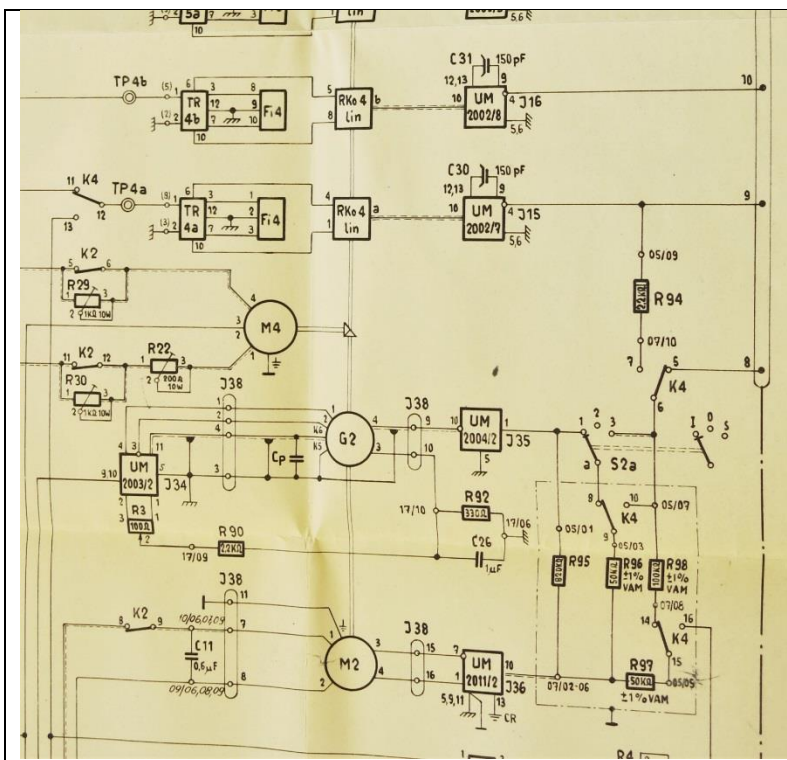
Diese Bilder mit französischem Text stammen aus: *Journées internationales du Calcul Analogique, Sept. 1955. In den Unterlagen im Museum für Kommunikation enthalten.*

Sprachliches Rätsel: Je nach Aufgabe denke man an den «Nullstellen-Sucher», oder aber an den «Eingangs-Kopierer» - der eine Begriff kann einfach, sonnenklar und einleuchtend wirken, der andere gar nicht. Dabei meinen beide Begriffe dasselbe. Ist das eher verwirrend, lustig, oder quälend ?

Vermutung, dann auch gefunden, Bild 5231: Der **Nullstellensucher** wird benutzt zur **Einstellung der Anfangs-Werte** der Integratoren. Jeder Integrator hat einen Drehschalter mit drei Positionen: S 0 I was zu lesen ist gemäss Anleitung als «Servo Null Integrator».

Vermutung erhärtet: Der **Nullstellensucher** wird benutzt zur **Umwandlung einer Variablen** von der elektrischen Form (Volt) in die mechanische Form (Drehwinkel). In umgekehrter Richtung geht es direkt mit einem linearen Rechenkondensator.

Schaltschema des Herzstückes: Vertikale Drehwelle (etwas knapp sichtbar links der Bildmitte) mit der ganzen Nachfolgeeinheit: Motor M2, Generator G2, und sechs Funktions-Kondensatoren (abgebildet sind hier zwei von sechs linearen Kondensatoren):



Feiner vertikaler Doppelstrich links der Bildmitte = Drehwelle mit Motorantrieb M2 ganz unten, Generator G2 und den zwei ersten von sechs Rechenkondensatoren oben.

Motor: Servoverstärker rechts daneben, bringt das Eingangssignal.

Generator: Verstärker für Erregung links, Temp.kompensiert, Linearisierung u. Ausgang rechts.

Kondensatoren: Eingangs-Transformator links, Signalverstärker rechts UM2002, Ausgänge gehen zum Steckbrett. Fi4 unbekannt.

Hilfsmotor M4, ohne Rechensignal: Für motorisierte Null-Stellung ?? Es kommen feste, wählbare Spannungen zum Motor M4, je nach der Stellung des Drehschalters I 0 S. Zusätzlich wird die Drehwelle mit einem Handrad manuell bedient für Tests, auf diesem Plan nicht eingezeichnet.

Der Vollständigkeit halber – zum Verständnis der Rechenweise wohl weniger nötig:

>> Weitere Funde, Beobachtungen, Einzelheiten

Wertebereich: Der normale Wertebereich der Integratoren auf der mechanischen Ebene ist $\pm 80^\circ$ (linearer Multiplikator), elektrisch ± 10 Volt. Der Integrator kann aber darüber hinauslaufen, im Winkel unbegrenzt. Das negative Vorzeichen einer Grösse bedeutet Phasenumkehr der Wechselspannung 400 Hz. Der Papierstreifen des Schreibers hat in beiden Dimensionen eine Breite von ± 12.5 cm, was $\pm 80^\circ$ entspricht oder ± 10 Volt – jedoch ist auch unbegrenzter Vorschub ab der Rolle möglich. Ein Koordinatennetz kann auf Papier geschrieben werden.

