

Anwendungsbeispiele für Analogrechner

Beispiel 6



22. April 1966

BESCHALTUNG VON PARABELMULTIPLIZIER-NETZWERKEN

Im Nachfolgenden soll die Beschaltung der Parabelmultiplizier-Netzwerke zum Multiplizieren, Dividieren, Radizieren und für weitere spezielle Rechenoperationen bei den Analogrechnern RAT 700, RAT 740, RA 741, RA 800 und RA 800 HYBRID zusammenfassend dargestellt werden.

Beachte: Grundsätzlich gilt bei allen Schaltungen mit Parabelmultiplizier-Netzwerken, daß die Eingangsgrößen $Y_{\pm}$ des Netzwerkes jeweils direkt als Ausgangsgröße eines Verstärkers, ohne Zwischenschaltung von Potentiometern oder Dioden, anliegen müssen.

Ferner ist aus Gründen der Rechengenauigkeit immer für eine gute Aussteuerung (Y_a gegen ± 1) der Netzwerke zu sorgen.

INHALTSVERZEICHNIS:

1.	Multiplizieren	3
1.1	RAT 700	3
1.2	RAT 700/2	5
1.3	RAT 740 und RA 741	6
1.4	RA 800 und RA 800 HYBRID	9
2.	Dividieren	12
2.1	RAT 700 und RAT 700/2	13
2.2	RAT 740 und RA 741	14
2.3	RA 800 und RA 800 HYBRID	16
3.	Radizieren	17
3.1	RAT 700 und RAT 700/2	17
3.2	RAT 740 und RA 741	18
3.3	RA 800 und RA 800 HYBRID	19
4.	Quadratwurzel eines Produktes	20
4.1	RAT 700, RAT 740 und RA 741	21
4.2	RAT 700/2	22
4.3	RA 800 und RA 800 HYBRID	23
5.	Quadratwurzel der Summe zweier Produkte	23
5.1	RAT 700, RAT 740 und RA 741	24
5.2	RAT 700/2	25
5.3	RA 800 und RA 800 HYBRID	26
6.	Multiplikation mit gleichzeitiger Addition	26
6.1	RAT 700	27
6.2	RAT 700/2	30
6.3	RAT 740 und RA 741	30
6.4	RA 800 und RA 800 HYBRID	32
7.	Spezielle Beschaltungen der Parabel-Multiplizierer	32



BERICHTIGUNGEN zum Anwendungsbeispiel Nr. 6

Seite 1: Zeile 6 muß lauten: Eingangsgrößen Y_{ei}

Seite 7: Bild 5: Das Adressierungsbeispiel im Symbol des Parabelmultiplizier-Netzwerkes " $IM1^+$ " soll heißen: "links von $M1$ ".

Seite 9: Bild 9: Die dort unter +) verwendete Bezeichnung für die Verstärker-

Seite 11: Bild 10b Type "HA 2A, HI 2 A" ist gleichwertig mit der ab Seite 16 Bild 16 unter +) verwendeten "SRV 801".

Seite 11: Zeile 2 muß lauten: ... "in einer Rechenschaltung nicht unmittelbar benachbart gezeichnet werden....."

Seite 17: Gleichung (7) muß lauten:

$$Y_a = + \sqrt{\frac{c}{c}} \cdot \sqrt{-} (X)$$

Seite 21: Der erste Satz unter 4.1. muß lauten:

Da sich hier sowohl in der Rückführung als auch am Eingang des zentralen Verstärkers das gleiche Netzwerk befindet, ergeben sich unabhängig von der Art des Netzwerkes die gleichen Schaltungen zur Bildung der Funktionen nach Gl. (8) (Bild 24) und Gl. (9) (Bild 25).

Seite 26: Zeile 5 muß lauten: Rechenschaltung

Soll bei den Rechnern mit der Prüfarm "Statisch Prüfen" (RAT 740, RA 741, RA 800, RA 800 HYBRID) eine Rechenschaltung damit ausgeprüft werden, so müssen in den, in der vorliegenden Zusammenstellung, angegebenen Schaltungen die Gitterpunktleitungen von den Parabelmultiplizier-Netzwerken anstatt wie angegeben mit dem Gitterpunkt G mit dem, über einen Relaiskontakt von diesem abtrennbaren, Summenpunkt S des Verstärkers verbunden werden.

Beispiel 6



1. Multiplizieren

Die Multiplikation zweier variabler Größen Y_{e1} und Y_{e2} erfolgt mittels eines Parabelmultiplizier-Netzwerkes und eines nachgeschalteten Verstärkers. Dabei sind zwei Verknüpfungen möglich:

$$Y_a = + Y_{e1} Y_{e2} \quad (1)$$

$$Y_a = - Y_{e1} Y_{e2} \quad (2)$$

Die Ausgangsgröße Y_a erhält man am Ausgang des dem Netzwerk nachgeschalteten Verstärkers mit positivem Vorzeichen, (Gl.(1)) falls die Eingänge des Netzwerkes für beide Eingangsgrößen entsprechend der Vorzeichenbeschriftung auf dem Programmierfeld beschaltet werden. Ohne Mehraufwand an Rechenelementen erscheint das Produkt am Ausgang des nachgeschalteten Verstärkers mit negativem Vorzeichen (Gl.(2)) falls man die Eingänge einer der beiden Eingangsgrößen gegenüber der Vorzeichenbeschriftung vertauscht. Vertauscht man die Eingänge beider Eingangsgrößen, in Bezug auf die Vorzeichenbeschriftung des Programmierfeldes, so tritt die Ausgangsgröße Y_a wieder mit positivem Vorzeichen auf (Gl.(1)).

1.1. Multiplizieren beim RAT 700

Beim RAT 700 ist der zum Parabelmultiplizier-Netzwerk (PM 1) passende Rückführwiderstand ($R_o = 38,25 \text{ k}\Omega$) des nachzuschaltenden Verstärkers schon im Netzwerk enthalten, da er nicht mit dem normalen Rückführwiderstand ($R_o = 500 \text{ k}\Omega$) des Verstärkers übereinstimmt. Daraus ergibt sich für die Multiplikation nach Gl.(1) eine Schaltung nach Bild 1. Die entsprechenden Verbindungen auf dem Programmierfeld zeigt Bild 2.

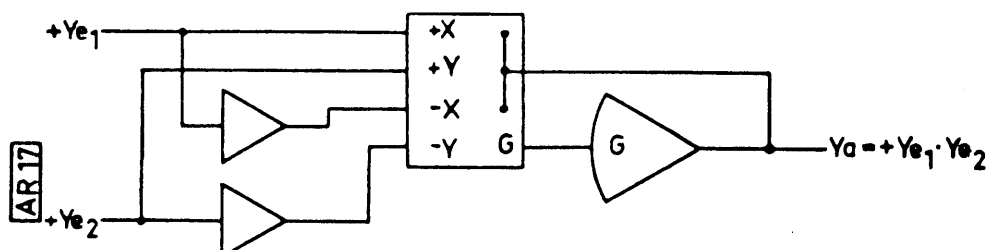


Bild 1: Bildung der Funktion nach Gl.(1).

Das Viereck bezeichnet das Multiplizier-
Netzwerk ohne nachgeschalteten Verstärker

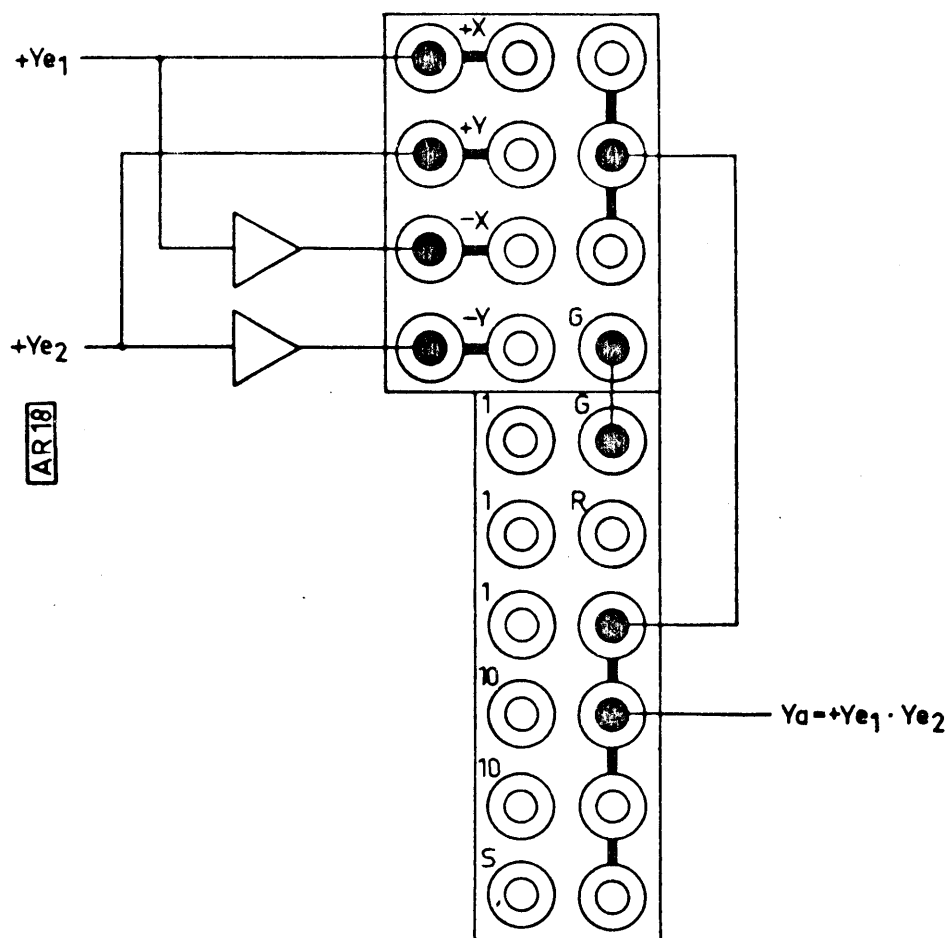


Bild 2: Verbindung auf dem Programmierfeld des RAT 700
zur Bildung der Funktion nach Gl.(1).



Üblicherweise faßt man das Netzwerk und den nachgeschalteten Verstärker zu einem Symbol entsprechend Bild 3 zusammen.

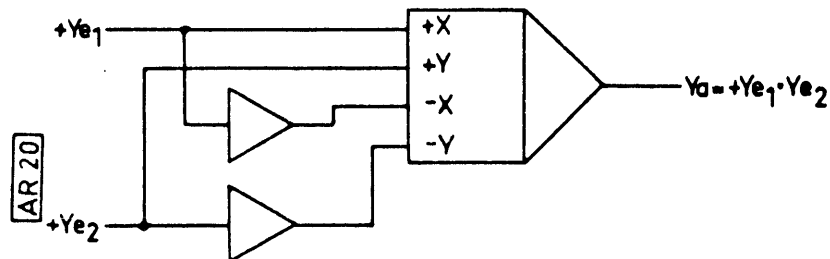


Bild 3: Bildung der Funktion nach Gl.(1).
Darstellung der Rechenschaltung.

Die Schaltung zur Bildung der Funktion nach Gl.(2) zeigt Bild 4.

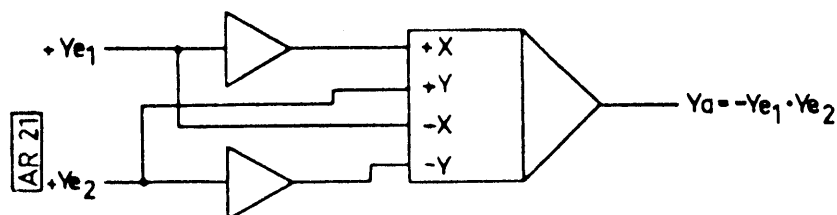


Bild 4: Bildung der Funktion nach Gl.(2).
Darstellung der Rechenschaltung.

1.2. Multiplizieren beim RAT 700/2

Bei den Tischrechnern vom Typ RAT 700/2 ist jeweils ein zusätzliches Kartenmagazin zur Aufnahme von 4 Verstärkern (zugeordnet den 4 Multiplizier-Netzwerken) eingebaut. Ist dieses Magazin nicht bestückt, erfolgt die Programmierung eines Multiplizierers in der unter 1.1. angegebenen Weise.

Bei bestücktem Magazin wird das Parabelmultiplizier-Netzwerk eingangsseitig ebenfalls nach 1.1. beschaltet, jedoch steht das Produkt bereits an den orangefarbenen Ausgangsbuchsen des Netzwerkes an. Der Gitterpunkt G ist mit dem Gitterpunkt des Verstärkers verbunden.

In der Darstellung nach Bild 3 und 4 entfällt in diesem Fall der senkrechte Trennstrich zwischen Netzwerk und Verstärker, (vergl. Bild 26) da hier ein komplettes



und kein zusammengesetztes Rechenelement vorliegt. (Zweckmäßige Adresse des Elementes M1 bis M4 von links nach rechts)

Bild 2a zeigt die Verbindung auf dem Programmierfeld für Gl.(1).

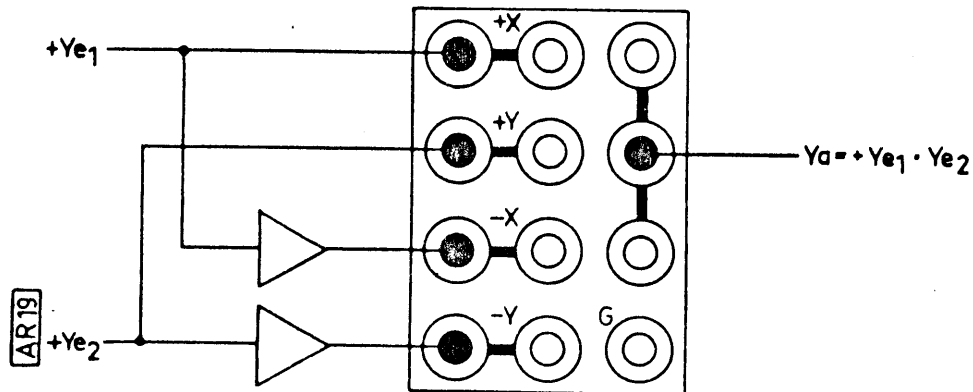


Bild 2a: Verbindung auf dem Programmierfeld des RAT 700/2 zur Bildung der Funktion nach Gl.(1).

