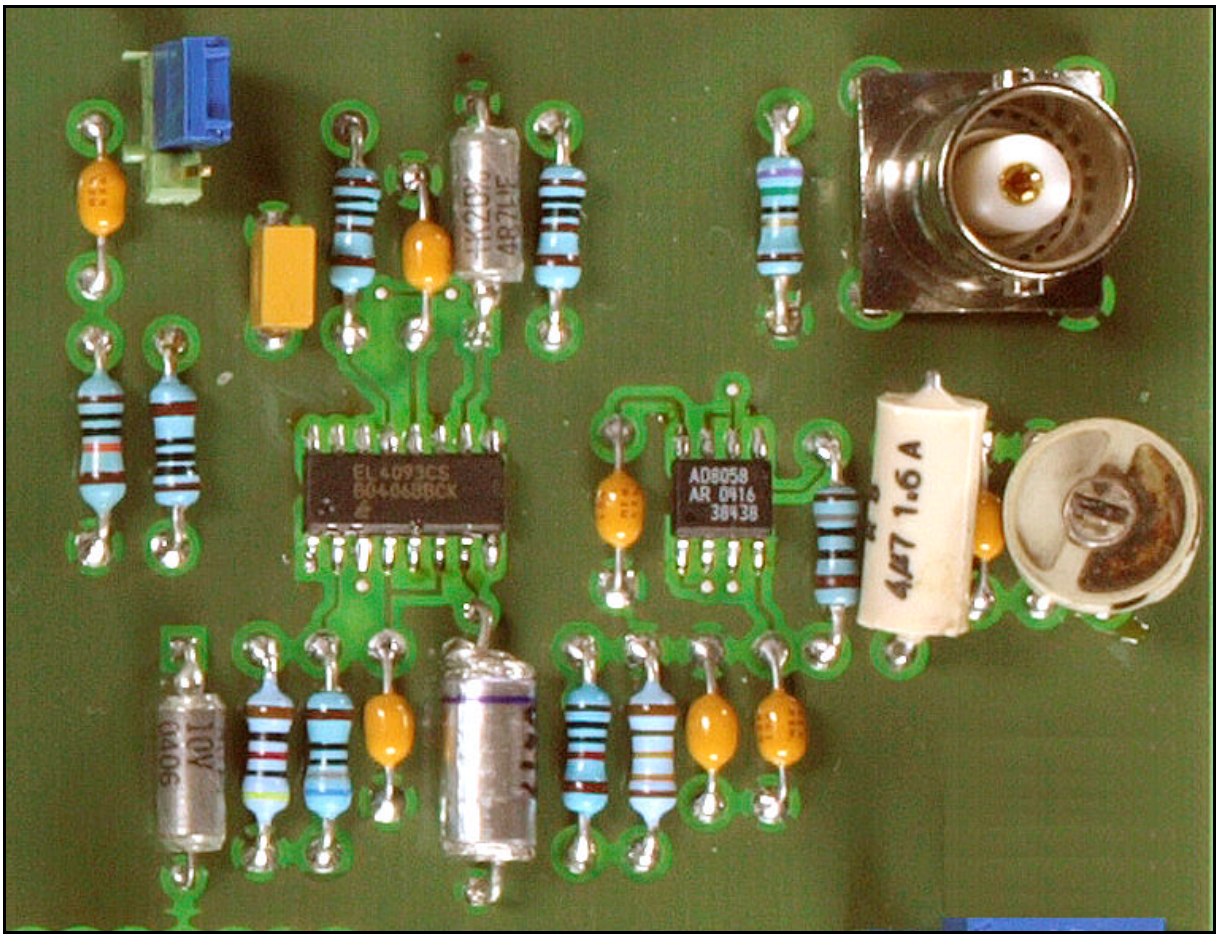
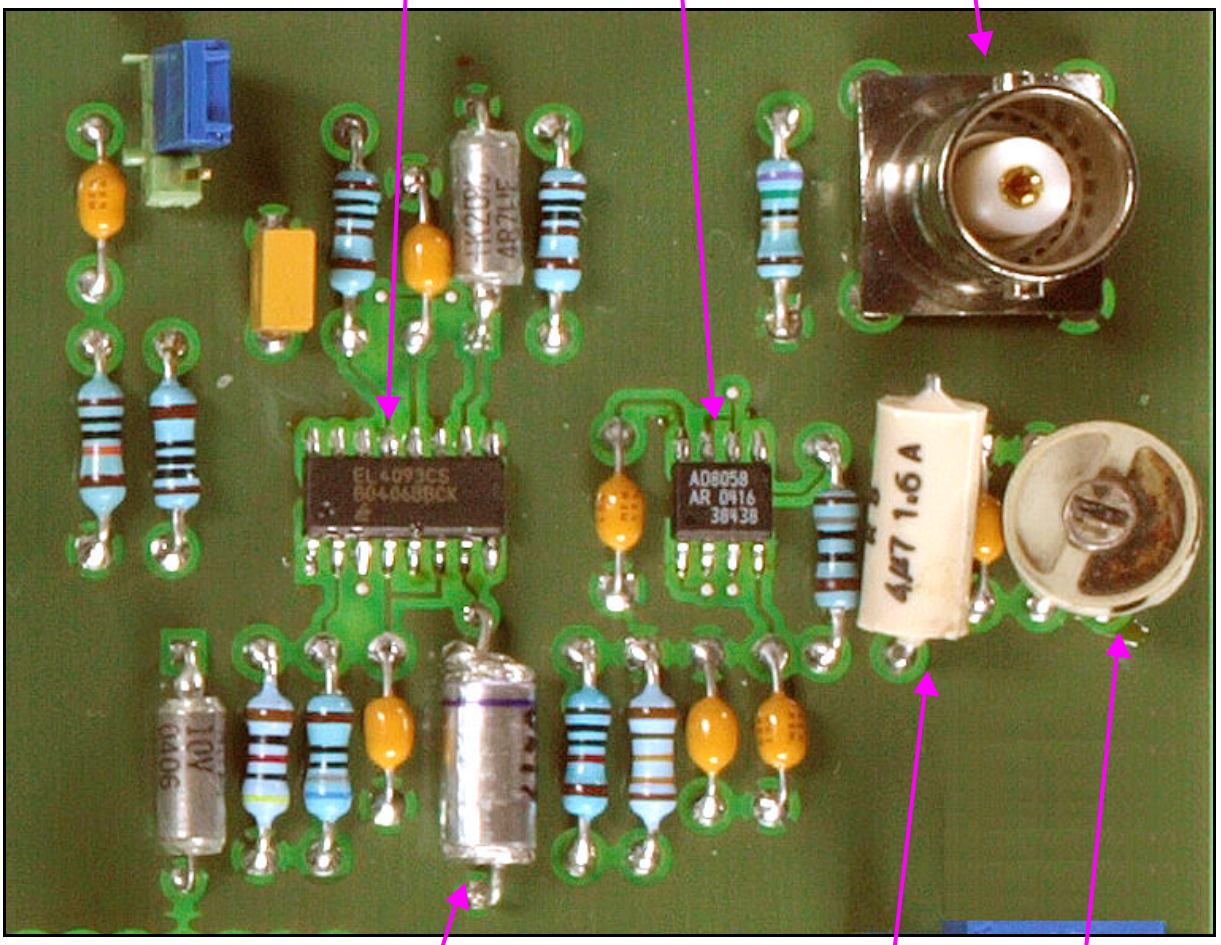
Schwarzwertkorrektur und Farbträgerfilter

