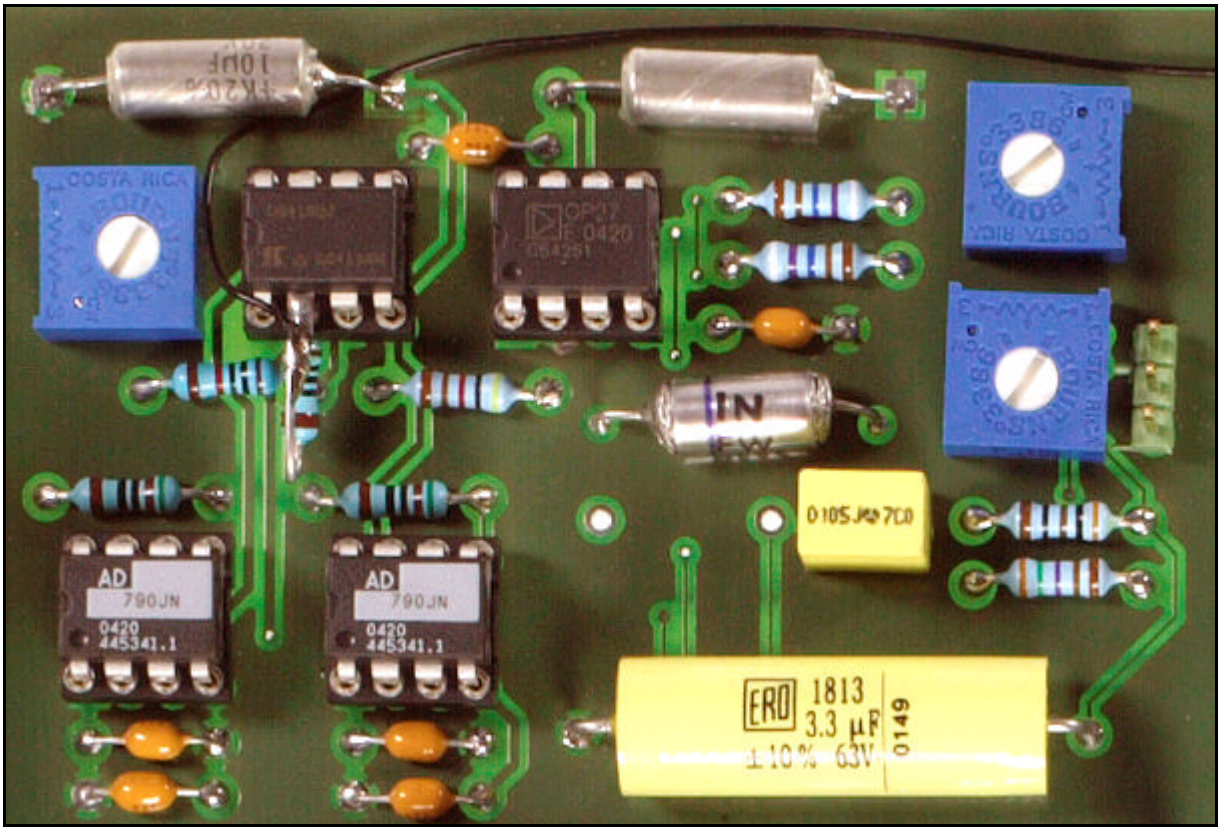
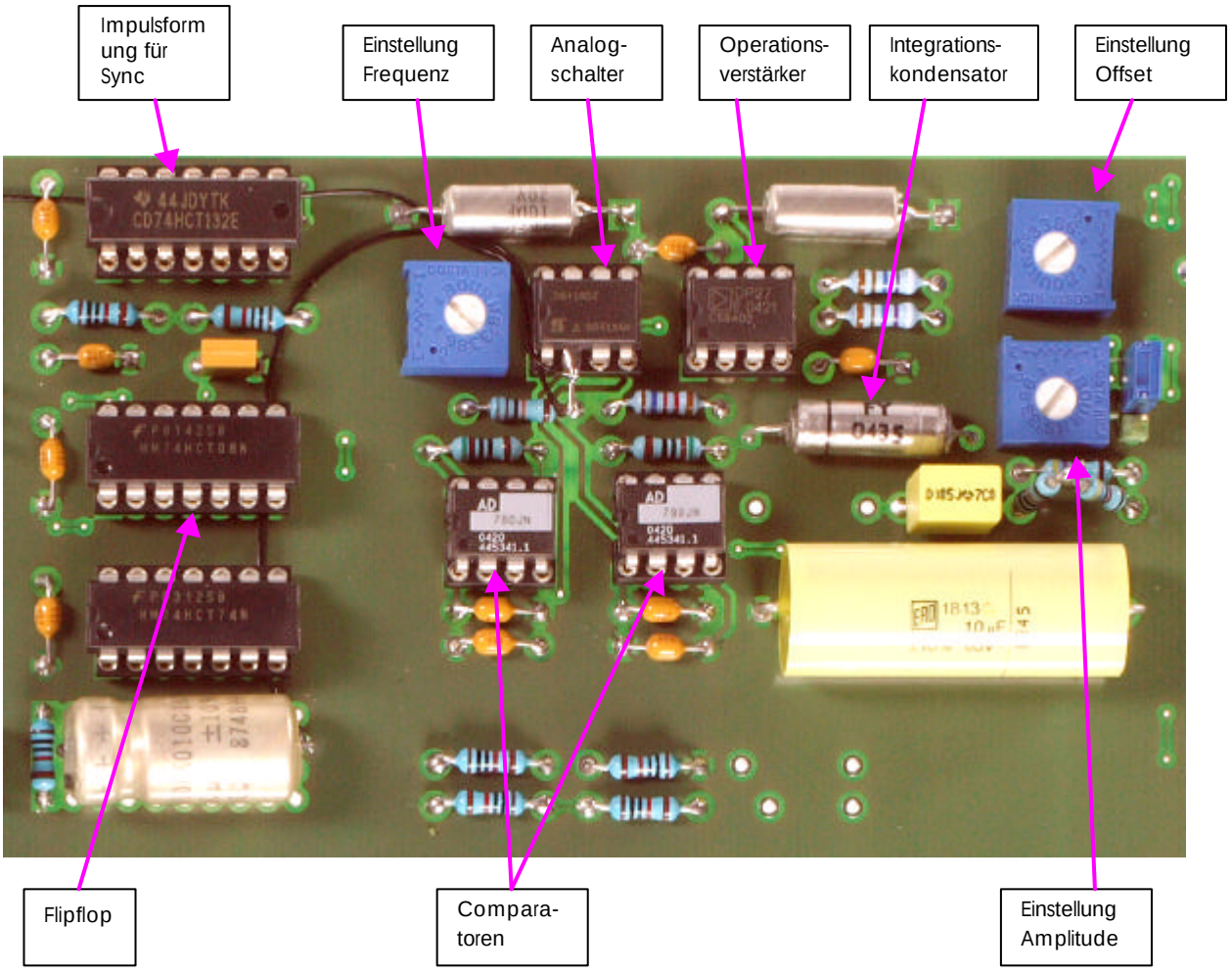
Ablenkgeneratoren