Wechselstrom: Die IA-58 läuft ebenfalls mit Wechselstrom 400Hz, genau wie das FltGt (bei höherer Frequenz braucht man weniger Eisen in den vielen Transformatoren und Motoren – stammt aus der Flugzeug-Technik). Die 400 Hz werden bei der IA-58 erzeugt aus einem (sehr langsamem!!) **Schwingquarz mit 4 KHz** aus der Uhrenbranche, mit anschliessender Untersetzung 10:1 mit zwei Röhren. Die Schaltung dieser Untersetzung ist nicht verstanden und ärgert deshalb. Plötzlich taucht wie aus dem Nichts noch eine Frequenz von 3.6 KHz auf, und die Differenz zu 4 KHz wären die gesuchten 400 Hz. **Walter Vollenweider** ist Meister im Verstehen historischer Schaltungen – er bringt auch hier eine Lösung: Ein astabiler Multivibrator mit zwei Röhren schwingt knapp langsamer als 400 Hz – und wird dann durch jeden zehnten Impuls des 4 kHz-Schwingers angestossen zum vorzeitigen Weiterschalten.



Der Schwingquarz (Produktion oder Verwendung durch Ebauches, Uhren) wurde leider nicht schon am Gerät, sondern erst zuhause auf den Fotos entdeckt. Quarz-Oszillator (Glas wie Radio-Röhre) ganz links, dahinter drei Röhren: Schwinger, Untersetzung. Rechts eine Reihe von Verstärkern, nur um jeweils ein Vergleichs-Relais zu bedienen: Zwei Röhren und zwei Transformatoren pro Relais. Das Relais schaltet von zwei Variablen stets auf diejenige, welche den kleineren Wert hat.

Vielleicht hat der Quarz auch eine Schwingfrequenz von 4.096 kHz: Wenn man das zwölf Mal durch zwei dividiert, gibt es einen Sekundentakt – zumal schon die Uhrenbranche angesprochen wird.

Die Röhren-Verstärker im FltGt und in der IA-58 sind trotz identischer Funktion überhaupt nicht gleich gebaut!! Ein Grund dafür scheint zu sein, dass im FltGt immer klar ist, welche elektronische Stufe davor und danach angeschlossen ist. Impedanzen, Phasenverschiebungen können so optimiert werden. Bei der IA-58 werden die Elemente immer wieder anders zusammengestellt, und deshalb müssen die Verstärker auf mehr Möglichkeiten und auch auf ungünstigere Fälle vorbereitet werden. Begründung und Zitat, zum Verstärker direkt nach den Rechenkondensatoren:

«Diese Anordnung (Vorverstärker, Trennverstärker) war aus Stabilitätsgründen erforderlich. Würde man nämlich direkt nach dem Trennverstärker eine induktive Last anschliessen, so neigte die Schaltung zum Schwingen auf tiefen Frequenzen. Besonders gefährlich sind hier die Trafo-Dekaden mit hochwertigen Ringkernen, die abrupt übersättigt werden, wenn sie stossartig mit sehr tiefen Frequenzen gespeist werden.»

Trafo-Dekaden: Summier-Gewichte am Eingang der Addierer. Tiefe Frequenzen: Wohl die Schwing-Frequenz, nicht die 400 Hz.

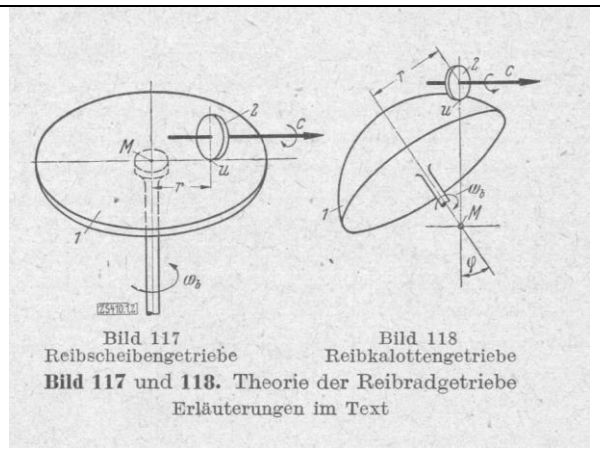
Unterschiede zwischen FltGt und IA-58 sind auch beobachtet worden bei der Wechselstrom-Speisung der Rechenkondensatoren (neben dem Trafo findet sich bei IA-58 im Plan noch zweites Kästchen, genannt Fi (Filter??), Bild 5273-75,78, aber im Schema Bild 5224 nicht gezeichnet), bei der Bezeichnungs-Nummer und der mechanischen Verriegelung der verschiedenen Röhren-Verstärker.

Integrieren im Feuerleitgerät:

Das Integrieren, bei der IA-58 der Hauptzweck, kommt **beim FltGt** kaum oder nur sehr am Rande vor. Der Rechner ist allerdings komplex, die Untersuchungen erfolgten nur, bis man sich ein Bild davon machen konnte, was da läuft – aber nicht bis zum hintersten Motörchen. Im Laufe dieser Untersuchungen ist im Rahmen der Treffpunktberechnung keine Integration über die Zeit entdeckt worden. Es wird mehr mit Multiplikationen gearbeitet: Weg = Geschwindigkeit mal Flugzeit, bei zusätzlicher Kurve wird die Beschleunigung als fest betrachtet, dann mit einfacher Formel. Womöglich wird bei folgender Aufgabe im FltGt echt integriert: Der Richter auf dem Turm behält das Flugzeug immer im Fadenkreuz, indem er am Steuerknüppel zwischen den Knien horizontal und vertikal die (automatisch laufende) Winkelgeschwindigkeit korrigiert. Bleibt die Winkelgeschwindigkeit des Flugzeuges konstant, muss er nichts tun, der Winkel wächst von selbst mit der Zeit; andernfalls korrigiert er die Winkelgeschwindigkeiten mit geringen Fingerbewegungen – diese Bewegungen (Winkelbeschleunigung) werden integriert zur aktuellen, besseren Winkelgeschwindigkeit. Abzulesen am Turm ist jederzeit auch der aktuelle Winkel zum Flugzeug.