1.3. Multiplizieren beim RAT 740 und RA 741

Hier gibt es zwei Möglichkeiten für die Programmierung eines Multiplizierers.

- Programmierung mit Hilfe von standardmäßigen Parabelmultiplizier-Netzwerken und der benachbarten Verstärker.
- Programmierung mit Hilfe von Parabelmultiplizier-Netzwerkskarten auf den Funktionsplätzen und normalen Summierverstärkern.

Fall a)

Die den eingebauten Parabelmultiplizier-Netzwerken benachbarten Verstärker sind mit einem Rückführwiderstand $R_o = 20 \text{ K}\Omega$ beschaltet der auf das Netzwerk abgestimmt ist. Es ergibt sich damit für die Realisierung der Gl.(1) eine Beschaltung gemäß Bild 5. Die dazugehörigen Verbindungen auf dem Programmierfeld zeigt Bild 6.

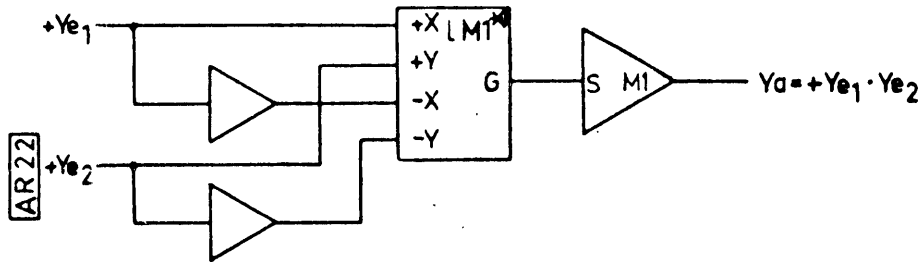


Bild 5: Bildung der Funktion nach Gl.(1).

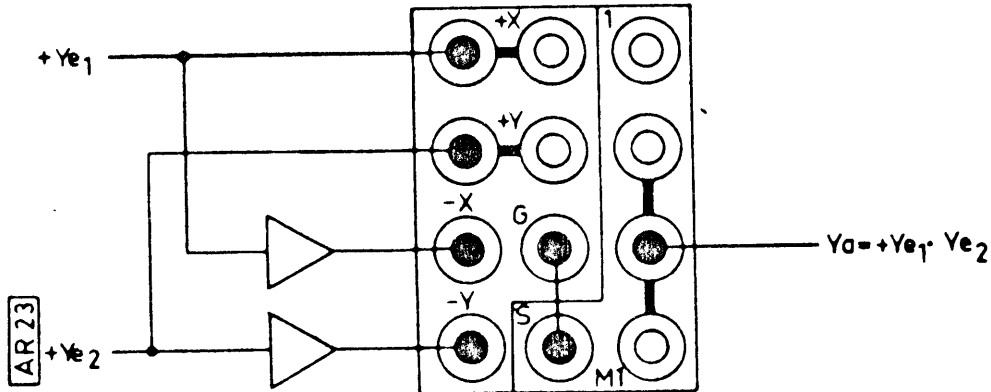


Bild 6: Verbindungen auf dem Programmierfeld zur Bildung der Funktion nach Gl.(1).

In der Rechenschaltung werden die beiden Symbole für das Netzwerk und den Verstärker (Bild 5) zweckmäßig zu einem Symbol nach Bild 3 zusammengefaßt.

Die Darstellung der Schaltung zur Bildung der Funktion nach Gl (2) unterscheidet sich nur durch die Vertauschung der Vorzeichen einer Eingangsgröße.

Fall b)

Zunächst müssen die Parabelmultiplizier-Netzwerkkarten entsprechend den Angaben der Bedienungsanleitung in die Funktionsplätze gesteckt werden. Zur Realisierung der Gl.(1) ist dann nach Bild 7 zu verfahren. Die Buchsen G_x und G_y sind parallel geschaltet; G_1 und G_3 nicht angeschlossen. (Bild 8)

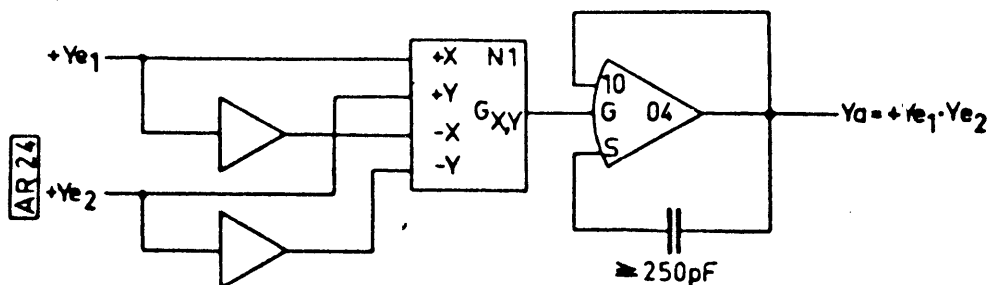


Bild 7: Bildung der Funktion nach Gl.(1).



Die notwendigen Verbindungen eines kompletten Multiplizierers zeigt Bild 8, die Darstellung in der Rechenschaltung geschieht wie in Bild 3.

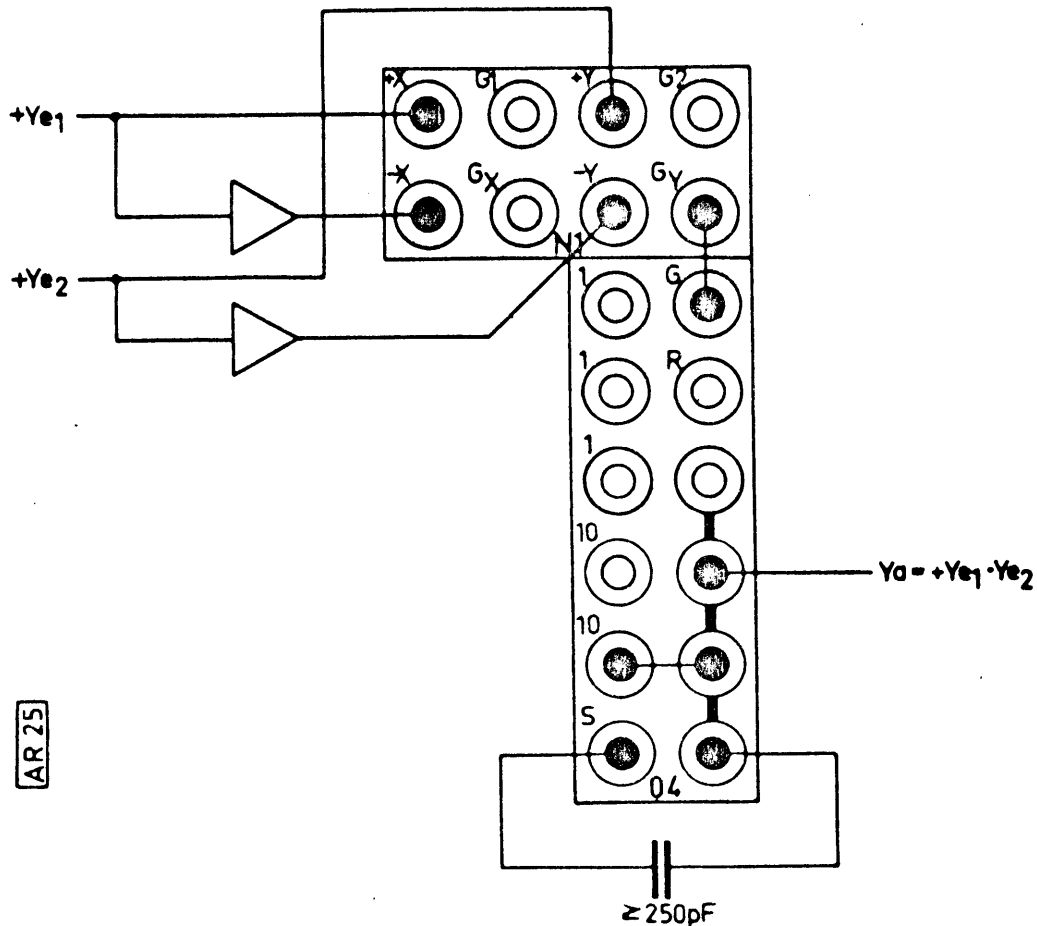


Bild 8: Verbindungen auf dem Programmierfeld zur Bildung der Funktion nach Gl.(1) unter Verwendung der Funktionsplätze.

Sollte es aus programmtechnischen Gründen notwendig sein, so kann ohne weiteres einem Netzwerk nach Bild 6 ein Verstärker nach Bild 8 oder umgekehrt einem Netzwerk nach Bild 8 ein Verstärker nach Bild 6 nachgeschaltet werden.

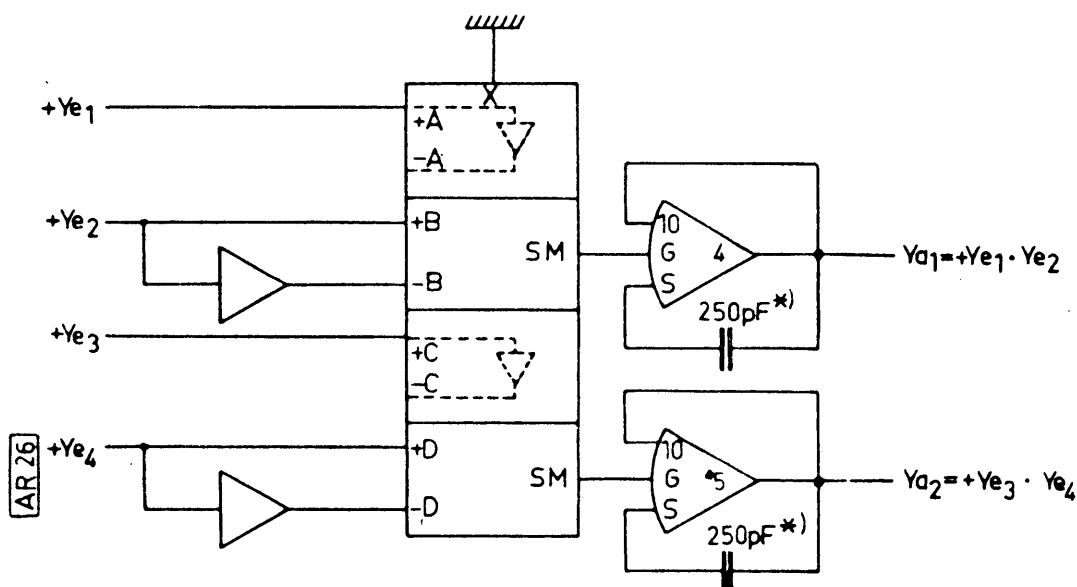
Die Zuordnung der einzelnen Rechenelemente geht im übrigen für den Operateur jeweils eindeutig aus den in der Darstellung der Rechenschaltung eingetragenen Adressen hervor (vergl. Bild 5 und 6).

Die Schaltung zur Bildung der Funktion nach Gl.(2) erhält man, wie bereits erwähnt, durch Vertauschen der Eingänge einer der beiden Eingangsgrößen (vergl. Bild 4).



1.4. Multiplizieren beim RA 800 und RA 800 HYBRID

Sind die Parabelmultiplizier-Netzwerkkarten entsprechend den Anweisungen der Beschreibung des Einschubes für "Nichtlineare Netzwerke NN 800" eingesetzt, so lassen sich auf dem Buchsenfeld eines Servo-Multiplizierers zwei Parabelmultiplizierer programmieren. Die Beschaltung der Netzwerke zur Bildung zweier Funktionen nach Gl.(1) zeigt Bild 9. Die zugehörigen Verbindungen auf dem Programmierfeld des RA 800 sind auf Bild 10a, für den RA 800 HYBRID auf Bild 10b dargestellt.



*) Der Kondensator entfällt, falls der Verstärker vom Typ HA2A, HI2A ist.

Bild 9: Bildung zweier Funktionen nach Gl(2)

Da sich die Buchsenanordnung der Servo-Multiplizierer in allen 8 Randfeldern wiederholen wurde in den Bildern 9, 10a und 10b nur die Einerstelle der Elemente-Adresse angegeben. So ist dem 1. Parabelmultiplizierer, bestehend aus Kanal A und B, der Verstärker 4 und dem 2. Parabelmultiplizierer, bestehend aus Kanal C und D, der Verstärker 5 nachgeschaltet. Es wäre nicht sinnvoll, hierfür einen der umschaltbaren Integrierer/Summierer zu verwenden.

Allgemein ist zu beachten, daß zu einem Parabelmultiplizierer immer die beiden



direkt untereinander liegenden Kandle gehören (A und B, bzw. C und D). Da die beiden Ausgangsbuchsen SM des Netzwerkes parallel geschaltet sind, ist es gleichgültig, von welchem Ausgang man auf den Gitterpunkt des nachzuschaltenden Verstärkers geht.

Wird nur ein Produkt benötigt, so beschaltet man entweder nur die beiden Kandle A und B oder C und D. In jedem Fall ist jedoch die Buchse X mit Relaiserde zu verbinden, denn erst dadurch werden die vorher frei programmierbaren Umkehrverstärker hinter den Buchsen $+A \rightarrow -A$ und $+C \rightarrow -C$ auf das Netzwerk aufgeschaltet.