Von Maximilian Schwerin



Ausschnitt aus dem Horizontal-Ablenkgenerator



Vertikal-Ablenkgenerator

Allgemeines

Um die für die Strahlablenkung notwendigen Ströme zu steuern, sollen für die Horizontal- und für die Vertikalablenkung jeweils eine Sägezahnspannung erzeugt werden.

Die für die Horizontalablenkung benötigte Frequenz beträgt 15750 Hz, für die Vertikalablenkung reicht eine Frequenz von 50 Hz.

Der Sägezahn ist hierbei nicht symmetrisch. Bei der Horizontalablenkung dauert der Hinlauf mit 56 µs bedeutend länger als der Rücklaufs mit 8 µs. Bei der Vertikalablenkung ist dies bei Zeiten von 19,68 ms und 320 µs noch auffälliger.

Das System soll auch ohne SYNC-Signal funktionieren, aber auf dieses reagieren, sollte es vorhanden sein. Daher wird die Frequenz des Sägezahns so eingestellt, dass die steigende Flanke im freischwingenden Betrieb etwas langsamer ist als im synchronisierten Betrieb. Die fallende Flanke soll immer die vom Videosignal vorgegebene Zeit einhalten.

Da sich Horizontal- und Vertikalablenkung nur in der Dimensionierung einzelner Bauteile unterscheiden, soll hier zunächst kein Unterschied in der Beschreibung gemacht werden.