Von Enrico Kamke



Farbträgerfilter und Schwarzwertklemmung


Baustein EL4093 für Schwarzwert-korrektur
Operations verstärker Farbträger-filter
Video-Eingang
EL4093CS
AD8058
AR 0416
4µ7 1.6 A
Speicher-kondensator Schwarzwert-korrektur
Schwing-kreisspule Farbträgerfilter
Trimm-kondensator Abgleich Farbträger-filter

Beschreibung des PAL-Videosignals

Das Standard-Videosignal enthält alle notwendigen Informationen, um empfangsseitig das übertragene Bild wiederzugeben. Die Helligkeitsinformationen werden amplitudencodiert übertragen, wobei weiße Bildpunkte hohen und schwarze Bildpunkte niedrigen Amplitudenwerten entsprechen. Zwischen hellstem Weiß und dunkelstem Schwarz besteht eine Amplitudendifferenz von 700mV.



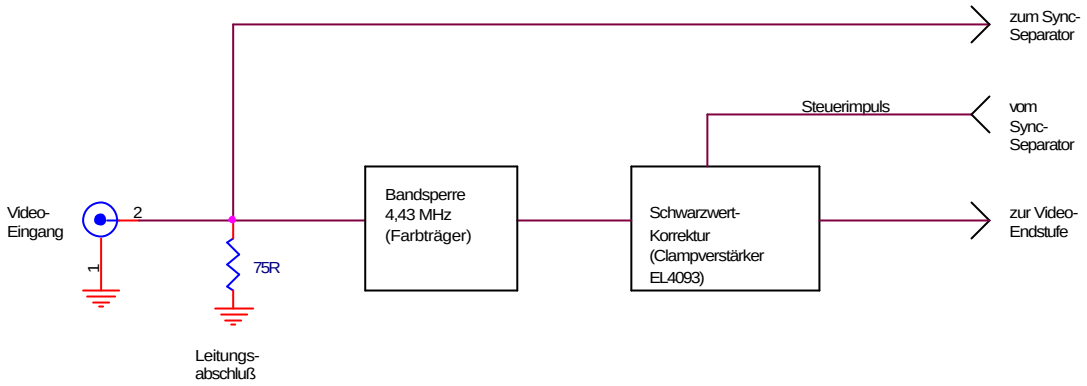
Typisches Videosignal

Zeilen- und Bildsprungzeiten werden als kurze Pulse für 4,7us (Synchronimpulse) mit Amplituden, die 300mV unter dem dunkelsten Schwarz liegen übertragen.