Will man die Produkte mit negativen Vorzeichen erhalten, so vertauscht man die Polaritäten der beiden B bzw. D-Eingänge miteinander.

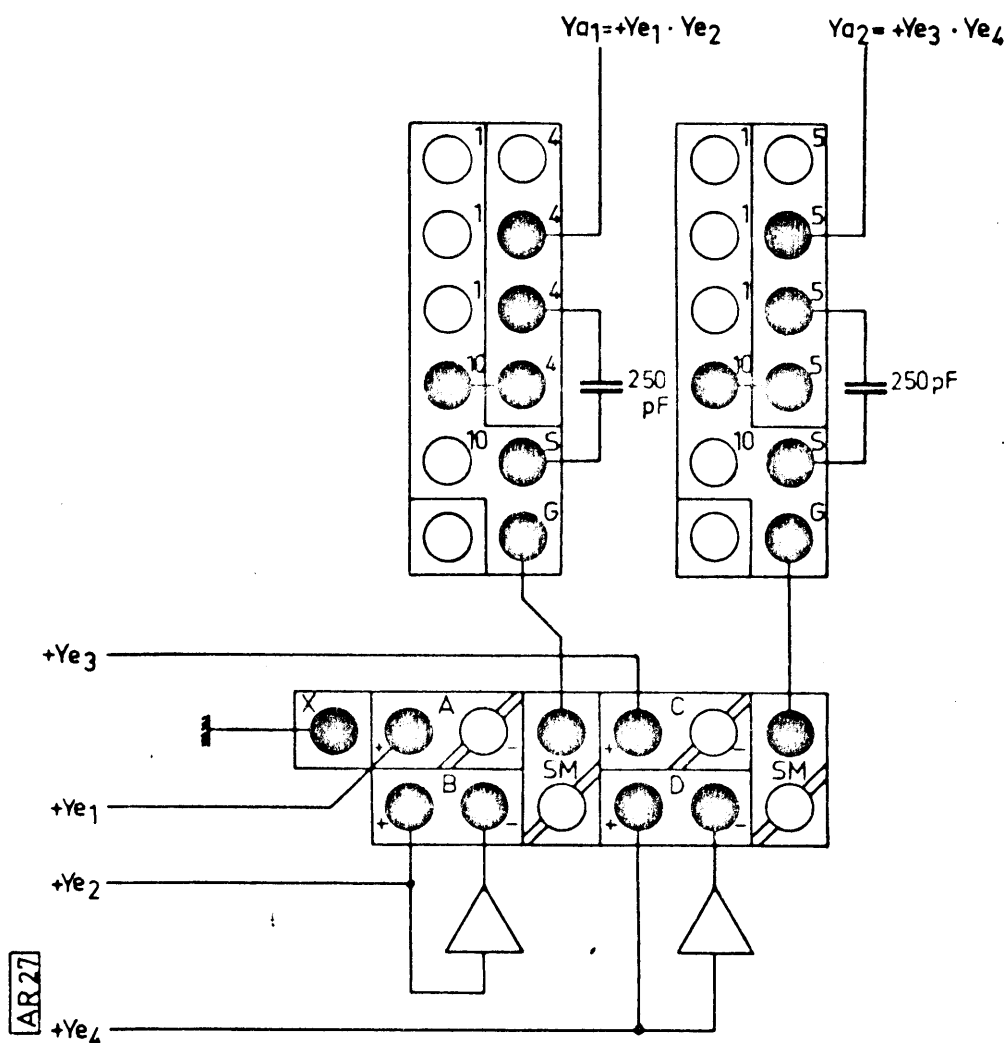


Bild 10a: Verbindungen auf dem Programmierfeld des RA 800 zur Bildung zweier Funktionen nach Gl.(1).

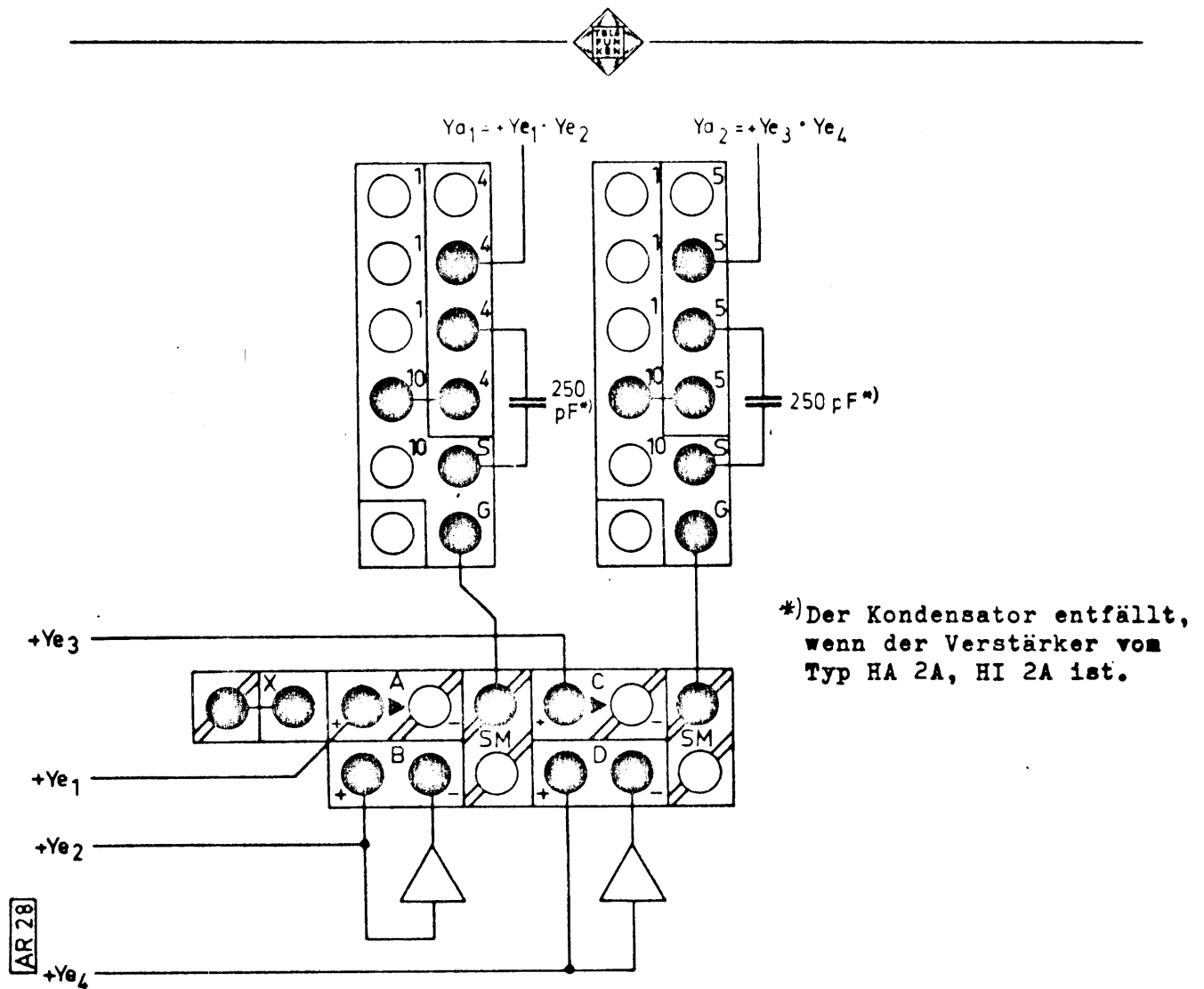


Bild 10b: Verbindungen auf dem Programmierfeld des RA 300 HYBRID zur Bildung zweier Funktionen nach Gl.(1).

Eine vereinfachte Darstellung der Beschaltung nach Bild 9 zeigt Bild 10c, wobei die beiden Multiplizierer in einer Rechenschaltung nicht unmittelbar gezeichnet werden müssen. Eine Zuordnung ist auch in eindeutiger Weise über die Adressen möglich.

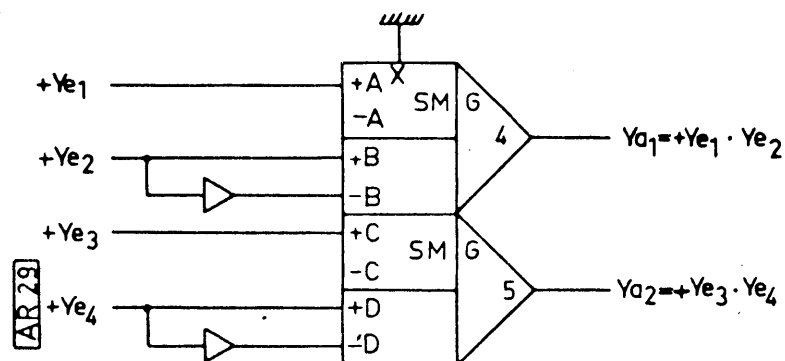


Bild 10c: Bildung zweier Funktionen nach Gl.(1)
Vereinfachte symbolische Darstellung.



2. Dividieren

Bei der Multiplikation erhielt der Rechenverstärker als Eingangsnetzwerk das Parabelmultiplizier-Netzwerk und als Rückführung einen Widerstand.

Die Division, als Umkehrfunktion der Multiplikation, erhält man durch eine Vertauschung von Eingangs- und Rückführnetzwerk, d.h. der Rechenverstärker bekommt als Eingangsnetzwerk Widerstände und als Rückführung das Parabelmultiplizier-Netzwerk.

Bei der Division sind drei Fälle zu unterscheiden:

- a) Division mit positivem Divisor (Gl. (3))
- b) Division mit negativem Divisor (Gl. (4))
- c) Division mit einem Divisor wechselnden Vorzeichens (Gl. (5))

Dabei darf der Dividend sein Vorzeichen jeweils beliebig ändern.

$$Y_a = - \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{Z}{N} \quad \text{für } 0 \leq N \leq +1 \quad (3)$$

$$Y_a = + \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{Z}{N} \quad \text{für } -1 \leq N \leq 0 \quad (4)$$

$$Y_a = + \frac{C_1}{C_2} \cdot \frac{Z}{N} \quad \text{für } -1 \leq N \leq +1 \quad (5)$$

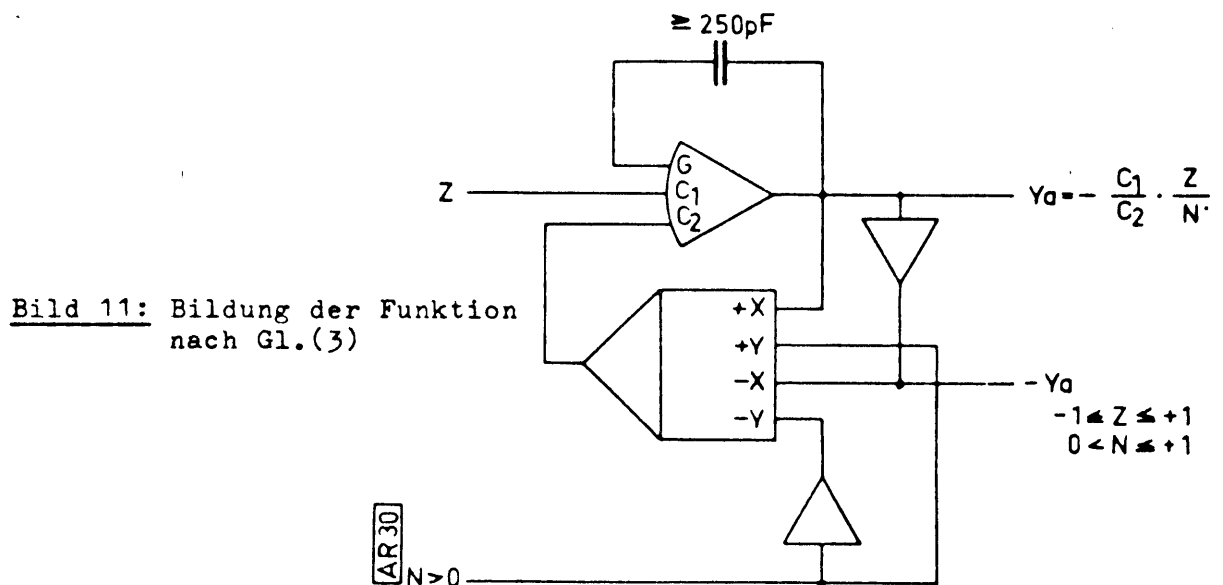
Da unter 1. die Programmierung eines Multiplizierers für die verschiedenen Rechnertypen, sowohl in symbolischer Darstellung, als auch durch Angabe der dazu notwendigen Verbindungen auf dem Programmierfeld ausführlich behandelt wurde, ist im nachfolgenden nur noch die symbolische Darstellung angegeben.