Beschreibung der benutzten Spannungen

Im Folgenden werden alle in der Schaltung vorkommenden Spannungen beschrieben:

Name	***Wert***	***Funktion***
U_{ref1}	-5 V	Referenzspannung, die auf den Integrator geschaltet wird, um die steigende Spannungsrampe zu erzeugen.
U_{ref2}	+5 V	Referenzspannung, die auf den Integrator geschaltet wird, um die fallende Spannungsrampe zu erzeugen.
U_{max}	+5 V	Spannung, die das Ausgangssignal maximal erreichen soll; dient als Referenzspannung für U504/ U604.
U_{min}	-5 V	Spannung, die das Ausgangssignal minimal erreichen soll; dient als Referenzspannung für U505/ U605.
VCC	+5 V	digitale Versorgungsspannung
	+/-15V	Versorgungsspannung für die Operationsverstärker

Die Spannung, die am Ausgang des Integrators anliegt wird im folgenden als Uint bezeichnet. Die Gleichspannung, die am Eingang des Integrators anliegt, wird mit Uref bezeichnet. Die Spannung, die am Ausgang der Schaltung anliegt, wird mit SZHor bezeichnet.

Die Werte der Spannungen wurden so ausgesucht, dass das Netzteil nicht allzu viele Spannungen erzeugen muss. Der Spannungsbereich von Uint wird durch Umin und Umax bestimmt; hier wurde ein Bereich zwischen +/-5 V gewählt.

Anmerkung: Im späteren Verlauf der Arbeiten wurde die Versorgung der Operationsverstärker auf +12 / -8V geändert, um den Aufbau des Netzteils zu vereinfachen.

Beschreibung der digitalen Signale

Im folgenden werden die Signale beschrieben, die im Generator zur Horizontalablenkung digitale Bauteile ansteuern:

Name	***Beschreibung***
HMIN	Wird auf low geschaltet, sobald U_{int} den Wert U_{min} erreicht.
HMAX	Wird auf low geschaltet, sobald U_{int} den Wert U_{max} erreicht.
HSYNC	Wird auf low geschaltet, sobald im Videosignal ein Synchronimpuls entdeckt wird.
HL_HOR	Invertierender Ausgang des von U501A; ist während des Hinlaufs low.
RL_HOR	Ausgang von U501A; ist während des Rücklaufs low.

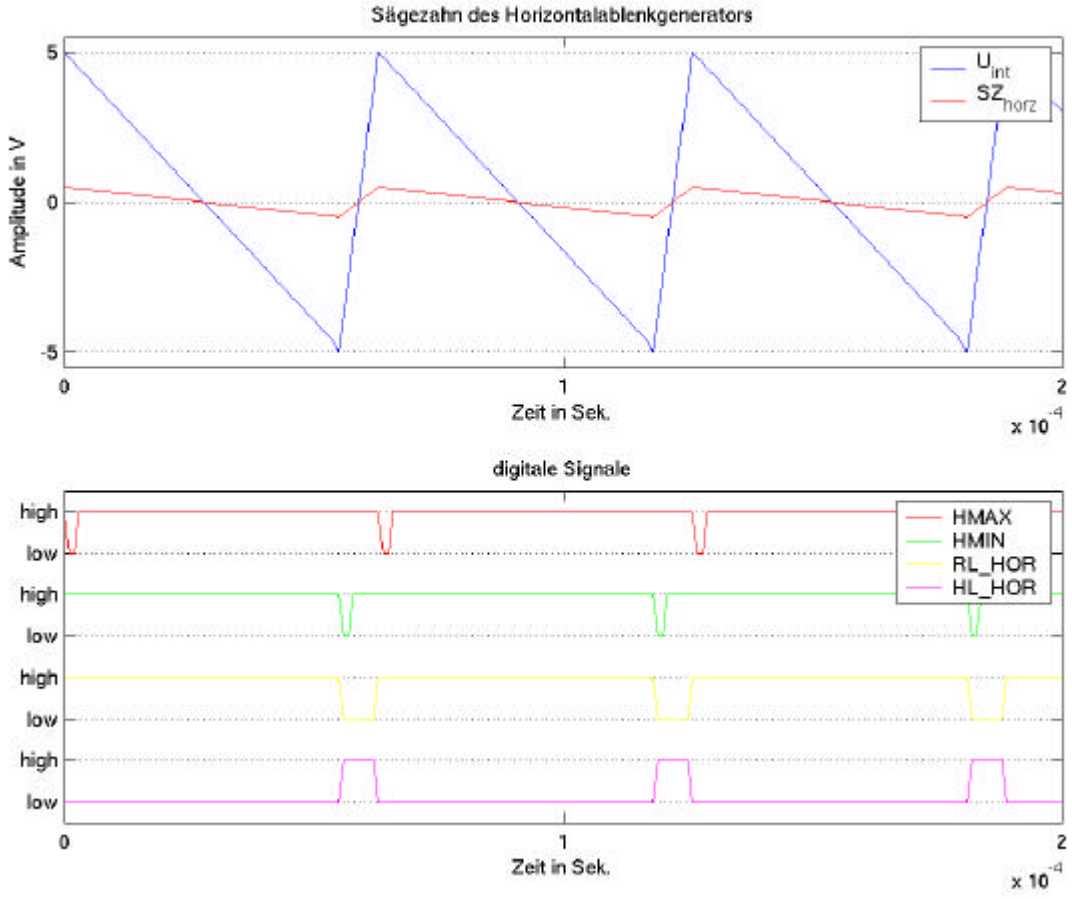
Das Flipflop wird von (HMIN * HSYNC) zurückgesetzt und von HMAX gesetzt. Die gleichen Signale existieren natürlich auch im Generator zur Vertikalablenkung, heißen dort aber VSYNC, VMIN, VMAX.