Das aus Synchronimpulsen, Farbträger und Bildhelligkeitsinformation zusammengesetzte Videosignal hat eine Bandbreite von ca. 5MHz und, ohne Berücksichtigung des Farbträgers, eine Amplitude von 1V.

Bei Wechselstromkopplung, wie wir sie durch den Einsatz von Kondensatoren im Signalweg (RC Hochpass) erhalten, ist der Gleichstromanteil im Signal abgetrennt. Langsame Änderungen der durchschnittlichen Bildhelligkeit, die somit einem Videosignalteil niedriger Frequenz entsprechen, sind dann nicht mehr im Signal enthalten. Für Signale, die einen konstanten Mittelwert haben, kann der Mittelwert als feste Referenz dienen. Dadurch sind dann auch langsame Signalveränderungen in ihrem Absolutwert als Differenz zur Referenz zu erkennen.
Unser Signalmittelwert ist jedoch von dem Bildinhalt abhängig, also nicht konstant und somit als Referenz ungeeignet. Wenn also ein weißes Bild langsam dunkler wird (Amplitude sinkt), sinkt auch der Mittelwert, und die Änderung im Bezug zum Mittelwert wird kleiner. Das auf dem Bildschirm wiedergegebene Bild verdunkelt sich langsamer als im Original.
Aus diesem Grund wird bei der Erzeugung des Videosignals ein Referenzamplitudenwert zum Zeitpunkt der hinteren Schwarzschulter in das Signal eingefügt. Bei der Bildwiedergabe kann das Signal an dieser Stelle abgetastet, mit einem festgelegten Sollwert verglichen und deren Differenz als Gleichanteil dem Videosignal zugeführt werden. Damit ist sichergestellt, daß der Schwarzpegel des Signals auf einem festgelegten, konstanten Potential liegt. Es besteht ein fester Zusammenhang zwischen dem absoluten Spannungswert des Signals am Ausgang der gerade beschriebenen Schwarzwertkorrekturschaltung und der absoluten Helligkeit des darzustellenden Bildpunktes.