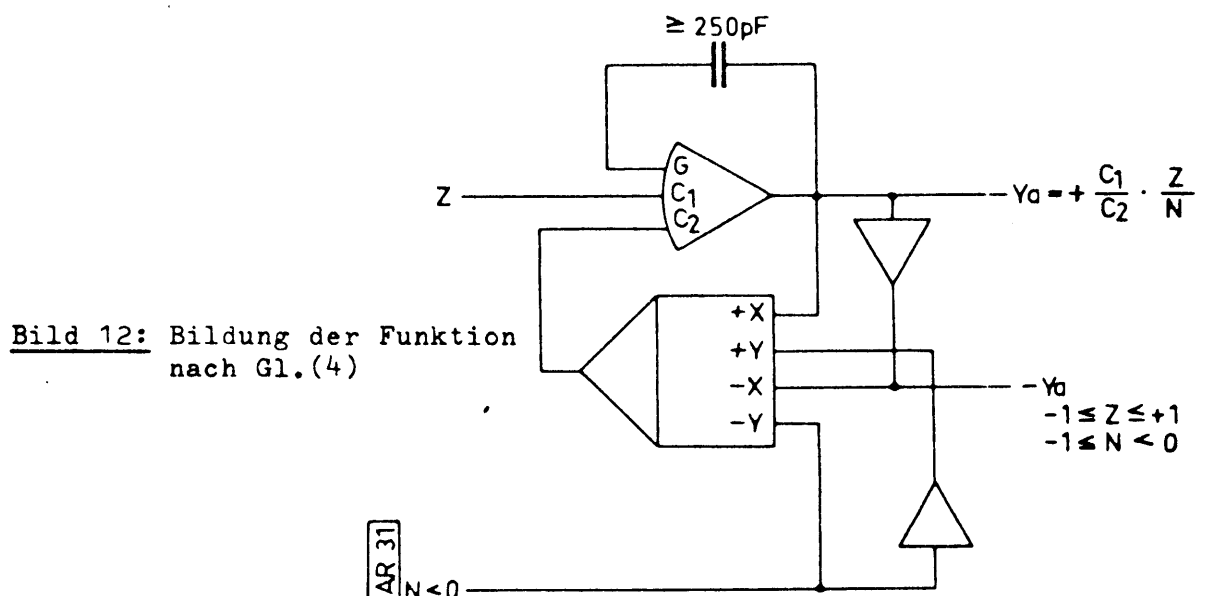
2.1. Dividieren beim RAT 700 und RAT 700/2

Auf Grund des Widerstandswertes beim Parabelmultiplizier-Netzwerk des RAT 700, genügt ein Vertauschen von Eingangs- und Rückführnetzwerk zum Zwecke der Division als Umkehrfunktion der Multiplikation nicht. Es muß vielmehr dem Multiplizier-Netzwerk ein Verstärker nachgeschaltet werden, damit für beide Eingangsgrößen des offenen Verstärkers die gleichen Widerstandsverhältnisse vorliegen. Zur Stabilisierung der Rechenschaltung muß der offene Verstärker mit einer Kapazität $\geq 250 \text{ pF}$ zwischen Ausgang und Gitterpunkt rückgeführt werden.

Damit ergibt sich zur Realisierung von Gl. (3) eine Schaltung nach Bild 11.



Die entsprechende Schaltung zur Bildung der Funktion nach Gl. (4) zeigt Bild 12.





Etwas aufwendiger wird eine Divisionsschaltung für wechselndes Vorzeichen (Gl. 5) des Divisors, durch eine zusätzliche Betragsbildung und automatische Umschaltung (vergl. Bild 13).

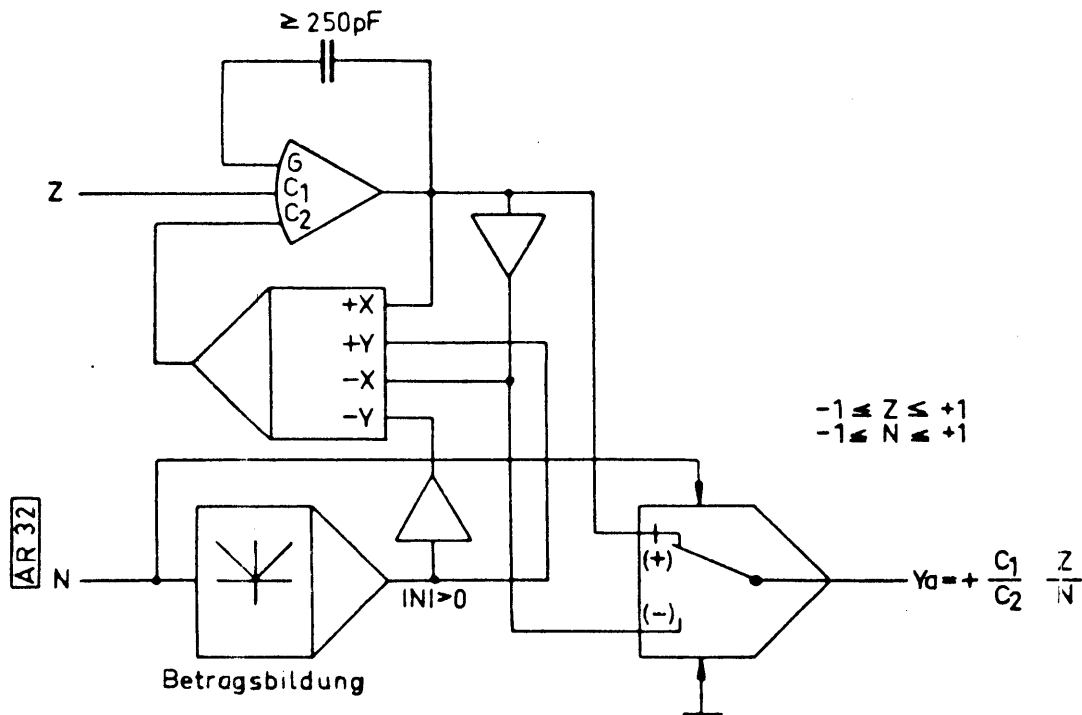


Bild 13: Bildung der Funktion nach Gl.(5)

2.2. Dividieren beim RAT 740 und RA 741

Wie wir schon unter 1.2. gesehen haben, ermöglichen die anderen Widerstandsverhältnisse bei den Parabelmultiplizier-Netzwerkskarten im Zusammenhang mit dem Widerstandsniveau der Rechenwiderstände ($R_1 = R_0 = 200\text{ k}\Omega$, $R_2 = 20\text{ k}\Omega$) eine Vereinfachung der Programmierung. Das bedeutet für den Fall der Division die Einsparung des Verstärkers hinter dem Netzwerk, da das Rückführ-Netzwerk (Parabelmultiplizier-Netzwerk) auf den gleichen Widerstand normiert ist wie der Eingangswiderstand eines 10-er Eingangs. Für positiven Divisor ergibt sich damit eine Schaltung nach Bild 14 (Gl. (3)).

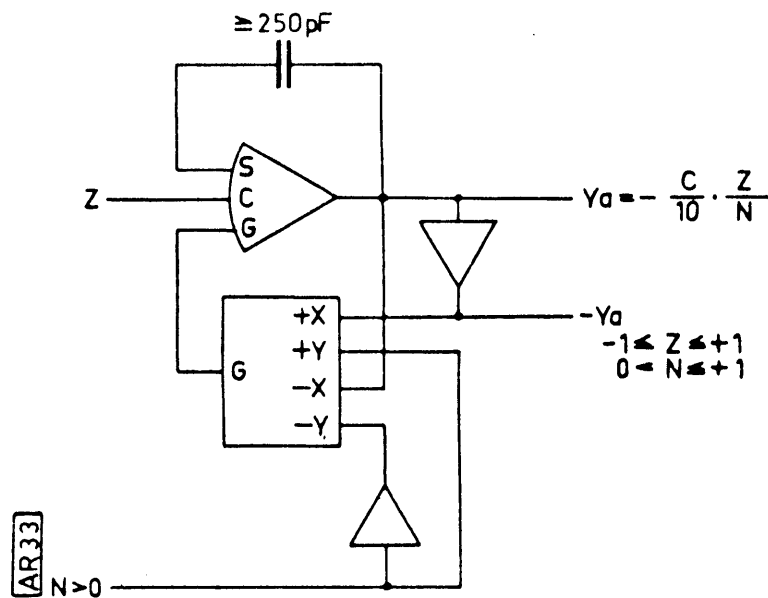


Bild 14: Bildung der Funktion nach Gl.(3)

Die entsprechende Schaltung zur Bildung der Funktion nach Gl. (4) zeigt Bild 15.

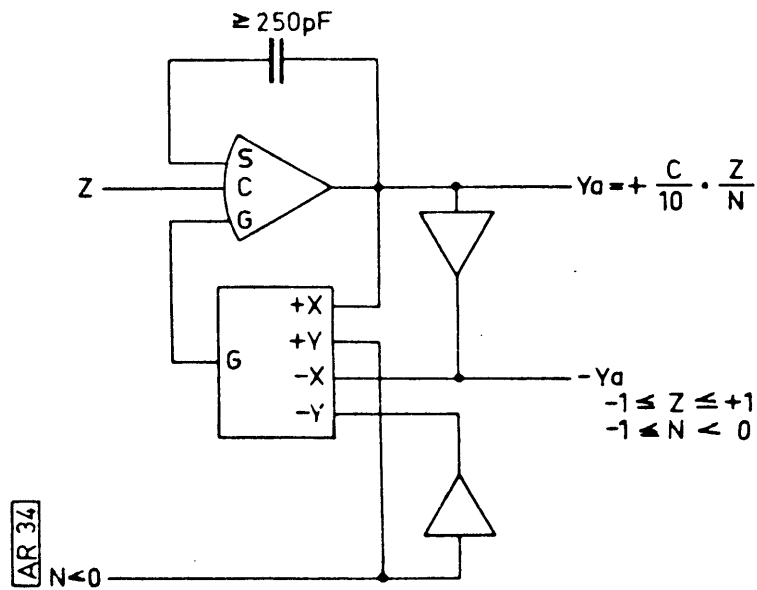


Bild 15: Bildung der Funktion nach Gl.(4)

Die entsprechende Schaltung zur Bildung der Funktion nach Gl. (5) läßt sich in einfacher Weise aus Bild 13 und Bild 14 ableiten.



2.3. Division beim RA 800 und RA 800 HYBRID

Da hier dieselben Widerstandsverhältnisse, wie beim RAT 740 und RA 741 vorliegen, erfolgt die Programmierung der Divisionsschaltung sinngemäß. Die jeweilige Rechenschaltung zeigt für Gl. (3) Bild 16 und für Gl. (4) Bild 17

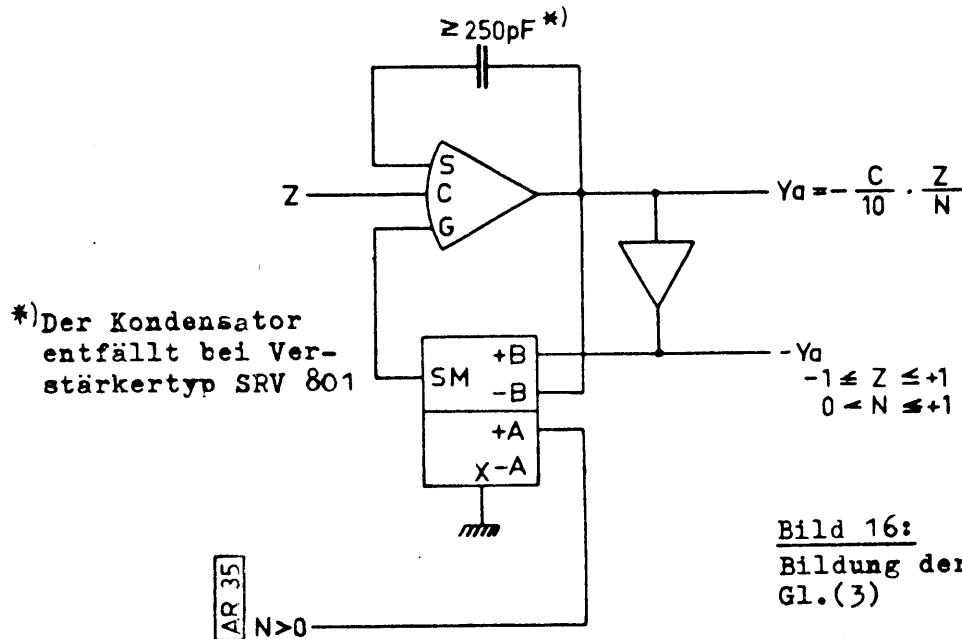


Bild 16:
Bildung der Funktion nach Gl.(3)

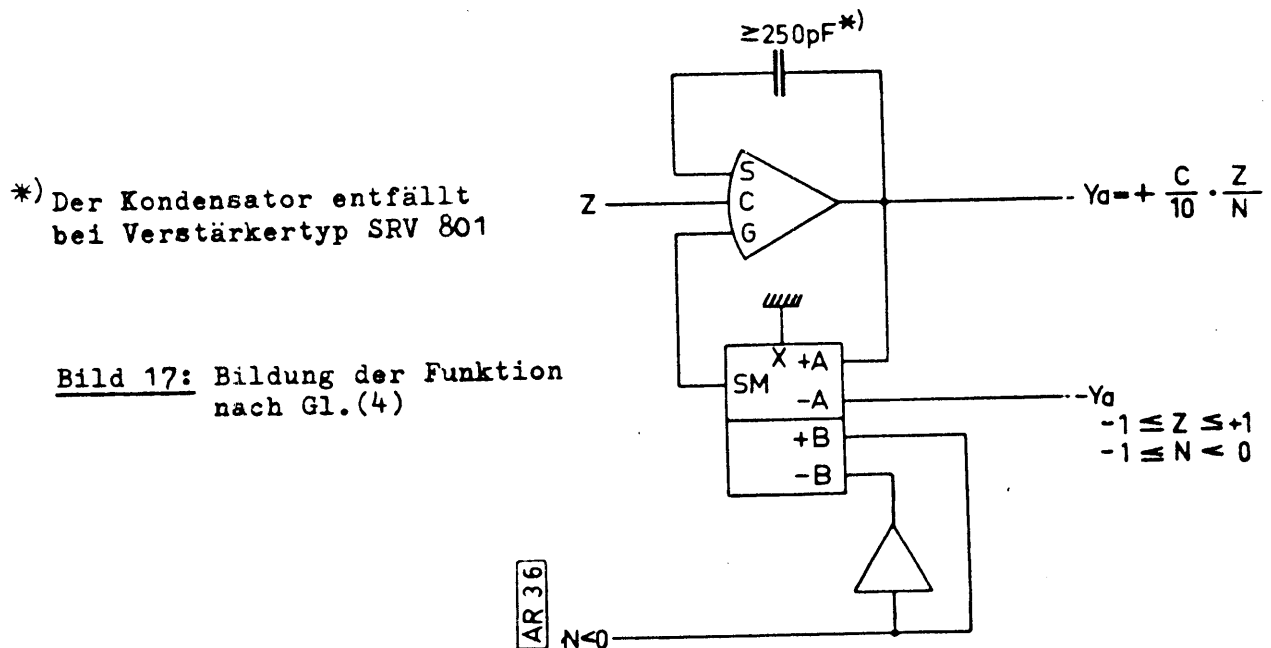


Bild 17: Bildung der Funktion nach Gl.(4)

Die Divisionsschaltung für beliebiges Vorzeichen des Divisors ergibt sich aus Bild 16 und Bild 13.