Funktion der Schaltung

Man nehme an, das Flipflop sei zurückgesetzt, so dass der Analogschalter den Eingang S1 durchschaltet, an dem die negative Referenzspannung U_{ref1} = -5V anliegt. Da der Integrator invertierend arbeitet, führt dies zu einer linear ansteigenden Spannungsrampe (Rücklauf) am Ausgang des Integrators. Wird die größte erwünschte Spannung U_{max} (HMAX = low) erreicht, so wird das Flipflop gesetzt. Nun liegt am Eingang des Integrators ein Teil der positiven Referenzspannung U_{ref2} an, was zu einer linear abfallenden Spannungsrampe (Hinlauf) am Ausgang des Integrators führt. Wird nun die kleinste erwünschte Spannung U_{min} (HMIN = low) erreicht oder trifft die fallende Flanke des HSYNC-Signals ein, so wird das Flipflop zurückgesetzt.

Das HSYNC-Signal ist mit einer Pulsbreite von 5 µs zu breit. Daher wird die Pulsbreite durch das Differenzierglied auf ca. 2 µs verkürzt.

Die Ausgangsspannung des Integrators Uint wird, um Gleichspannungsanteile auszukoppeln, durch einen Hochpass gefiltert. Dieser sollte so dimensioniert werden, dass nur die uns interessierenden Frequenzanteile durchgelassen werden.



Signalverläufe in der Generatorschaltung

Dimensionierung des Generators zur Horizontalablenkung

Da der Spannungsbereich von U_{int} mit ?5 V gewählt wurde, hängt die Frequenz von U_{int} ab vom Widerstand R501, dem Kondensator C501 sowie der anliegenden Referenzspannung U_{ref}.

Da die Dauer des Rücklaufs exakt 8 µs betragen soll, ist es sinnvoll R501 und C501 ausgehend von diesem Wert zu bestimmen. Beim Rücklauf ist die Referenzspannung $U_{ref} = U_{ref1} = -5$ V. Nun sind noch die Werte von C501 und R501 zu bestimmen. Da Widerstände den größten Freiheitsgrad bieten, ist es sinnvoll R501 als letztes zu wählen. Für C501 wird 1nF gewählt, da dieser Wert groß genug gegenüber den in der Schaltung vorhandenen Streukapazitäten ist und mit 1% Toleranz gut und günstig beschaffbar ist.

Für die Berechnung von $?U_{int}$ gilt:

$$?U_{int} = -[1/(R501 * C501)] * U_{ref} * ?t$$

Setzt man nun die Werte für den Rücklauf ein gilt:

$$10\ V = -[1/(R501 * 1\ nF)] * (-5\ V) * 8\ \mu s$$

$$R501 = [1/(10\ V * 1\ nF)] * 5\ V * 8\ \mu s = 4\ kOhm$$ (Normwert: 4,02 kOhm)

Der Wert von R501 ist groß genug gegenüber dem On-Widerstand des Analogschalters, der mit 20 Ohm typisch bei Raumtemperatur nur 0,5% von 4 kOhm beträgt.

Die Dauer des Hinlaufs soll ca. 56 µs betragen. Da sowohl die Referenzspannung $U_{ref2} = -5$ V, wie auch der Widerstand R501 und der Kondensator C501 bereits festgelegt sind, hängt die Dauer nur noch von dem Wert der Summe R = (R511 + R512) ab.