Die mechanischen Rechner, sog. «Kommandogeräte» in Deutschland vor und während des 2. Weltkrieges hatten meist mehrere mechanische Integratoren eingebaut, als Scheiben oder oft in Form rotierender, neigbarer Kugelkalotten. Die Abgreifrolle bleibt dabei an Ort fest, muss nicht verschoben werden: die drehende Kugelkalotte schwenkt unter ihr weg.

Bild aus: Obersting. Alfred Kuhlenkamp VDI, Flak-Kommandogeräte, 1943, VDI-Verlag Berlin. Eine reichhaltige Sammlung mechanischer Flak-Rechner und ihrer Bauteile.



Die Integratoren der IA-58 müssen etwas heikel gewesen sein zum Einstellen, zum Abgleich, zum rechenbereit machen. Es gibt seitenweise Prüfprotokolle mit unzähligen Feldern für Mess- und Testwerte. Der Hinweis von Contraves «Die IA-58 ist in 5 Minuten nach dem Einschalten betriebsbereit» ist von Hand ergänzt worden: *aber nicht rechenbereit*. «Für die Prüfung der Toleranzen ist eine Vorheizzeit von 30 Minuten zulässig» wird ergänzt: ... *60 Minuten nötig*. An anderer Stelle wird sogar von «mindestens zwei Stunden Anwärmzeit» gesprochen. – Natürlich sind diese aufwändigen Einstellungen bedingt durch die hohen Genauigkeitsansprüche, die mit 1 ‰ angegeben werden. Wenn der ganze Drehbereich der Integratoren $\pm 180^\circ$ beträgt (ausserhalb Rechenbereich, gilt nur für sinus / cosinus), so soll bei momentanen Fehlstellungen der Servokreise die Korrektur bereits ab einem Winkelfehler von 0.024° anlaufen, also bei 1.5 Winkelminuten. Eindrücklich!

Es sieht alles gar nicht nach Einführungs-Unterricht im Grundkurs des Technikums aus, sondern nach letztem Herauskitzeln, was nur irgend möglich ist.

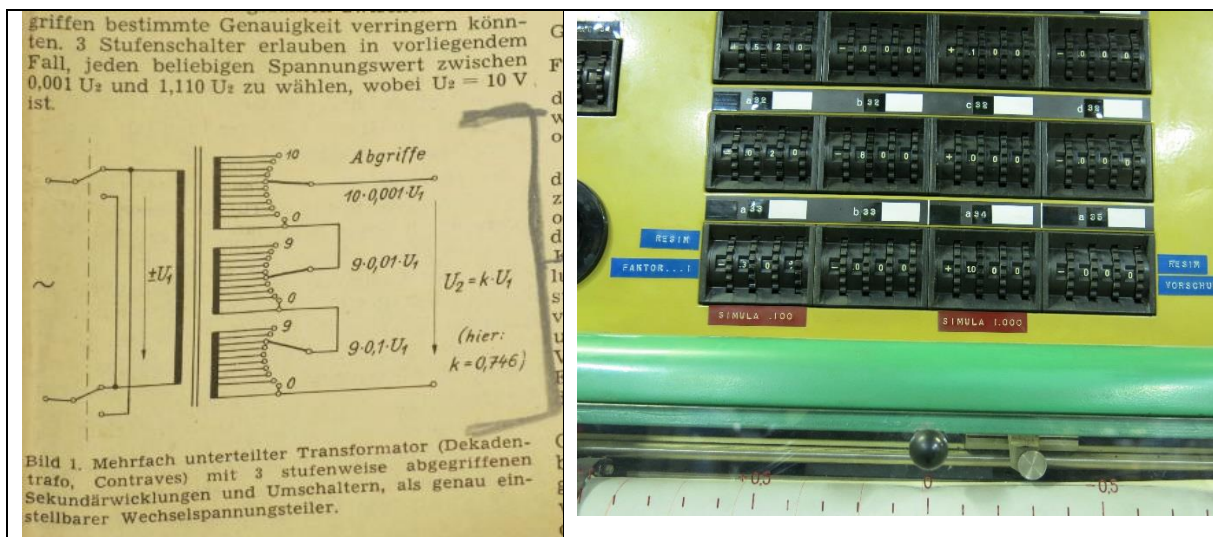
Ausgang, Anzeige des Berechnungs-Verlaufes:

In erster Linie werden die gewünschten Variablen in ihrem Zeitverlauf auf einem **Papierschreiber** aufgezeichnet. Der Papiervorschub kann mit konstanter Geschwindigkeit erfolgen, oder aber beide Schreibrichtungen lassen sich an zwei Variablen koppeln, mit Vor- und Rückwärtsbewegungen. Zum Test der Integratoren lassen sich z.B. grosse Kreise zeichnen, die ausgemessen werden. – Weiter hat es Oszilloskop-Anschlüsse. Dabei liegt ein nettes, altes, einfaches Philips-Oszilloskop GM 5655, mit insgesamt 6 Bedienknöpfen, inkl. Helligkeit und Fokus. Es gibt noch keine V/cm-Ablesung.

Beim zehn Jahre älteren Flugbahn-Integraphen von Amsler, Schaffhausen, gab es – neben dem Papier-Plotter – fünf mechanische Ziffern-Uhren, welche den Wert der Variablen laufend numerisch anzeigen. Die ganze Reihe dieser Zähler lässt sich per Filmkamera in regelmässigen Zeiten abfotografieren, so dass die Rechenwerte aller Zwischenstufen direkt dokumentiert sind – wohl genauer als bei einer graphischen Kurve auf Papier.

Gewichtungsfaktoren bei der Addition

Mit erstmals eingeführten «Dekadenschaltern» (Drehringe mit Einrast-Stufen, 0 bis 9 angeschrieben) konnten von Hand die Gewichtungsfaktoren der einzelnen Summanden eingestellt werden. Das sind fein abgestufte Transformatoren. Mit dem Schalter ganz links kann das Vorzeichen gewechselt werden (vierter Drehring im Schalter). Die Anfangswerte der Integratoren werden auch auf diese Art eingestellt.