3. Radizieren

Als Beispiel wird die Quadratwurzel behandelt. Sie ergibt sich als Umkehrfunktion der Quadratbildung, also des Sonderfalles der Multiplikation, bei dem eine Variable mit sich selbst multipliziert wird. Demzufolge ist auch die Schaltung zur Erzeugung der Quadratwurzel dieselbe wie zur Erzeugung der Division, nur daß Divisor und Dividend identisch sind und beide als Ausgangsgröße des offenen Verstärkers vorliegen.

Es gibt dabei 2 Fälle zu unterscheiden:

- a) Quadratwurzel bei positivem Radikanden (Gl. (6))
- b) Quadratwurzel bei negativem Radikanden (Gl. (7))

$$Y_a = - \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \cdot \sqrt{X} \quad \text{für } 0 \leq X \leq +1 \quad (6)$$

$$Y_a = + \sqrt{\frac{C_1}{C_2}} \cdot \sqrt{-X} \quad \text{für } -1 \leq X \leq 0 \quad (7)$$

Damit der Radikand kurzzeitig Null werden kann, führt man den offenen Verstärker mit einer Diode zwischen Ausgang und Gitterpunkt (oder Summenpunkt oder Zehnereingang) zurück, wobei sich die Polung der Diode nach dem Vorzeichen des Radikanden richtet.

Für den Fall, daß der Radikand sein Vorzeichen während der Rechnung wechselt, bildet man zuerst den Betrag des Radikanden und schließt dann eine Schaltung wie zur Bildung des positiven Radikanden an.

3.1. Quadratwurzel beim RAT 700 und RAT 700/2

Hier gilt das bereits unter 1.1. und 2.1. gesagte. Die sich daraus ergebende Rechenschaltung für positiven Radikanden (Gl. (6)) zeigt Bild 18, für negativen Radikanden (Gl. (7)) Bild 19.

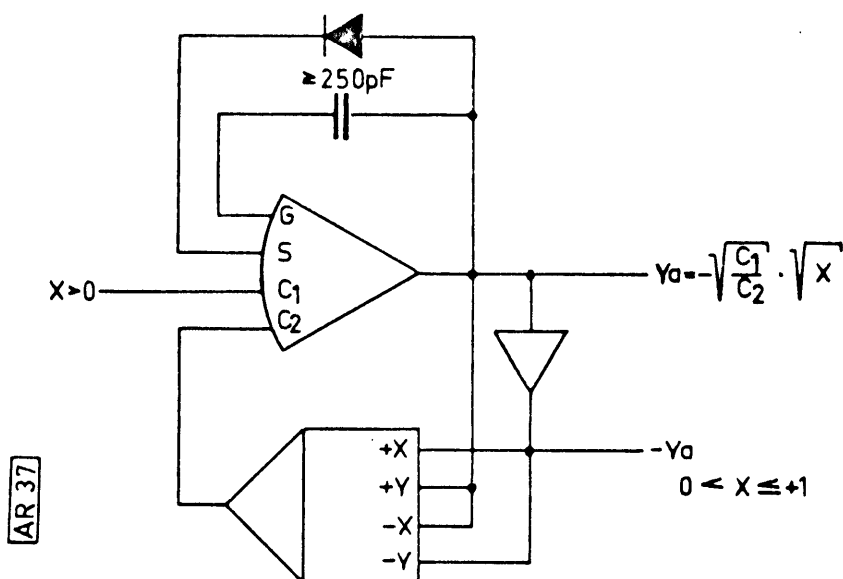


Bild 18: Bildung der Funktion nach Gl.(6)

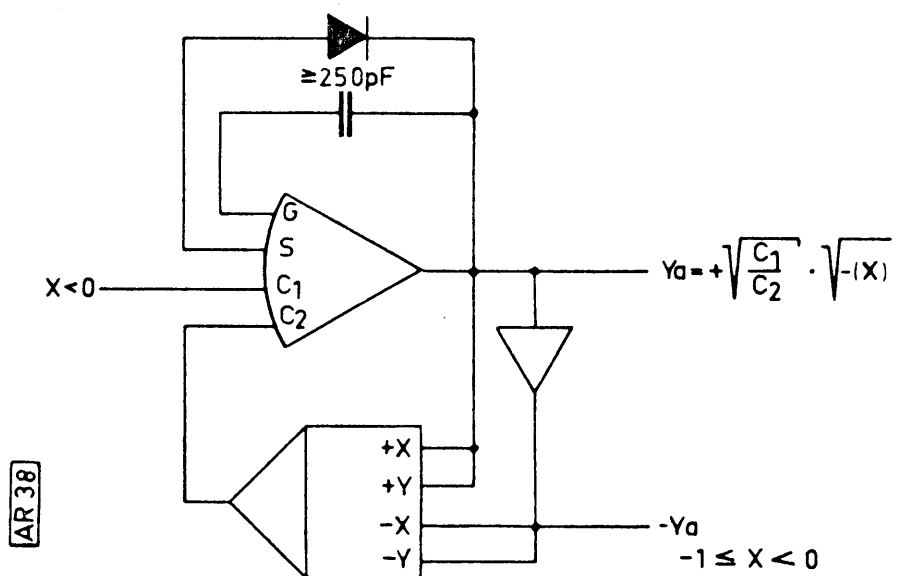


Bild 19: Bildung der Funktion nach Gl.(7)

3.2. Quadratwurzel beim RAT 740 und RA 741

Unter Berücksichtigung des unter 1.2. und 2.2. gesagten ergeben sich für diese beiden Rechnerarten die vereinfachten Schaltungen nach Bild 20 für positiven (Gl. (6)) und Bild 21 für negativen (Gl. (7)) Radikanden.

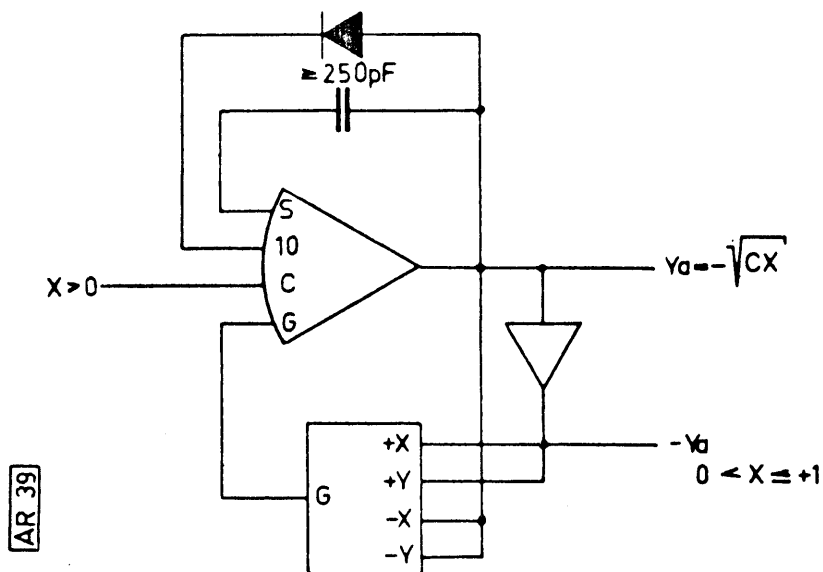


Bild 20: Bildung der Funktion nach Gl.(7)

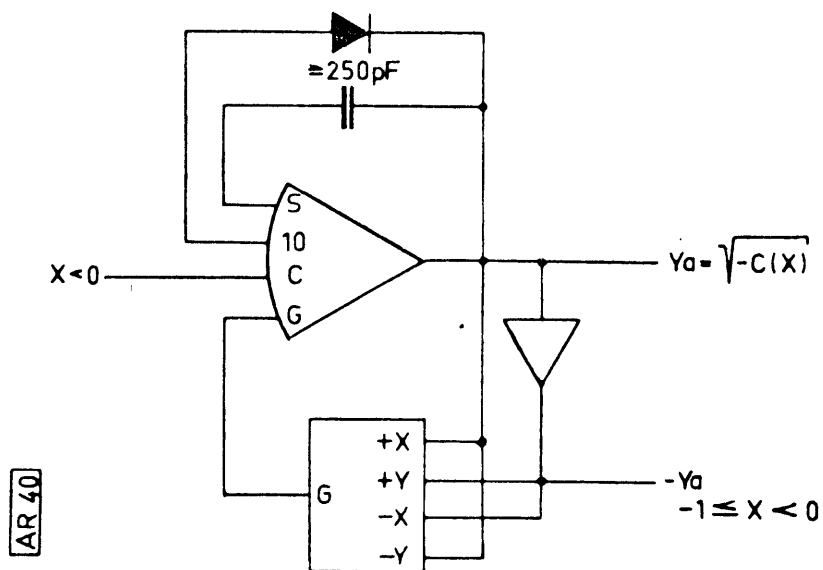
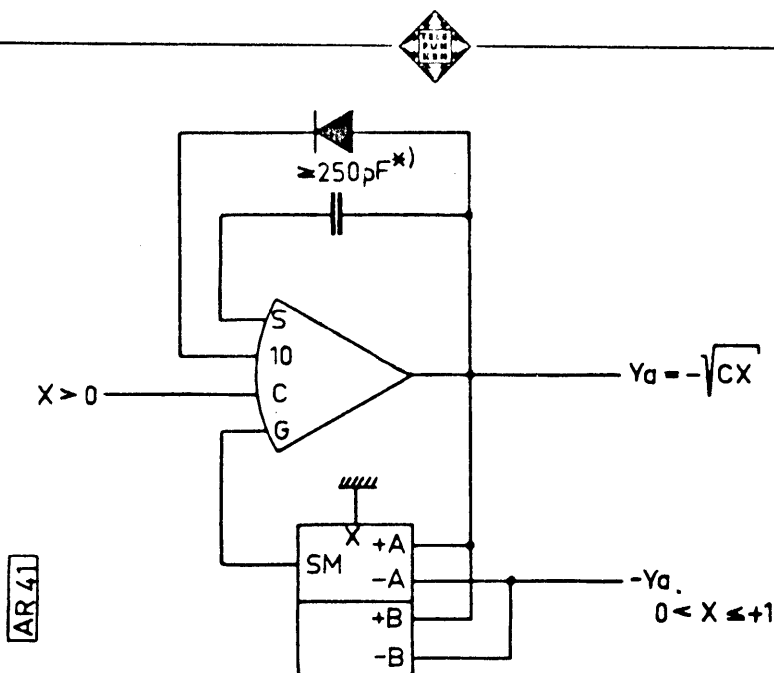


Bild 21: Bildung der Funktion nach Gl.(8)

3.3. Quadratwurzel beim RA 800 und RA 800 HYBRID

Unter Beachtung der Ausführungen in 1.3. und 2.3. erfolgt die Programmierung der Rechenschaltung zur Bildung der Quadratwurzel nach den Gl. (6) und (7) entsprechend den Bildern 22 und 23.



*) Der Kondensator entfällt bei Verstärkertyp SRV 801

Bild 22: Bildung der Funktion nach Gl.(6)

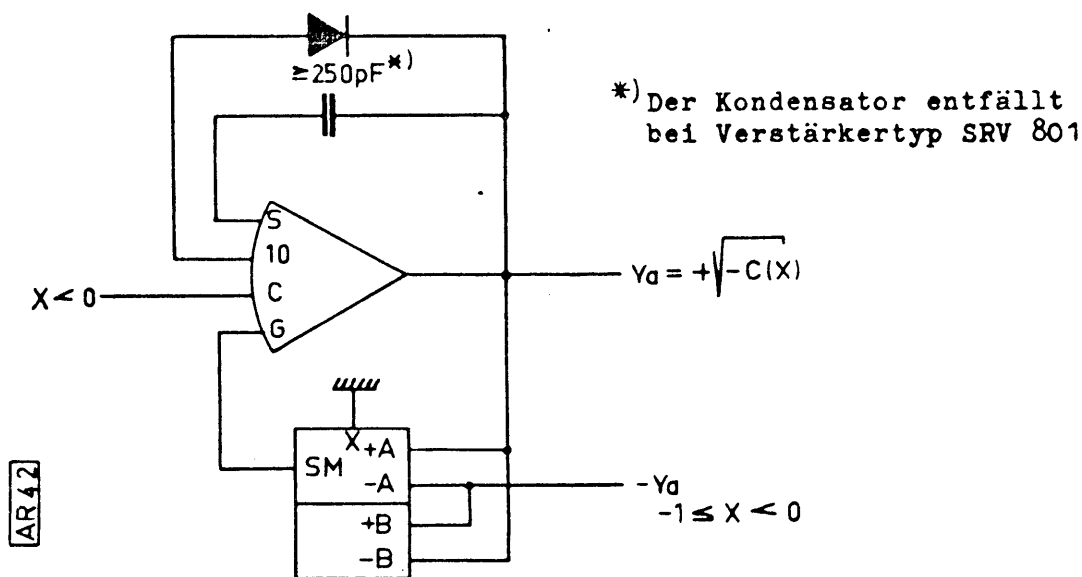


Bild 23: Bildung der Funktion nach Gl.(7)

4. Quadratwurzel eines Produktes

Die dazugehörige Rechenschaltung ergibt sich als eine Kombination aus der Produktbildung (vergl. 1.) und der Quadratwurzelschaltung (vergl. 3). Der zentrale Rechenverstärker erhält sowohl als Eingangs- wie auch als Rückführnetzwerk ein Parabelmultiplizier-Netzwerk.