Nutzt man wiederum obige Gleichung, gilt:

$$-10\ V = -[1/((4{,}02\ kOhm + R) * 1nF)] * 5\ V * 56\ \mu s$$

$$R = [(5\ V * 56\ \mu s) / (10\ V * 1\ nF)] - 4{,}02\ kOhm = 23{,}98\ kOhm$$

Für R512 wird ein Potentiometer mit 15 kOhm gewählt, was einen Wert von 10 kOhm für R511 ergibt.

Der Hochpass, der zum Unterdrücken der Gleichspannungsanteile genutzt werden soll, setzt sich zusammen aus dem Kondensator C502 und dem Widerstand R = (R504 + R505 + R506). Als Grenzfrequenz wird 1 kHz angestrebt. Als Querstrom soll durch die Widerstände ein Strom von 1 mA fließen. Daraus ergibt sich ein Wert von R = 5 kOhm. Bei der Knickfrequenz von 1 kHz soll der Scheinwiderstand von C502 gleich dem Wert von R sein:

$$1 / ?C = R$$

$$C = 1 / (2 * ? * 1\ kHz * 5\ kOhm) = 32\ nF$$ (Normwert: 33 nF)

Da die Ablenkverstärker eine Eingangsspannung von +/-0,5 V benötigen, wird die Ausgangsspannung nicht zwischen R504 und C502 abgegriffen, sondern am Potentiometer R505. Für das Potentiometer wird ein Wert von R505 = 1kOhm gewählt. Hieraus ergeben sich Werte von R504 = 3,57 kOhm und R506 = 301 Ohm.

Um die horizontalen Bildlage einstellen zu können, wird der Fußpunkt des Hochpassfilters nicht direkt auf Masse gelegt, sondern an eine einstellbare Gleichspannung. Diese soll sich zwischen ?0,1 V bewegen. Der Querstrom durch R = (R507 + R508 + R509) sollte maximal 0,5 mA betragen. Daraus ergibt sich ein Wert von R = 20 kOhm. Daraus folgt der Wert R508 = 500 Ohm und R507 = R509 = 9,76 kOhm.

Der Kondensator C503 vermeidet einen Einfluss der Offseteinstellung auf die Bildamplitude. Er wird so gewählt, dass sein Wert C503 = 100 * C502 = 3,3 µF beträgt.

Als letztes muss nun noch der Tiefpass im Differenzierglied dimensioniert werden. Es wird eine Pulsbreite von 2 µs am Ausgang von U507A angestrebt. Der Strom durch R510 sollte 0,5 mA nicht überschreiten, um eine übermäßige Belastung des treibenden Signals zu vermeiden. Für die maximale Spannung des HSYNC-Signals werden 5 V angenommen. Daraus ergibt sich ein Wert von R510 = 10 kOhm. Da die Zeitkonstante von R510 und C504 bei 2 µs liegen soll, ergibt sich ein Wert von C504 = 2 µs / 10 kOhm = 200 pF.

Dimensionierung des Generators zur Vertikalablenkung

Auch hier gehen wir vom Rücklauf aus. Dieser soll 320 µs dauern. Der Kondensator C601 wird mit 10 nF gewählt. U_{ref} ist beim Rücklauf gleich U_{ref1} = -5 V. Nun gilt es R601 zu bestimmen:

$$10\ V = -[1/(R601 * 10\ nF)] * (-5\ V) * 320\ \mu s$$

$$R601 = [1/(10\ V * 10\ nF)] * 5\ V * 320\ \mu s = 16\ kOhm$$ (Normwert: 16,2 kOhm)

Wie bei der Horizontalablenkung ist auch R601 groß genug gegenüber dem On-Widerstand des Analogschalters.

Die Dauer des Hinlaufs soll ca. 19,68 ms betragen. Da sowohl die Referenzspannung U_{ef2} mit +5 V, wie auch der Widerstand R601 und der Kondensator C601 bereits festgelegt sind, hängt die Dauer nur noch von dem Wert der Summe R = (R611 + R612) ab.

Nutzt man wiederum obige Gleichung, gilt:

$$-10\ V = -[1/((16,2\ kOhm + R) * 10nF)] * 5\ V * 19,68\ ms$$

$$R = [(5\ V * 19,68\ ms) / (10\ V * 10\ nF)] - 16,2\ kOhm = 967,8\ kOhm$$

Für R612 wird ein Potentiometer mit 500 kOhm (Einstellbereich ca. ?20%) gewählt, was einen Wert von 820 kOhm für R611 ergibt.