Einbau in die ganze Schaltung. Siehe p. 3, dort kleines Bild rechts. Links ist nur der Gewichtungsfaktor eines einzigen Einganges gezeigt (pro Summe gibt es drei gewichtete Eingänge plus ein fester plus Vorzeichen-Wechsel). Zeichnung gilt für den Prototypen IA-55, Bild rechts für IA-58 zeigt 12 Gewichtungsfaktoren mit 36 Transformatoren – für eine Schublade.

Variable Zeit, schneller oder langsamer

Es gab bei der IA-58 eine Möglichkeit, die Rechnungen bei Bedarf verzögert oder beschleunigt ablaufen zu lassen. Die Integratoren durften nicht zu hohe Geschwindigkeit und nicht zu hohe Beschleunigung erfahren.

Dass auch über ganz andere Variablen als über die Zeit integriert werden konnte, ist kaum möglich, da der Generator seine Spannung je nach seiner echten Geschwindigkeit abgibt.

Relais und Logik

Es gibt bei der IA-58 im Signalweg Spezial-Relais, um «den kleineren von zwei Werten» herauszupflücken – oder bei dieser Umschaltung auch gleich anderswo eine andere Variable zu wählen.

Zusätzlich gibt es genau wie beim FltGt unzählige Relais, um die Bauelemente bei verschiedenen Betriebszuständen anders miteinander zu verknüpfen. Das macht die Pläne schwer lesbar.

Synchros – als Empfänger oder Sender von Winkelwerten

Im FltGt müssen überall mechanische Drehwinkel im Gerät herumverteilt und beim Empfänger präzise kopiert werden. Bei der IA-58 gibt es das nicht.

Wann war das alles ? Jahreszahlen – nur ab den Fotos, d.h. etwas zufällig gefundene Angaben.

Pressebericht NZZ zum **Prototypen IA-55**: September 1955 (Ref. 4). Eine Zusammenarbeit zwischen Contraves und der ETH / Angewandte Mathematik (Dr. Speiser) wird erwähnt. 1955 wechselt Ambros Speiser von der ETH zu IBM, was wegen ERMETH-Bau grossen Aerger gab.

Zur **definitiven Form IA-58**:

Frühes Datum: Oktober 1958 (noch bei Contraves). Mai, Aug., Okt. 1959 Elektro-Pläne und Anleitung
Jan. / Feb. 1959 Regierungsrat / Kantonsrat Beschluss
15.6.1960 Contraves-Stempel auf dem Chassis, linke Schiene, einer der Schubladen
1962 in Winterthur in Betrieb (oder früher)

Spätes Datum, als in Winterthur sicher noch damit gearbeitet wurde: Mai 1969 (oder noch später)
Der Betriebsstunden-Zähler zeigt am Ende auf 2630 Stunden.

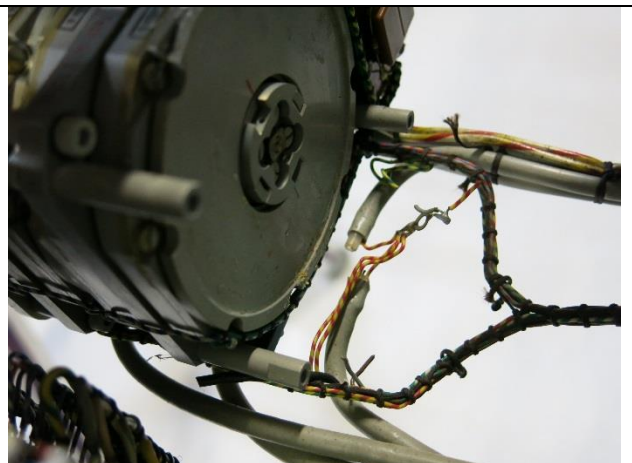
1982 geht die Anlage vom Technikum an das Technorama, ebenfalls in Winterthur. 1984 sucht das Technorama bei Contraves nach Bestandteilen – es gibt keine mehr.

Zwischen 2004 und 2006 kommt die Rechenanlage ERMETH vom Technorama ins Museum für Kommunikation – die IA-58 vielleicht auch gerade, im selben Schub ?

Das haben schon viele Ausgräber so erlebt: Uff, da war jemand vor uns da – Grabräuber!

Aus den Stapeln von Rechenkondensatoren sind zwei Doppelkondensatoren abgeschraubt worden, die Anschlüsse abgeknipt. Ein persönliches Andenken vielleicht. Es ist gerade der originellste Teil der Firma Contraves in diesem Gerät.

Ev. hat sich das Technorama aus diesem Grund 1984 bei Contraves erkundigt, ob noch ein Bezug von Ersatzteilen für die IA-58 möglich sei ?



Handwerkliches, Fertigung:

- Bei der **IA-58** sind anlässlich der Untersuchung zwei Verstärkerelemente geöffnet worden (einmal mit 2 Röhren, einmal mit 3 Röhren): Es hat **keine Platine** drin, weder beim einen noch beim anderen. Zwei seitliche Reihen von Stützstellen tragen alle Bauelemente – im Beispiel rechts bei grossem Gedränge. Rechte Seite normaler Anschluss-Stecker, links Test- und Abgleichmöglichkeiten.



- Beim **FltGt** sind diejenigen elektronische Platinen, die nur in kleinen Stückzahlen je Sorte vorkommen, ebenfalls ohne feste Leiterbahnen gefertigt. Es gibt nur Stützpunkte oder Stütz-Nägel, daran werden die Widerstände und Kondensatoren angelötet. Die Verstärker, die in grösseren Stückzahlen vorkommen, haben jedoch beim eher späten Exemplar, das ich untersuchen konnte (mit Standzeichen-Unterdrückung), bereits Platinen mit aufgedruckten resp. herausgeätzten Leiterbahnen.