Die dabei realisierbaren Gleichungen (8), (9) lauten:

$$Y_a = +\sqrt{Y_{e1} \cdot Y_{e2}} = +\sqrt{(-Y_{e1}) \cdot (-Y_{e2})} \text{ für } 0 \leq Y_{e1}, Y_{e2} \leq +1, \text{ bzw. } -1 \leq Y_{e1}, Y_{e2} \leq 0 \quad (8)$$

$$Y_a = -\sqrt{Y_{e1} \cdot (-Y_{e2})} = -\sqrt{(-Y_{e1}) \cdot Y_{e2}} \text{ für } \begin{cases} 0 \leq Y_{e1} \leq +1, & \text{bzw. } -1 \leq Y_{e1} \leq 0 \\ -1 \leq Y_{e2} \leq 0, & \text{bzw. } 0 \leq Y_{e2} \leq +1 \end{cases} \quad (9)$$

4.1. Quadratwurzel aus einem Produkt beim RAT 700, RAT 740 und RA 741

Da wir hier in Rückführung und am Eingang des zentralen Verstärkers das gleiche Netzwerk haben, ergeben sich unabhängig von der Art des Netzwerkes Schaltungen zur Bildung der Funktionen nach Gl. (8) (Bild 24) und Gl. (9) (Bild 25). Das bedeutet, daß die orangefarbenen Ausgangsbuchsen des Parabelmultiplizier-Netzwerkes beim RAT 700 unbeschaltet bleiben.

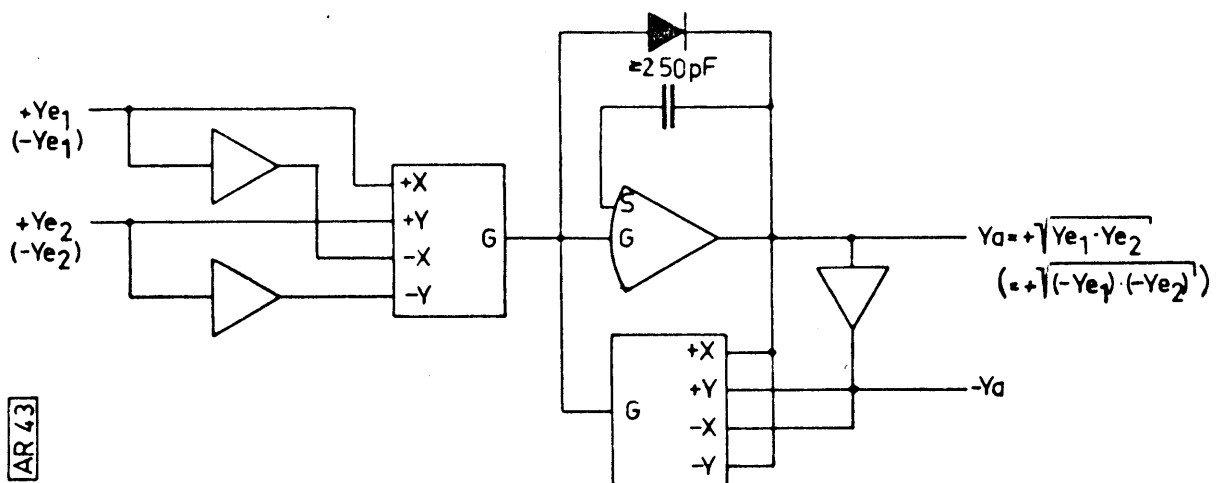


Bild 24: Bildung der Funktion nach Gl.(8)

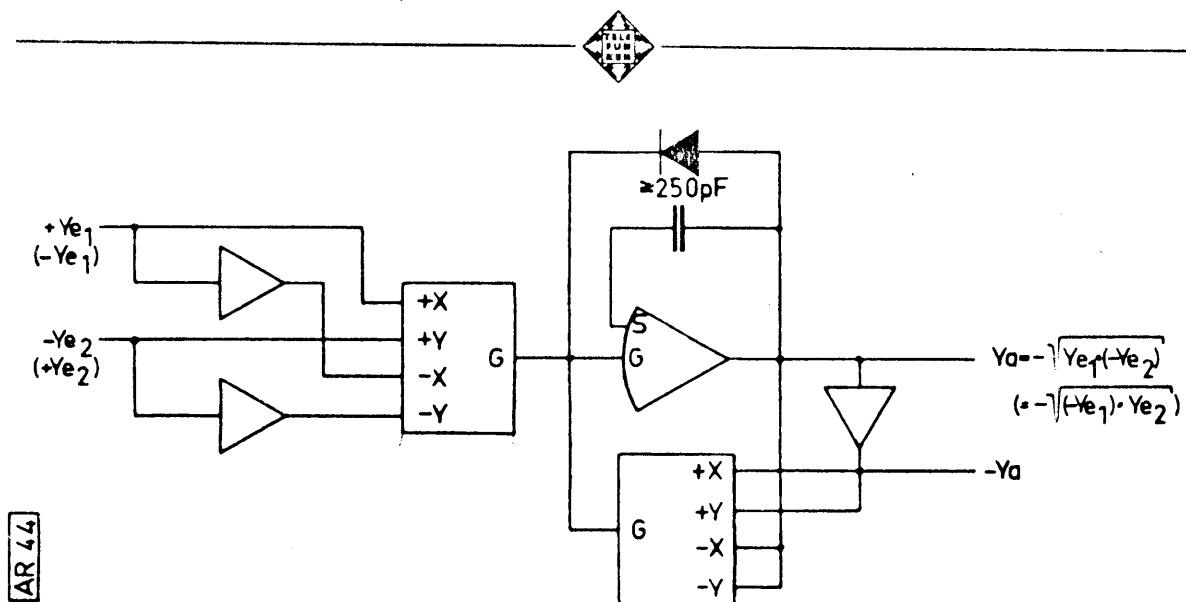


Bild 25: Bildung der Funktion nach Gl.(9)

Da sowohl Y_{e1} , also auch Y_{e2} als Ausgangsgröße eines Verstärkers anliegen (vergl. S. 3), kann zur Realisierung der Gl. (9) auch die Schaltung nach Bild 24 herangezogen werden, indem die Eingänge entweder der positiven oder die der negativen Eingangsgröße vertauscht werden, um wieder zu einer Produktbildung nach der Art von Gl. (8) zu kommen. Die Ausgangsgröße steht dann genau wie bei Bild 25 mit beiden Vorzeichen zur Verfügung. Dasselbe gilt sinngemäß für Bild 25 im Zusammenhang mit Gl. (8).

4.2. Quadratwurzel aus einem Produkt beim RAT 700/2

Unter Beachtung der Ausführungen in 1.2., 3.2. und 4.1. ergibt sich zur Bildung der Funktion nach Gl. (8) eine Schaltung nach Bild 26.

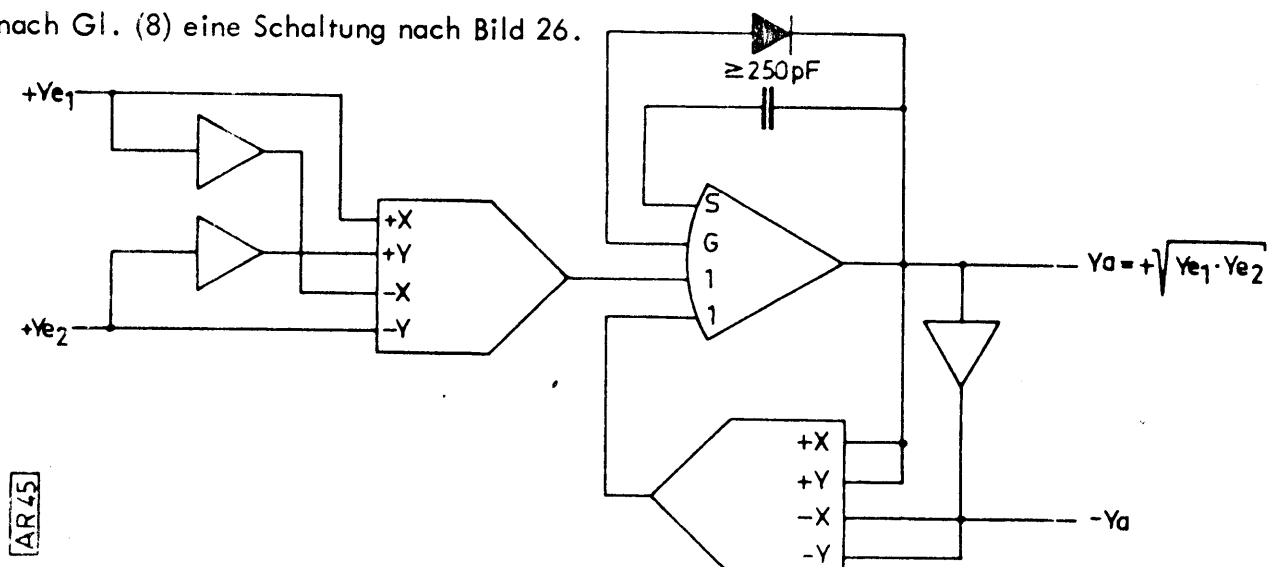


Bild 26: Bildung der Funktion nach Gl.(8)



4.3. Quadratwurzel aus einem Produkt beim RA 800 und RA 800 HYBRID

Wendet man das unter 4. und 4.1. gesagte auf den RA 800 bzw. RA 800 HYBRID an, so ergibt sich zur Bildung der Funktionen nach den Gl. (8) und (9) die Rechenschaltung Bild 27, zu deren Realisierung beispielsweise die beiden auf dem Buchsenfeld eines Servomultiplizierers befindlichen Parabelmultiplizier-Netzwerke verwendet werden.

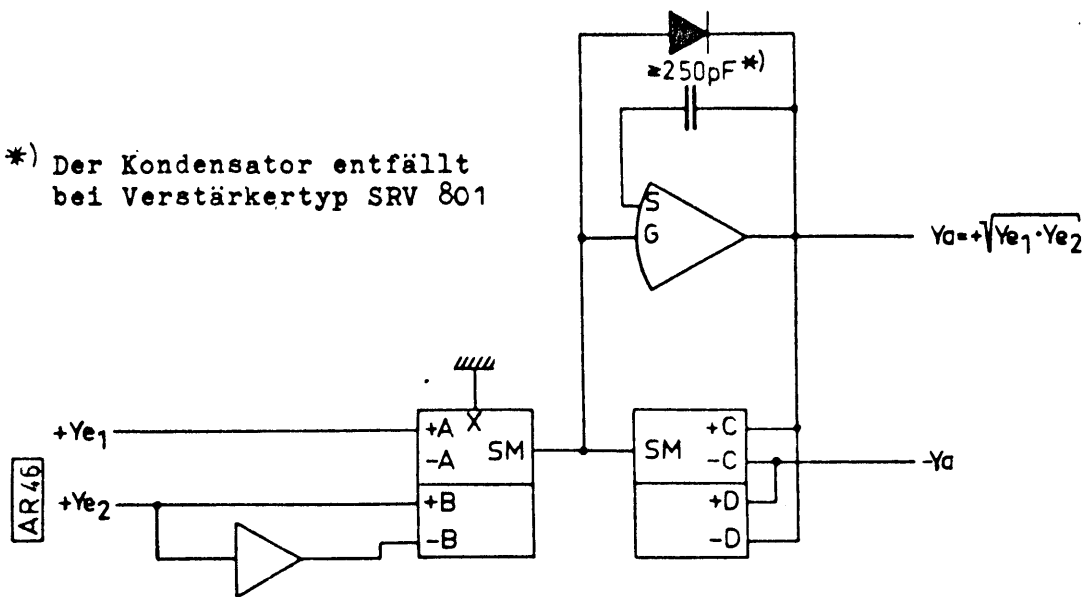


Bild 27: Bildung der Funktion nach Gl.(8)

5. Quadratwurzel aus der Summe zweier Produkte (zweier Quadrate)

Ebenso wie es bei einem Umkehrer möglich ist, durch Hinzufügen eines zweiten Eingangswiderstandes aus diesem einen Summierer zu machen, läßt sich aus einer Radizierschaltung für ein Produkt (vergl. 4.), eine solche für die Bildung der Wurzel aus der Summe zweier Produkte (Gl. 10) herstellen, indem man dem Verstärker ein zweites Eingangs-Parabelmultiplizier-Netzwerk aufschaltet.

Dabei enthält die entstehende allgemeine Schaltung die Sonderfälle zur Bildung der Quadratwurzel aus:



- a) der Summe zweier Quadrate (Gl. (11)), sowie
- b) der Summe eines Produktes und eines Quadrates (Gl. (12)).

Die Sonderfälle ergeben sich aus dem allgemeinen Fall durch spezielle Beschaltung der Eingangs-Parabelmultiplizier-Netzwerke und bleiben somit ohne Einfluß auf die Beschaltung des zentralen Verstärkers. Es wird deshalb im weiteren nur der allgemeine Fall schaltungstechnisch angegeben.

$$Y_a = \pm \sqrt{Y_{e1} \cdot Y_{e2} + Y_{e3} \cdot Y_{e4}} \quad (10)$$

$$Y_a = \pm \sqrt{Y_{e1}^2 + Y_{e2}^2} \quad (11)$$

$$Y_a = \pm \sqrt{Y_{e1} \cdot Y_{e2} + Y_{e3}^2} \quad (12)$$

bzw. $Y_a = \pm \sqrt{Y_{e1}^2 + Y_{e2} \cdot Y_{e3}}$

Unabhängig davon, mit welchem Vorzeichen die Eingangsgrößen zur Verfügung stehen, kann (da diese Größen gleichzeitig immer über einen Umkehrer führen), die Schaltung stets für positives Ausgangssignal programmiert werden. Wird das Ausgangssignal mit negativem Vorzeichen gewünscht, so steht dies gleichzeitig hinter dem Umkehrer in der Rückführung zur Verfügung. Nach den bisherigen Ausführungen kann der Leser ohne Schwierigkeiten die Schaltung so umprogrammieren, daß sich das gewünschte Vorzeichen direkt am Ausgang des offenen Verstärkers einstellt.