Für den Hochpass ergibt sich bei einer Knickfrequenz von 10 Hz ein Wert für die Widerstände R = (R604 + R605 + R606) = 150 kOhm. Für die Kondensatoren ergeben sich Werte von C602 = 0,107 µF (Normwert: 0,1 µF) und C603 = 10 µF. Für das Potentiometer wird ein Wert von R605 = 10kOhm gewählt. Hieraus ergeben sich Werte von R604 = 140 kOhm und R606 = 10 kOhm.

Die Werte der Widerstände R607, R608 und R609 entsprechen den Werten R507, R508 und R509.

Für den Tiefpass im Differenzierglied wird eine Pulsbreite von 60 µs angestrebt. Der Wert von R610 = 10 kOhm wird von der Horizontalablenkung übernommen. Hieraus ergibt sich nun der Wert C604 = 60 µs / 10 kOhm = 6 nF (Normwert: 6,08 nF).

Inbetriebnahme des Generators zur Vertikalablenkung

Bei der Inbetriebnahme der Schaltung stellten sich zwei Fehler heraus.

Zum einen waren während der Eingabe in OrCad am Operationsverstärker U603 Pin 2 und 3 vertauscht worden, so dass der Integrator nicht arbeitete. Dies erforderte einige Änderungen an der Platine.

Weiterhin wurde die, zwischenzeitlich geänderte, vom Ablenkverstärker benötigte Eingangsspannung nicht korrekt erzeugt. Der Vertikalablenkverstärker benötigt eine Spannung von 1,9 Vpp. Die Schaltung war für 1,0 Vpp ausgelegt worden. Hinzu kam, dass die Grenzfrequenz des Hochpasses nicht korrekt dimensioniert worden war, womit sich eine exponentialförmige Verformung der Hinlauframpe ergab.

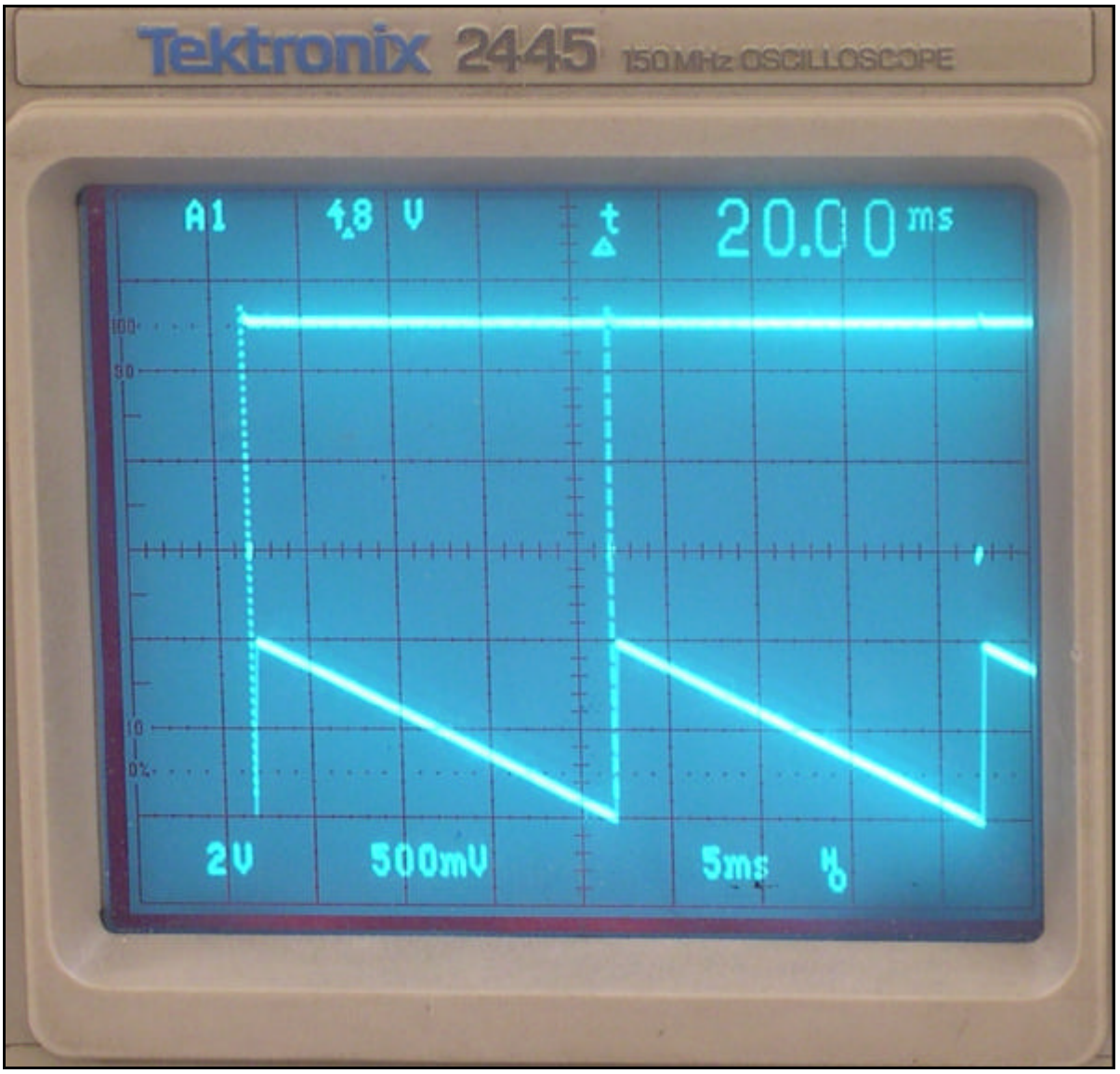
Die folgenden Bauteile wurden verändert:

- C602 = 1 µF
- R604 = 200 kOhm
- R606 = 47 kOhm

Hieraus ergibt sich eine Grenzfrequenz für den Hochpaß von 1,6 Hz.

Nach den Korrekturen und dem Austausch der Bauteile ergaben sich folgende Messergebnisse:

- Amplitude der (internen) Sägezahnspannung (gemessen an Pin 6 von U603): 10 Vpp
- Amplitude der (ausgehenden) Sägezahnspannung (gemessen an Pin 2 von R605): 1,8 Vpp bis 2,2 Vpp (einstellbar über R605)
- Offset der (ausgehenden) Sägezahnspannung (gemessen an Pin 2 von R608): -136 mV bis 96 mV (einstellbar über R608)
- Pulsbreite verkürztes VSYNC (gemessen nach dem Differenzierglied): 112 µs
- Länge des Rücklaufs: 320 µs



Oberer Strahl: VSYNC von Syncseparator (2V / DIV)
Unterer Strahl: Ausgang des Integrationsverstärkers U603 Pin 6 (5V/DIV)

Am 15.1. 2005 wurde R604 wieder auf 140kOhm zurückgeändert, da die tatsächlich benötigte Ablenkamplitude etwas höher als erwartet war.

Weiterhin wurde als Referenzspannung für den Rücklauf nicht mehr direkt die –5V-Versorgung genommen, sondern es wurde am 15.1.2004 ein Tiefpaß aus 100 Ohm und 1000uF zwischen die miteinander verbundenen Anschlüsse U502/2 und U602/2 und die –5V-Versorgung eingefügt. Damit konnte, unabhängig von der durch die Beeinflussung der –5V-Versorgung durch den Vertikalverstärker schwankenden, -5V-Versorgung eine konstante Zeilenbreite über die gesamte Bildhöhe erreicht werden.