- ERMETH:



Die ETH Zürich hat neulich im Rahmen von historischen Fundstücken ein steckbares Element des **Rechners ERMETH** abgebildet (Eigenbau der ETH bis ca. 1956, Hasler Bern hat beim Bau mitgeholfen, Betrieb bis 1963). Die Ähnlichkeit zu den Elementen des FltGt von Contraves ist frappant: Befestigung der Platine mit den Alu-Winkeln, nur Stütz-Nägel, Stecker und Führungstifte ähnlich, Einschieben ins Alu-Gehäuse, Befestigung mit seitlicher Schraube.

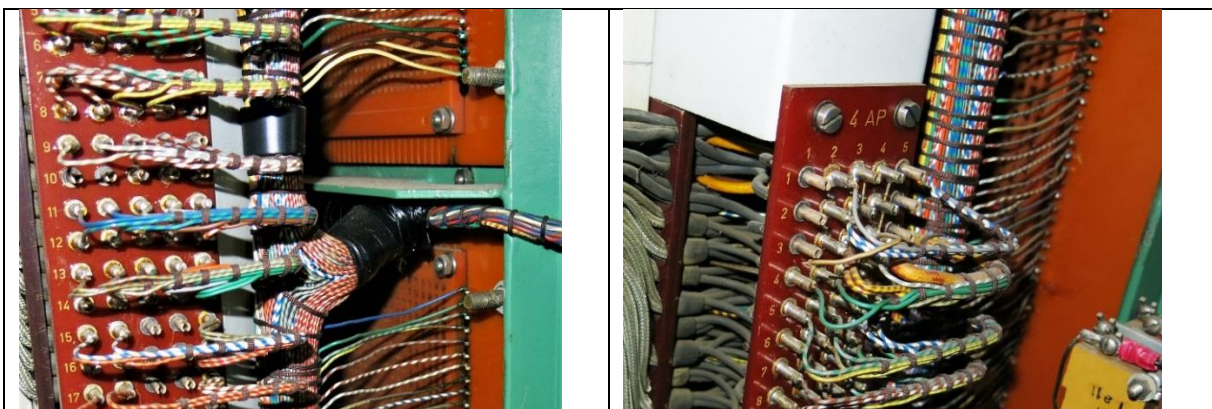
Rückseitig liegen sieben Widerstände.

In jeder Schublade der IA-58 liegen 12 Verstärker für die Rechen-Kondensatoren, 5 Summenverst., 8 übrige Verstärker, plus Motorverstärker, Speisung etc. – total ca. 140 Röhren-Verstärker.

ETH-Fundstück: <https://blogs.ethz.ch/id/2019/12/05/serie-it-fundstueck-3-2019-was-verbinden-sie-damit/>

Kabelbäume:

In der Nähe der Eingangs-/Ausgangs-Steckplatten gibt es dicke, lange Kabelbäume. In diesen Drähten liegen 400 Hz-Signale an – ob denn die Signale nicht kapazitiv von einem Draht zum benachbarten übersprechen ?



>> Anhang:

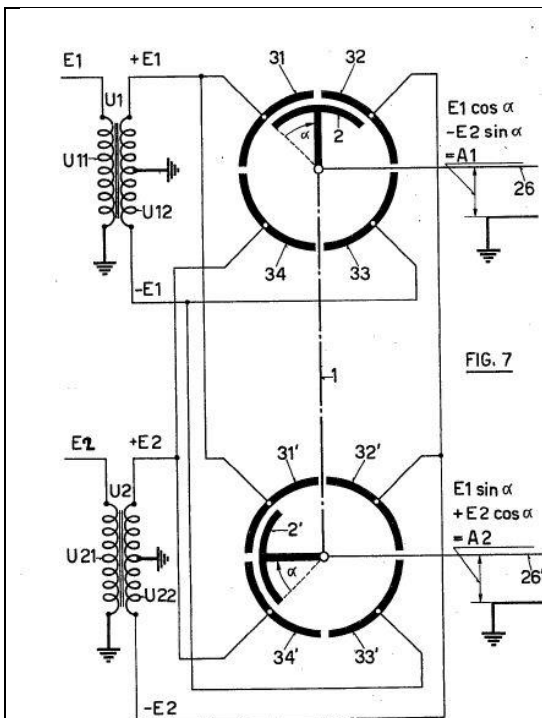
Form / Ansteuerung der Rechenkondensatoren:

Übernommen aus der Arbeit über das Feuerleitgerät «Super-Fledermaus»



Gross: Fester Mittelteil zwischen den beiden Rotoren – das Endstück ist abgehoben. Die Statoren haben hier vier Sektoren, untereinander isoliert (Luftspalt, aussen mit Klebebrücke).
 Darauf in engem Abstand, kleiner: der Rotor. Er ist so geschnitten, dass die Kapazität beim Drehen von einem zum nächsten Sektor sinusförmig zu- oder abnimmt. Der Rotor greift mit seinen Rillen in die entsprechenden Vertiefungen des Stators. Darüber käme der Deckel des Stators, wieder mit den Rillen eingreifend. Das ist zusammen die eine Hälfte eines Doppelkondensators. Der zweite Rotor ist hinter dem Mittelteil. Er wirkt allein, oder auch zusammen mit dem ersten Rotor – aber der Drehwinkel bleibt natürlich fest gekoppelt. Andere RKO arbeiten linear oder haben Teile der Geschossflugbahn gespeichert. Dimensionen 9 x 9 x 3.7 cm.