5.1. Quadratwurzel aus der Summe zweier Produkte beim RAT 700, RAT 740 und RA 741

Auch hier ergeben sich, aus den selben Gründen, wie unter 4.1. ausgeführt, für die drei Tischrechnertypen dieselben Schaltungen. Abb. 28 zeigt die Rechenschaltung gemäß Gl. (10).

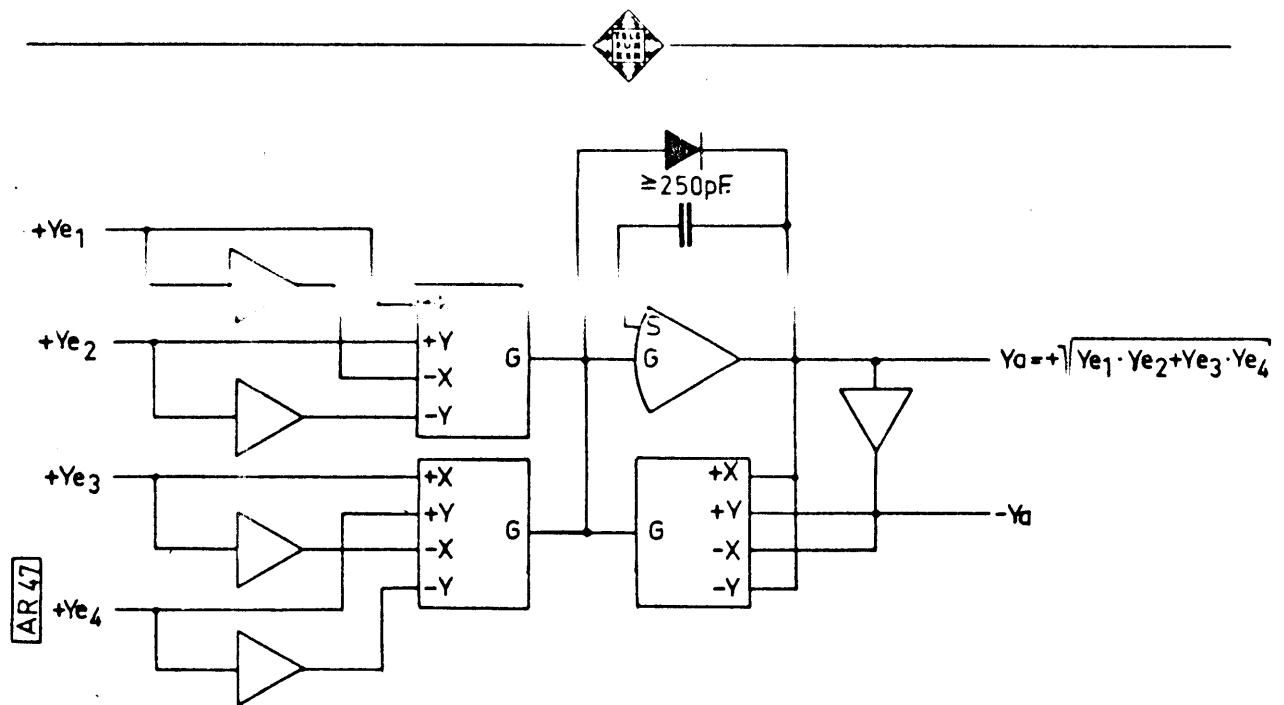


Bild 28: Bildung der Funktion nach Gl.(10)

5.2. Quadratwurzel aus der Summe zweier Produkte beim RAT 700/2

Auf Tischrechnern (umgerüstete RAT 700 und RAT 700/2), deren Netzwerken unmittelbar Verstärker nachgeschaltet sind, stellt sich die Schaltung nach Gl. (10) entsprechend Bild 29 dar.

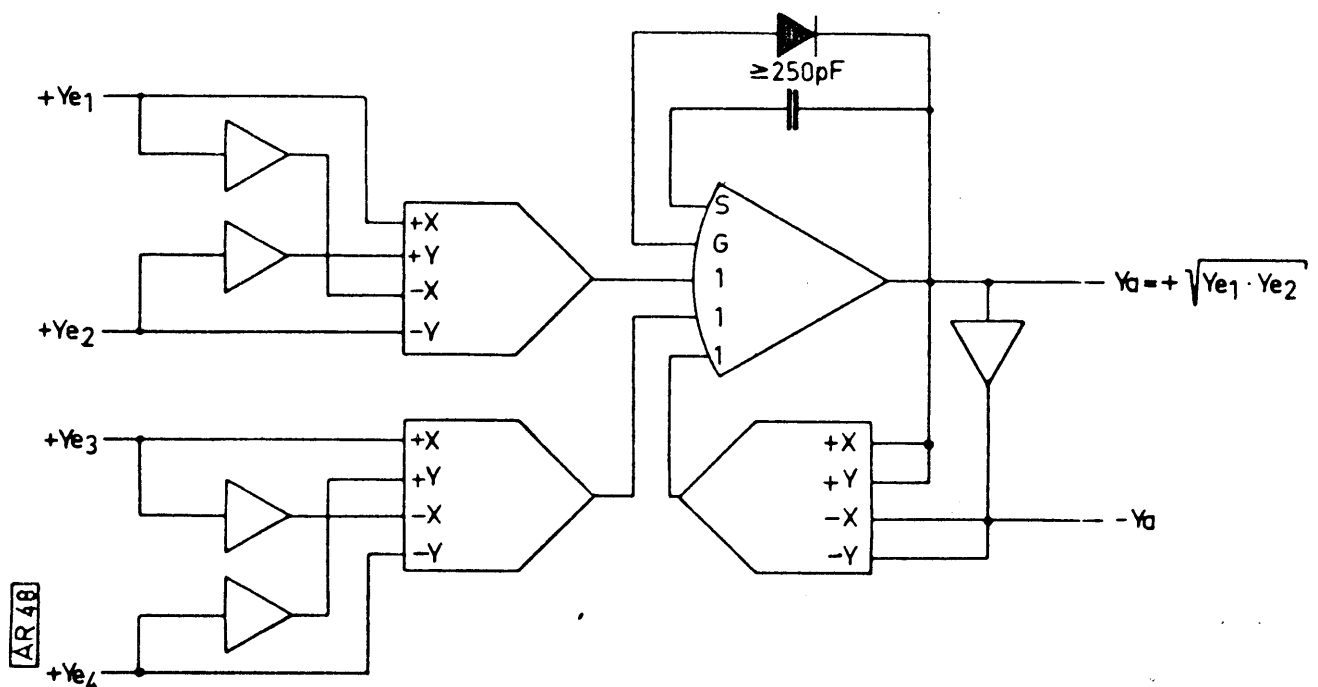


Bild 29: Bildung der Funktion nach Gl.(10)



5.3. Quadratwurzel aus der Summe zweier Produkte beim RA 800 und RA 800 HYBRID

Hier ergibt sich für Gl. (10) dieselbe Schaltung wie unter 5.1. Sie stellt sich mit den Netzwerken auf den Feldern zweier Servomultiplizierer entsprechend Bild 30 dar.

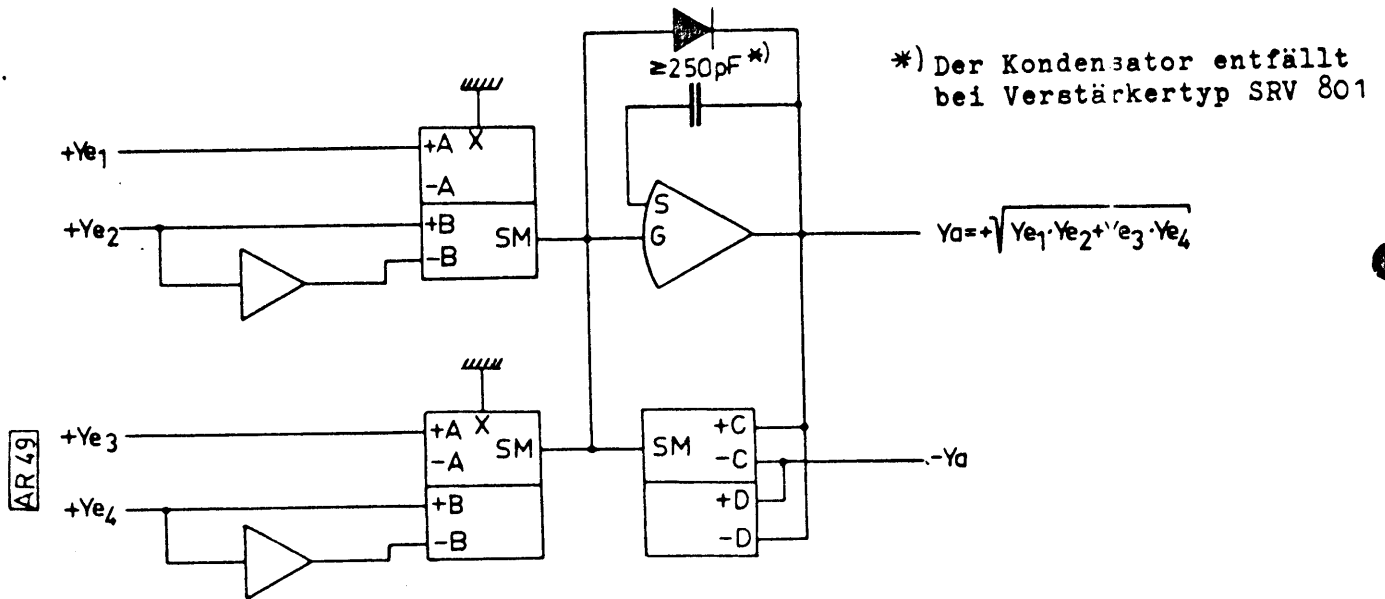


Bild 30: Bildung der Funktion nach Gl.(10)

6. Multiplikation mit gleichzeitiger Addition

Soll in einer Rechenschaltung eine Operation der Form

$$Y_a = Y_{e1} \cdot Y_{e2} + \alpha \quad 0 \leq Y_a \leq 1 \quad (13)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

ausgeführt werden, so gibt es zu deren Durchführung zwei Möglichkeiten.



- 1) Bildung des Produktes mit Hilfe eines Multiplizierers und anschließende Addition von Produkt und α in einem nachgeschalteten Summierer.
Aufwand: 1 Multiplizier-Netzwerk und 2 Verstärker.
- 2) Bildung des Produktes bei gleichzeitiger Addition von α mit Hilfe des Multiplizier-Verstärkers.
Aufwand: 1 Multiplizier-Netzwerk und 1 Verstärker.

Die erste Methode ist allgemein bekannt und wird deshalb hier nicht weiter ausgeführt.

Die Methode nach 2) erfordert bei den einzelnen Rechnertypen die Beachtung bestimmter technischer Gegebenheiten. Außerdem sind zwei Fälle zu unterscheiden:

- a) $\alpha = \text{const}$
- b) $\alpha = \alpha(t)$

Besonders für den Fall, daß das Produkt und α positiv sind, sollte α aus Gründen der Rechengenauigkeit nicht zu groß werden (beachte: $0 \leq Y_{e1}, Y_{e2} + \alpha \leq 1$), damit das Multiplizier-Netzwerk noch gut gesteuert wird.

6.1. Multiplizieren mit gleichzeitiger Addition beim RAT 700

Hier ist der spezielle Rückführwiderstand (R_x ca. $38,25 \text{ k}\Omega$) des Multiplizier-Netzwerkes zu beachten. Da er weder mit dem Widerstand eines 1er noch eines 10er- Einganges ($R_1 = 500 \text{ k}\Omega$ bzw. $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$) übereinstimmt, muß zunächst der Verstärkungsfaktor c_x bestimmt werden, der für den Additionsteil α in Gl. (13) gültig ist. Da c_x am zweckmäßigsten in der Nähe von 1 liegen soll und sich aus

$$c_x = \frac{R_x}{R_1} \quad \text{bzw.} \quad c_x = \frac{R_x}{R_2}$$

berechnet, liegt es nahe, einen Zehnereingang mit $R_2 = 50 \text{ k}\Omega$ als Additions-Eingang



zu wählen.

Wäre R_x genau $38,25 \text{ k}\Omega$, so würde sich c_x zu $0,765$ berechnen. Aus technischen Gründen unterliegt jedoch R_x gewissen Schwankungen und besitzt außerdem einen Temperaturgang ($\text{TK} = -8 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C} \hat{=} 800 \text{ ppm}$). Es empfiehlt sich daher bei Anwendung der Möglichkeit 2 wie folgt vorzugehen.

Man programmiere einen Multiplizierer ohne Eingangsgrößen und beschalte einen 10er-Eingang des Verstärkers mit positiver oder negativer Maschineneinheit. Der am Verstärkerausgang abzulesende Zahlenwert entspricht dem gesuchten Verstärkungsfaktor c_x . Es stellen sich im allgemeinen Werte zwischen $0,7$ und $0,76$ ein. Damit schreibt sich die Gleichung (13) für den RAT 700:

$$Y_a = Y_{e1} \cdot Y_{e2} + \frac{\alpha}{c_x} \quad (13a)$$

Es ist zu beachten, daß c_x über $C_x = \frac{R_x}{R_2}$ mit einem $\text{TK} = -8 \cdot 10^{-4} / ^\circ\text{C}$ behaftet ist,

d.h. bei veränderter Raumtemperatur muß c_x zur Gewährleistung maximaler Genauigkeit neu bestimmt werden.