Inbetriebnahme des Generators zur Horizontalablenkung

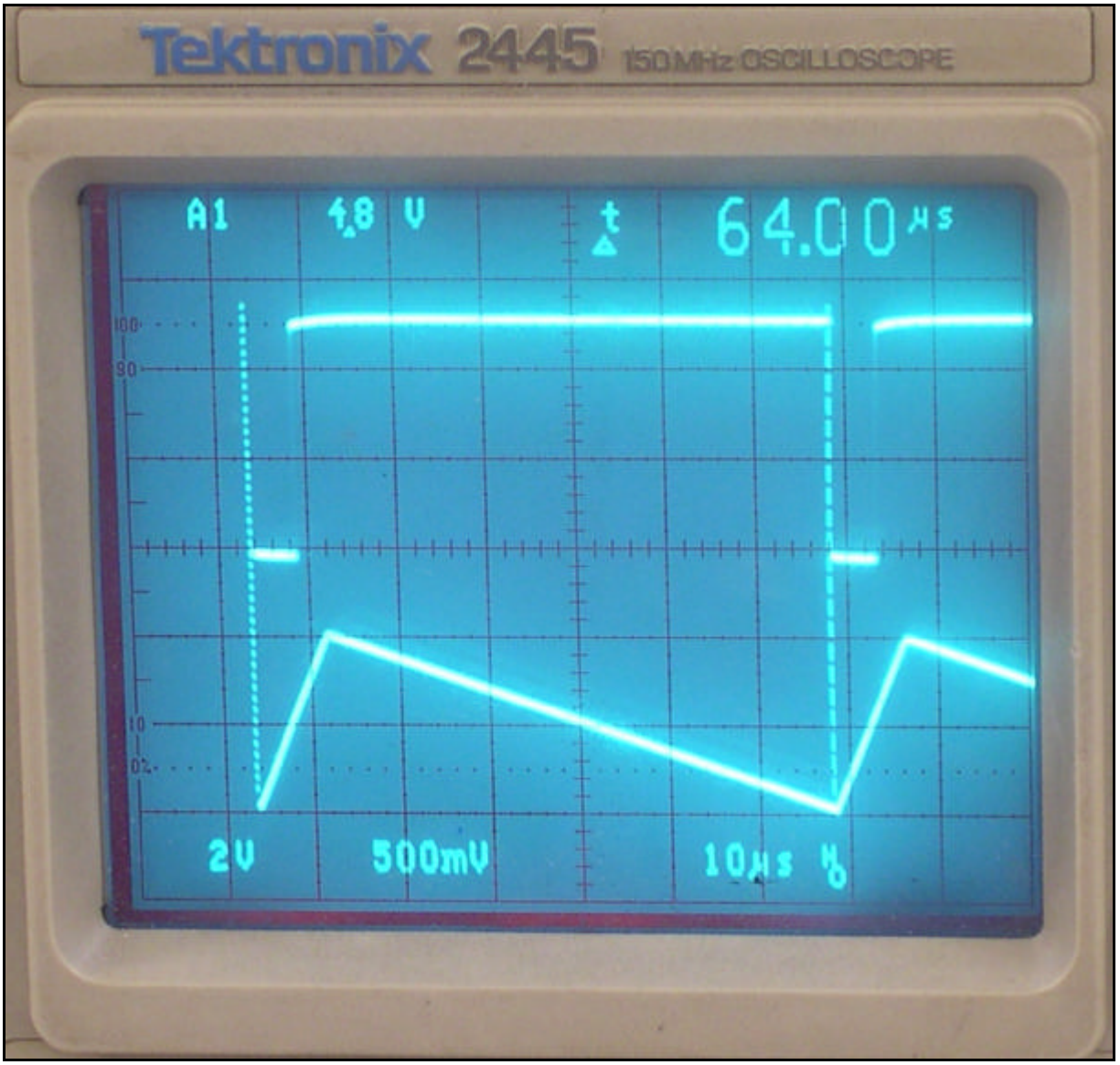
Auch bei dieser Schaltung waren am Operationsverstärker U503 die Pins 2 und 3 vertauscht. Wie bei der Vertikalablenkung wurde dies durch Änderungen an der Platine korrigiert.

Auch hier war die Grenzfrequenz des Hochpasses nicht korrekt dimensioniert. Durch Austauschen von C502 = 1 µF ergab sich eine neue Grenzfrequenz von 0,03 Hz.

Nach den Korrekturen und dem Austausch des Kondensators wurden folgende Messungen gemacht:

- Amplitude der (internen) Sägezahnspannung (gemessen an Pin 6 von U503): 10 Vpp
- Amplitude der (ausgehenden) Sägezahnspannung (gemessen an Pin 2 von R505): 0,72 Vpp bis 2,76 Vpp (einstellbar über R505)
- Offset der (ausgehenden) Sägezahnspannung (gemessen an Pin 2 von R508): -142 mV bis 112 mV (einstellbar über R508)
- Pulbreite verkürztes HSYNC (gemessen nach dem Differenzierglied): 4 µs
- Länge des Rücklaufs: 8 µs

Weiterhin wurde als Referenzspannung für den Rücklauf nicht mehr direkt die –5V-Versorgung genommen, sondern es wurde am 15.1.2004 ein Tiefpaß aus 100 Ohm und 1000uF zwischen die miteinander verbundenen Anschlüsse U502/2 und U602/2 und die –5V-Versorgung eingefügt. Damit konnte, unabhängig von der durch die Beeinflussung der –5V-Versorgung durch den Vertikalverstärker schwankenden, -5V-Versorgung eine konstante Zeilenbreite über die gesamte Bildhöhe erreicht werden.



Oberer Strahl:HSYNC von Syncseparator (2V / DIV)
Unterer Strahl: Ausgang des Integrationsverstärkers U503 Pin 6 (5V/DIV)

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das tatsächliche Verhalten der Generatoren exakt dem rechnerisch Vorausgesagten entspricht.