Unten folgt die elektrische Ansteuerung eines Doppel-Kondensators, der gleichzeitig mit zwei verschiedenen Eingangssignalen zwei kombinierte trigonometrische Ausdrücke bestimmt (der Drehwinkel bei beiden Kondensatoren ist identisch, sie sind starr gekoppelt):



Aus dem **Contraves-Patent CH322793** (1954/57): Ansteuerung zu nochmals erweiterter Funktion mit zwei unterschiedlichen Speisespannungen, ebenfalls zwei Rotoren, mit Stator zu vier Sektoren. Das gibt zwei Eingänge E und zwei Ausgänge A:

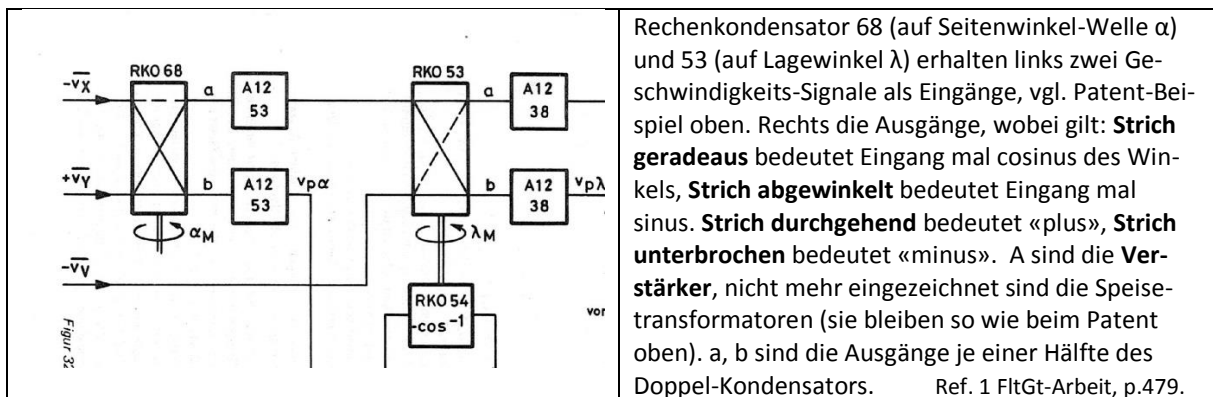
$$A1 = E1 \cos \alpha - E2 \sin \alpha$$

$$A2 = E1 \sin \alpha + E2 \cos \alpha$$

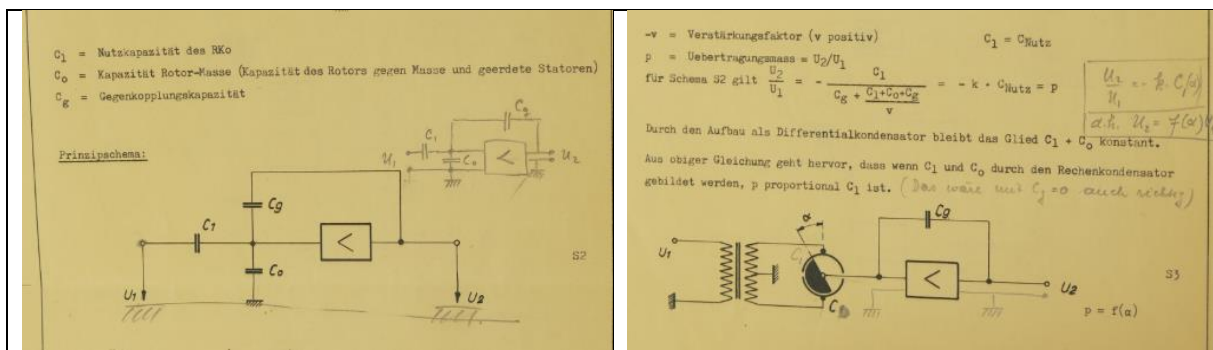
Die beiden Spannungen sind mit + und - am Stator je «diagonal gegenüber» angelegt. Links die beiden Transformatoren, die jeweils direkt oberhalb der RKO angeordnet sind. Die Regel sind zwei Trafos wie hier, selten nur einer oder gar deren drei pro RKO (gilt alles für das FltGt).

Diese sin-, cos-Funktionen kommen häufig vor in der räumlichen Orientierung am Himmel!

Weil gerade diese Kombination oft vorkommt, hat man ihr eine Art «graphischer Abkürzung» gegeben:



Die Ansteuerung eines **linearen Rechenkondensators** (Kapazität proportional Drehwinkel) benötigt einen symmetrischen Trafo (Mitten-Anzapfung auf Erde), die beiden Trafo-Enden gehen auf die beiden Stator-Hälften des Rechenkondensators: C_1 ist Kapazität der einen Stator-Hälfte zum Rotor, C_0 vom Rotor zur anderen Stator-Hälfte (beide abhängig vom Drehwinkel des Kondensators). C_g ist eine Gegenkopplung vom Ausgang des Verstärkers zum Eingang. Vom Ausgang des Verstärkers geht's dann z.B. zum Eingangsverstärker eines Servomotors, der die Drehungen der mechanischen Wellen bewirkt, oder auf einen Addierer.



Multiplikation zweier Variablen:

Die eine Variable werde abgebildet als Eingangsspannung zum linearen Drehkondensator. Die andere Variable werde abgebildet als Drehwinkel des linearen Kondensators. Ausgangsspannung am Kondensator (d.h. hinter seinem Verstärker) = Eingangsspannung mal Drehwinkel – fertig ist die Multiplikation. – Die Multiplikation zweier Variablen mit Operationsverstärkern ist nicht ganz einfach zu lösen, es braucht schon aufwändige Tricks: von beiden Variablen die Logarithmen nehmen, addieren, und wieder ent-logarithmieren. Oder $(x + y)^2 - (x - y)^2$, so dass sich alles weghebt ausser $4 \cdot x \cdot y$. Natürlich ist die Herstellung der Rechenkondensatoren in der nötigen Präzision sehr aufwändig, aber wenn man die einmal hat, werden die Operationen sehr einfach.