Die notwendigen Verbindungen auf dem Programmierfeld zeigt Bild 31, wobei für $\alpha = \alpha(t)$ zu beachten ist, daß ohne besondere Maßnahmen (verstärken von $\alpha(t)$ um $\frac{1}{c_x}$) am Ausgang des Verstärkers nur $Y_a = + Y_{e1} \cdot Y_{e2} + c_x \cdot \alpha(t)$ erscheint. Die entsprechende Rechenschaltung zeigt Bild 32.

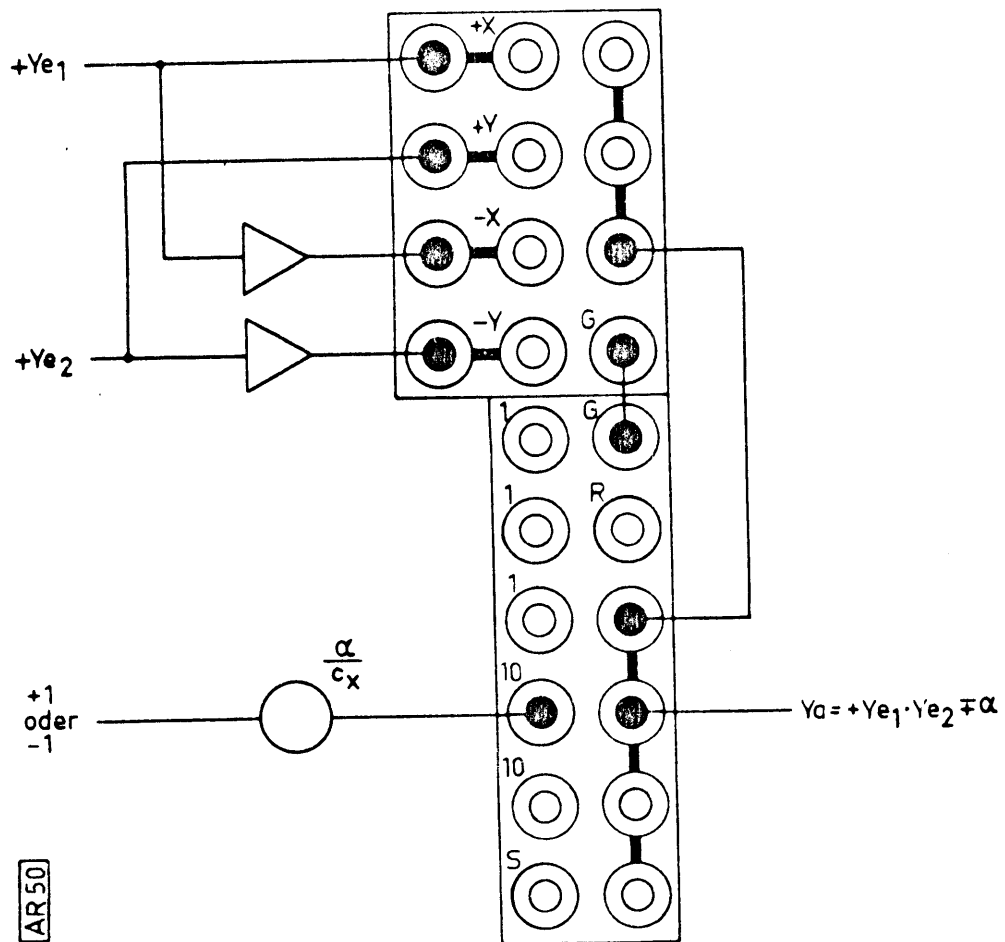


Bild 31: Verbindungen auf dem Programmierfeld des RAT 700 zur Bildung der Funktion nach Gl.(13)

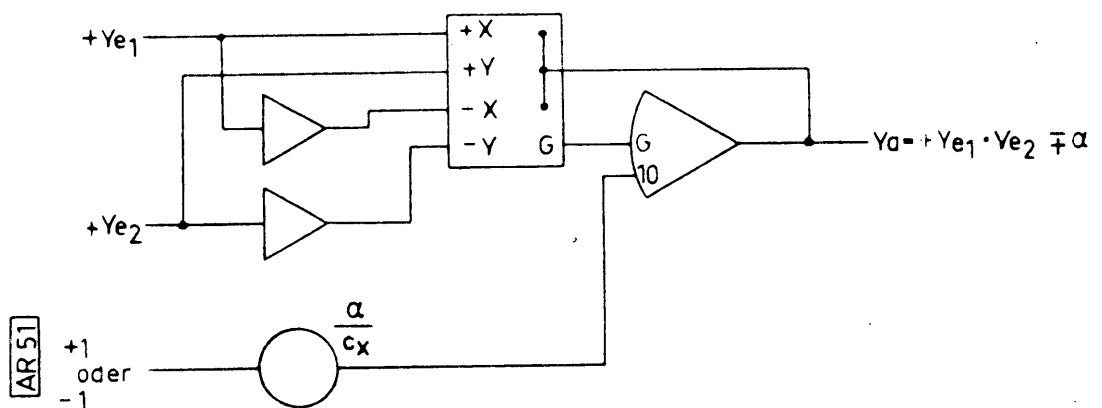


Bild 32: Bildung der Funktion nach Gl.(13)



6.2. Multiplikation mit gleichzeitiger Addition beim RAT 700/2

Da beim Netzwerk selbst kein Zehnereingang zur Verfügung steht, beschafft man sich diesen dadurch, daß ein $50\text{ k}\Omega$ - Widerstands-Stecker auf den frei zugänglichen Gitterpunkt G gesteckt wird. Im übrigen verläuft die Programmierung wie unter 6.1. Den entsprechenden Aufbau der Rechenschaltung zeigt Bild 33.

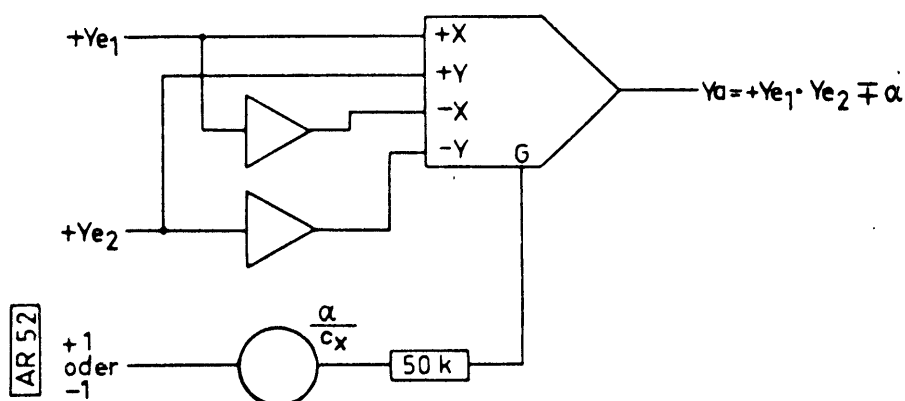


Bild 33: Bildung der Funktion nach Gl.(13)

6.3. Multiplikation mit gleichzeitiger Addition beim RAT 740 und RA 741

Hier müssen wieder die beiden unter 1.3. angegebenen Fälle a) und b) unterschieden werden.

Im Fall a) kann α über den 1er-Eingang des nachgeschalteten Verstärkers dazuaddiert werden (vergl. Bild 6).

Im Fall b) wirkt ein 10er-Eingang des nachgeschalteten Verstärkers wie ein 1er-Eingang (vergl. Bild 8).



Die entsprechenden Darstellungen in der Rechenschaltung zeigen die Bilder 34 und 35.

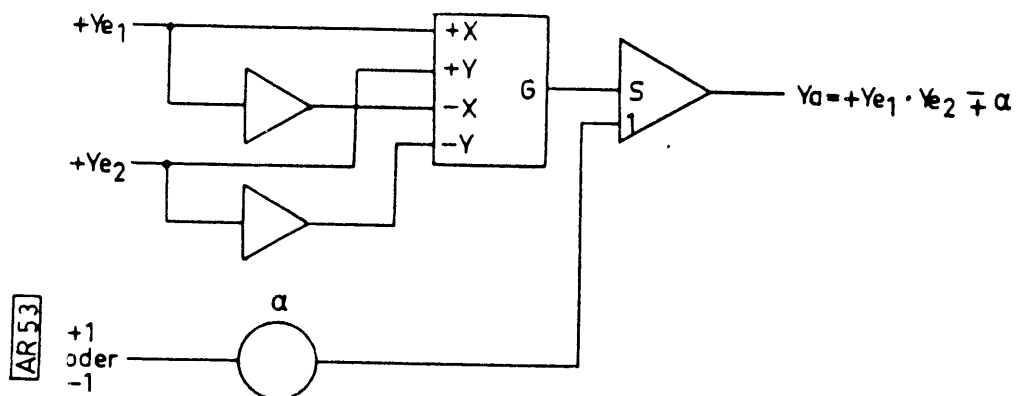


Bild 34: Rechenschaltung für den Fall a)

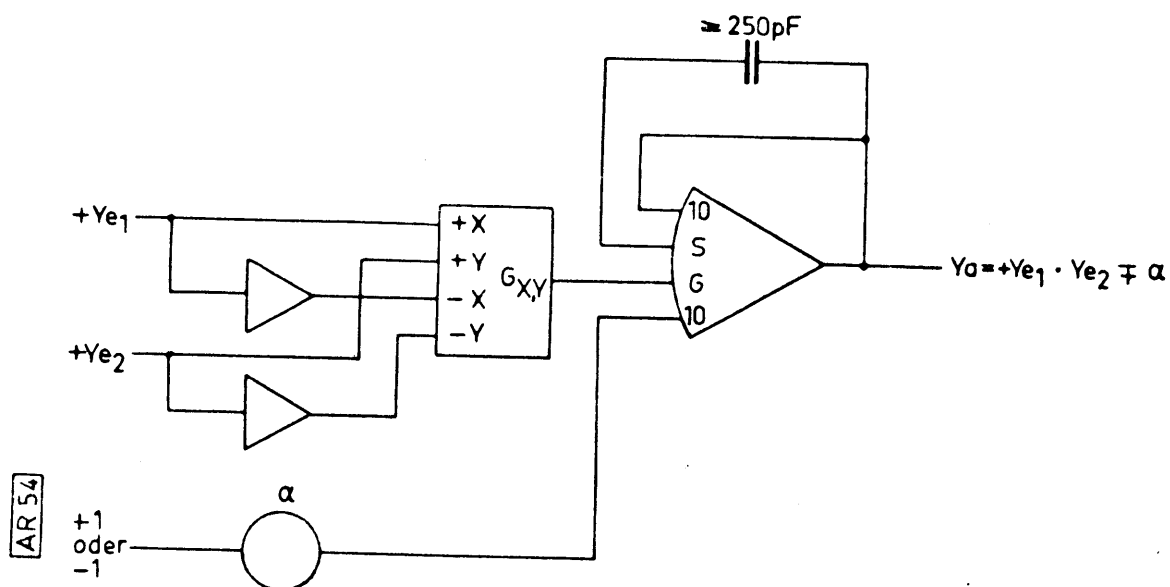


Bild 35: Rechenschaltung für den Fall b)



6.4. Multiplikation mit gleichzeitiger Addition beim RA 800 und RA 800 HYBRID

Programmiertechnisch liegt der selbe Fall wie unter 6.3. Fall b) vor. Es wirkt ein 10er-Eingang eines dem Netzwerk nachgeschalteten Verstärkers wie ein 1er-Eingang. Die entsprechenden Verbindungen auf dem Programmierfeld lassen sich an Hand eines Vergleiches von Bild 31 mit Bild 10a bzw. 10b ohne weiteres ableiten, ebenso die Darstellung der Rechenschaltung (vergl. Bild 35 und Bild 9).

7. Spezielle Beschaltungen der Parabel-Multiplizierer

Beschaltet man einen Parabel-Multiplizierer gemäß Bild 36, so liefert er folgende Rechenoperationen:

$$Y_a = +Y_e^2 \quad \text{für } Y_e \leq 0 \quad (14)$$

und
$$Y_a = -\frac{1}{2} Y_e^2 \quad \text{für } Y_e > 0 \quad (15)$$

Eine Übersetzung der allgemein gehaltenen symbolischen Darstellung in Bild 36 auf die verschiedenen Rechnertypen ist mit Hilfe der bisherigen Ausführungen ohne weiteres möglich.

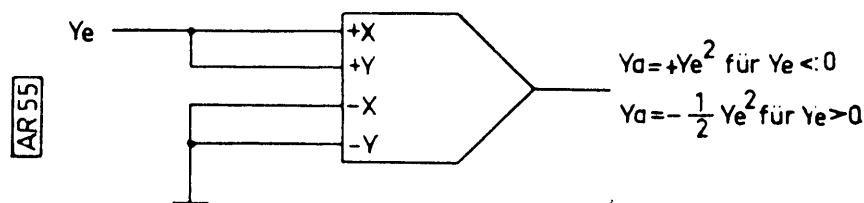


Bild 36: Beschaltung eines Parabel-Multiplizierers nach den Gl.(14) und (15)

Weitere spezielle Beschaltungen der Parabelmultiplizier-Netzwerke sind in Anwendungsbeispiel Nr. 1 unter Punkt 2 zu finden. Sie sind dort hinsichtlich der Verbindungen auf dem Programmierfeld nur für den RAT 700 angegeben, lassen sich aber ohne Schwierigkeiten auch auf den anderen Rechnertypen programmieren.