Die **Division** erfolgt mit einem speziellen Reziprok-Verstärker hinter einem normalen, linearen Rechenkondensator. Dabei liegt der Rechenkondensator zwischen Verstärker Aus- und Eingang, in der Rückkopplungsschleufe.

Genauigkeit immer wieder untersucht

Es sind Angaben erhalten zur Untersuchung der Rechen-Genauigkeit, wenn die Motoren punkto Geschwindigkeit und Beschleunigung real sind und nicht ideal. Damit sich die endliche Winkelbeschleunigung der Motoren (fast) nicht mehr auswirkt, wird zu Rechenbeginn die «variable Zeitgeschwindigkeit» in den ersten 0.4 Sekunden linear von null auf «normal» hochgefahren (Briefwechsel Hänni und Frick, Contraves, mit Prof. Prokop, Technikum Winterthur, 3. & 21.4.62).

>> Quellen In der Reihenfolge Ihres Auftretens

1. Contact, Hausmitteilungen der Contraves AG, Sondernummer 6/76: 40 Jahre Contraves. Knappe Erwähnung mit Bild einer Integrieranlage 58, zuvor Bild der Integrieranlage 55 (Wechselstrom-Analogrechner).

2. Staatsarchiv Zürich, Beschaffungskredit für die Analogie-Rechenanlage im Technikum Winterthur. Suchen nach KRP 1959/150/1122.

3. Wilfried de Beauclair, Mathematik ohne Ziffern, Zitat p.56:

«Die Firma CONTRAVES AG / Zürich baute um 1955 den Elektromechanischen Integrator IA 55 (Abb. 110) mit Relais-Verstärker, mit Integrier-Einrichtungen als driftfreie Folgemotoren, die durch ‚Rechenkondensatoren‘, die auch Addieren und Subtrahieren, Multiplizieren und Dividieren konnten, elektrisch (400 Hz) verkoppelt waren [3a, b]. Die Anlage hatte eine Kreuzschienen-Stecktafel und Genauigkeit um 0,1%. CONTRAVES baute darauf weiterentwickelnd die Modelle IA 58 sowie ab 1959 die Modelle MIA-850 und Intrasond.»

Korrektur: MIA-850 und wahrscheinlich auch Intrasond stammten von Amsler, Schaffhausen, nicht von Contraves. Intrasond war ein Rechner zur Bestimmung der Flughöhen bei Ballonaufstiegen, aus den gemessenen werten von Druck und Temperatur, Ideen von Prof. Stiefel, ETH, Artillerie-Wetterdienst.

Auf Seite 56 dieser Quelle findet sich kurz und kaum verständlich eine seltsame Ähnlichkeit (unterstrichen) zwischen dem zweiten Integriergerät von Vannemar Bush («Rockefeller Differential Analyzer» RDA) und der fast 20 Jahre jüngeren Contraves-Integrieranlage. Von der zweiten Anlage RDA von Bush ist nicht viel bekannt, während des Krieges wurde nicht einmal deren Existenz bekannt gegeben.

«Vannevar Bush, der Pionier der Integrieranlagen, hatte ab 1920 auch mit Wattstundenzählern als Integratoren experimentiert, fand sie aber zu ungenau. Nach dem so erfolgreichen und als Vorbild dienenden mechanischem Differential Analyzer baute er eine **neue Anlage** wieder mit vorerst 18 Reibrad-Integratoren, aber nun mit freizügiger elektronischer Drehwert-Übertragung mittels kapazitiver Drehflügel-Nachfolgeschaltungen und mit Koppeltafel. Dafür und für die Plotter (Zeichentrommeln) usw. waren insgesamt 2000 Röhren in den Verstärkern erforderlich [2]. Zur Einstellung und Kopplungsvorgabe dienten Lochstreifen (Abb. 109).»

4. NZZ 20.1.1960, Ausgabe 2, Blatt 7: F. Hänni, Zürich: Eine schweizerische Analogie-Rechenmaschine. IA55 und IA58 werden besprochen.

Erster Teil NZZ 20. Jan. 60: IA-55

<https://www.e-newspaperarchives.ch/?a=d&d=NZZ19600120-02.2.35.1&srpos=12&e=-----de-20--1--txt-txIN-Integrieranlage-----0----->

Zweiter Teil: 20.Jan. 1960 IA-55 & 58. «Die IA-58 befindet sich in Fabrikation»

<https://www.e-newspaperarchives.ch/?a=d&d=NZZ19600120-02.2.35.3&srpos=1&e=-----de-20--1--txt-txIN-Integrieranlage-----0----->

Max. Schwingungsfrequenz ca. 1/6 Hz bei voller Amplitude.

MIA-850: von Amsler, SH. In NZZ 4.3.59. Mehrzweck-IA. Summen: Differentialgetriebe. Amsler Kugel-Integratoren. Kurven-Abtaster optisch. Intrasond: Sondenaufstieg, aus den Werten von p und T wird Höhe errechnet, offenbar aus der Küche von Prof. Stiefel, Artillerie-Wetterdienst – hier zu finden:

<https://www.e-newspaperarchives.ch/?a=d&d=NZZ19590304-02&e=-----de-20--1--txt-txIN-MIA%252D850-----0----->

5. Museum für Kommunikation, Bern: Schriftliche Dokumente, Beschreibungen, Betriebsvorschriften zur IA 58 des Technikums Winterthur.

Wo nichts anderes steht, stammen alle Bilder dieser Arbeit aus den Unterlagen des Museums für Kommunikation und auch ab dem eigentlichen Gerät in der Aussenstation. Gelegentlich ist ein Detail aus der NZZ drin, Quelle Nr. 4, aber das ist auch in 5. gefunden worden (oder in e-newspaperarchives.ch).

Weitere Quellen zu Analogrechnern:

<http://analogmuseum.org/english/impressions/>

Überblick über zahlreiche Analogrechner (Bilder-Sammlung), auch aus der Zeit vor/um 1960. Wie sie aussehen.

http://analogmuseum.org/library/analog_computer_hand_small.pdf

Grundsaltungen mathematischer Operationen mit neueren Operationsverstärkern, 1969

>> Chronologie:

Analogrechner allgemein:

			E: Einzelanlage. Eine andere Aufgabe braucht eine andere Maschine
			P: Programmierbare Anlage, sie wird jeder Aufgabe neu angepasst.
1872	E	Gezeiten-Voraussage Lord Kelvin	
1928-32	P	Erster grosser mechanischer Differential Analyzer von Vannemar Bush	
1948	E	Anschaffung Schweizer Armee: Flugbahn-Integriergerät Curti/Dubois/Amsler, gebaut von Amsler SH mit anfänglich vier Kugel-Integratoren. Idee 1937 P. Curti. Rechner ist gebaut genau für einen Zweck. Zeichentisch, fotografische Dokumentation der Rechenwerte. Später wird beim Luftwiderstand ein fünfter Integrator eingebaut (Idee dazu 1950). 1955: Neue Konstruktion des Amsler-Integraphen. Neue Kugel-Integratoren. Optisches Einlesen gezeichneter Kurven.	
1948	E	Technik Feuerleitrechner «Fledermaus» der Contraves mit Rechenkondensatoren ist fertig und ein erster Rechner ist gebaut. Grosse Serien 1957 BRD, 1962 CH.	
Ab 1954	P	Integromat Schoppe & Faeser, Minden, aufgestellt in Bonn. Diskrete Werte, gequantelte Grössen, Klinkenräder, elektr. Impulsfolgen, Schrittwerk, zerhackte Drehbewegungen, Unterbrecher, Schrittmagnete, aequidistante Lamellen, Stachelrad etc. Lochstreifen, Schalttafel mit Ein- und Ausgängen, Zeichentisch.	
1955, 1958	P	Erste (Prototyp) und zweite Integrieranlage von Contraves mit Servomotoren und Rechenkondensatoren. Schalttafel mit Ein- und Ausgängen. IA 58: Digitalschalter für Additions-Gewichtungen. Graphischer Schreiber für Resultate.	

Digitalrechner:

1942-45	P	ZUSE Z4 entwickelt, mechanisch und Relais.
1948		Sowohl Contraves wie die ETH schicken Leute in die USA zum Studium der dort realisierten Rechenanlagen: Lattmann, Rutishauser, Speiser
1950-55	P	ZUSE Z4 an der ETH im Einsatz
1963	P	CORA I fertig (entwickelt ab 1957), erster Digitalrechner Contraves, Peter Toth CORA II wird ab 1971 in der Feuerleitanlage Skyguard verwendet.
1958-1963	P	Digitalrechner ERMETH an der ETH in Betrieb. 1500 Röhren, Lochkarten, magnet. Trommelspeicher 1.5 Tonnen. Bau der Anlage: 1948-1956.
ab 1964	P	Digitalrechner CDC 1604A an der ETH

Der ERMETH-Rechner nahm nach seinem ETH-Dienst ev. einen ähnlichen Weg über Winterthur nach Bern wie die IA-58:

Nach dem Abbau 1963 wurde ERMETH als wichtiges Exponat für das geplante [Technorama](#) in [Winterthur](#) vorerst eingelagert und dann 1982–2004 dort ausgestellt. Seit Ende 2006 steht sie als [Dauerleihgabe](#) der ETH Zürich im [Museum für Kommunikation](#) in [Bern](#).

Bisherige Arbeiten:

Dies ist die siebzehnte Arbeit in einer Reihe, in der **historische Militärrechner** studiert und beschrieben werden – meistens im Bereich der **Fliegerabwehr**:

Erste Arbeit:	Kommandogerät SPERRY	Herbst 2014
Zweite Arbeit:	Kommandogerät GAMMA-JUHASZ-HASLER	2014/15
Dritte Arbeit:	Diverse Geräte der Fliegerabwehr: Distanzbestimmungen, Kontroll- und Schulungsgeräte	
Vierte Arbeit:	Rechnen mit präzise geformten Stahlkörpern	März 2016
Fünfte Arbeit:	Kommandogerät zur 34mm Kanone (Winkelgeschwindigkeits-Gerät)	Mai 2016
Sechste Arbeit:	Frühe CONTRAVES-Geräte: Oionoskop mit Stereomat und Verograph	Juli 2016
Siebte Arbeit:	Horchortung: Elascop und Orthognom	Nov 2016
Achte Arbeit:	Kurvenflug-Rechner	Jan 2017
Neunte Arbeit:	Automatisierte Rechner für Geschossflugbahnen	Mai 2017
Zehnte Arbeit:	Auswanderungsmesser: Flugzeugvermessung im 1. Weltkrieg	Okt 2017
Elfte Arbeit:	Rechenanlage Verograph zur genauen Distanzbestimmung	Dez 2018
Zwölfte Arbeit:	Flabvisier XABA zur 35mm-Kanone 1963 Oerlikon	Mai 2019
Dreizehnte Arb:	Hunter-Rechner BT-9 von SAAB (Flugzeug-Rechner)	März 2020
Vierzehnte Arb:	Kommandogerät GAMMA: Reparaturheft gefunden (kurzer Text)	Jan 2021
Fünfzehnte Arb:	Venom-Rechner LAR (Flugzeug-Rechner)	Juni 2021
Sechzehnte Arb:	Feuerleitgerät 63/69 «Super-Fledermaus»	Dez 2021

André Masson, Langenthal / Schweiz

August 2022