Struktur des Video-Eingangsteils

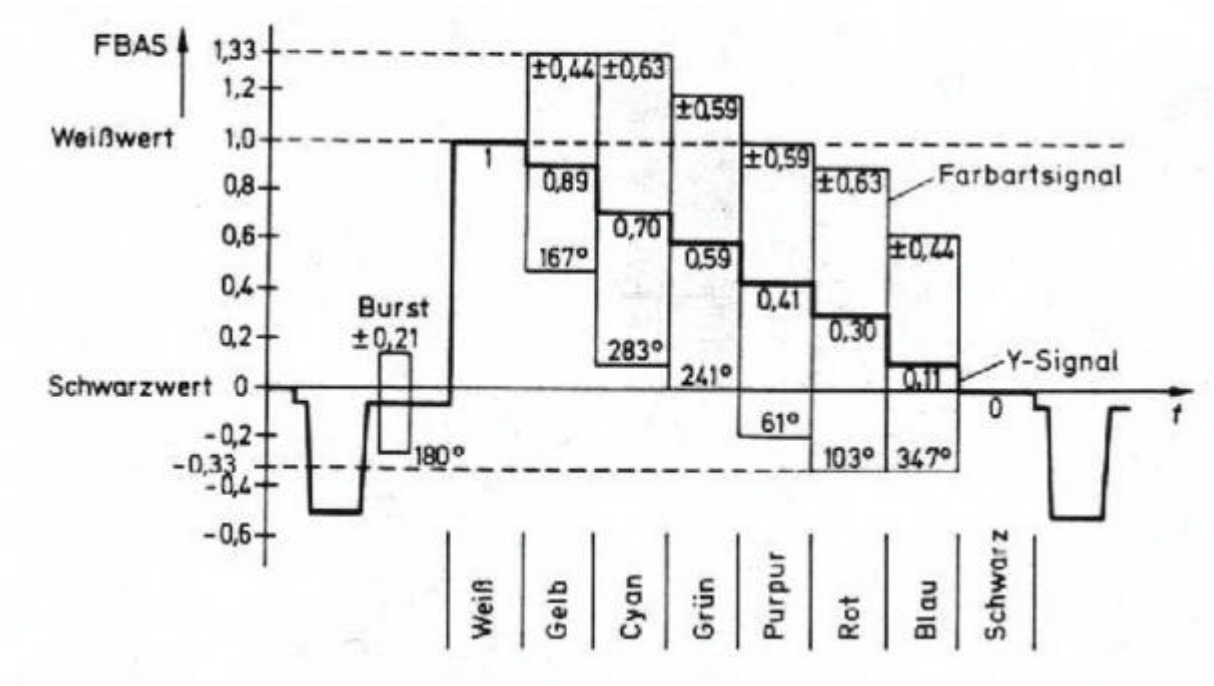


Blockschaltbild des Video-Eingangsteils

Das Videosignal wird über eine BNC-Buchse eingespeist und mit einem 75Ohm-Widerstand abgeschlossen, um störende Reflexionen zu unterdrücken. Es wird zum einen direkt an den Synchronseparator-Baustein geführt, der die Synchronimpulse abtrennt. Zum anderen gelangt das Signal über eine den 4,43 MHz –Farbträger unterdrückende Bandsperre an einen Clamp-Verstärker EL4093, der die Schwarzwertkorrektur durchführt und das Videosignal, zur direkten Ansteuerung der Video-Endstufe, um den Faktor 3,5 verstärkt. Der Clamp-Verstärker wird mit einem vom Synchronseparator-Baustein kommenden Steuerimpuls gesteuert.

Ausfilterung des Farbträgers

Kurz hinter dem Zeilensynchronimpuls (auf der hinteren Schwarzschulter) liegt ein 4,43MHz-Burst, der als Referenz für die Phasenlage des Farbsignals dient. Durch die Phasenlage des Farbsignals zur Referenz kann dann die Farbinformation gewonnen werden. Da wir uns nur mit der Darstellung des schwarz-weiß Bildes begnügen, brauchen wir diesen Burst nicht. Der Farbburst beeinträchtigt jedoch die Funktion der Schwarzwertkorrekturschaltung.



Videosignal mit Farbsignal und Farbburst

Um die Farbträgerfrequenz von 4,43 MHz herauszufiltern, benötigen wir ein sehr schmalbandiges Notchfilter, da ansonsten die Bildinformationen in benachbarten Frequenzbereichen ebenfalls gedämpft werden.

Zur schaltungstechnischen Realisierung dieses Filters sind zwei Ansätze denkbar:

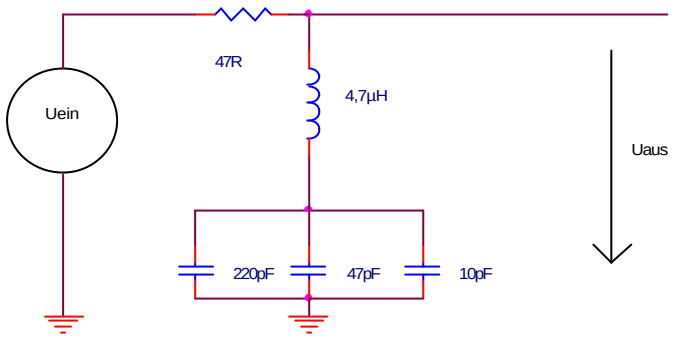
Aus dem NF-Bereich ist eine Vielzahl von aktiven Filterschaltungen mit RC-beschalteten Operationsverstärkern bekannt. Mit einem Operationsverstärker läßt sich hierbei ein Filterblock zweiter Ordnung realisieren.
Die hier benötigte Bandsperre kann prinzipiell durch die Zusammenschaltung eines Hoch- und eines Tiefpasses realisiert werden.
Eine Übertragung der im NF-Bereich sehr gut arbeitenden Schaltungen in den hier benötigten Frequenzbereich ist jedoch ohne weiteres nicht möglich, da die Ausgangswiderstände und interne Phasendrehungen der Operationsverstärker nicht mehr gegenüber den Einflüssen der externen Beschaltung vernachlässigbar sind.

Aus diesem Grund wird im Bereich der Videosignalfrequenzen im allgemeinen mit passiven Filtern, aufgebaut aus Spulen und Kondensatoren, gearbeitet, was sich im NF-Bereich aufgrund der dann sehr großen Abmessungen der induktiven Komponenten als unpraktikabel erweist.

Es zeigt sich, daß die hier benötigte Filterfunktion mit drei passiven Bauelementen, einem aus einer Spule und einem Kondensator bestehenden Schwingkreis und einem Widerstand, auf einfachste Weise realisiert werden kann.

Das Filter arbeitet wie folgt:

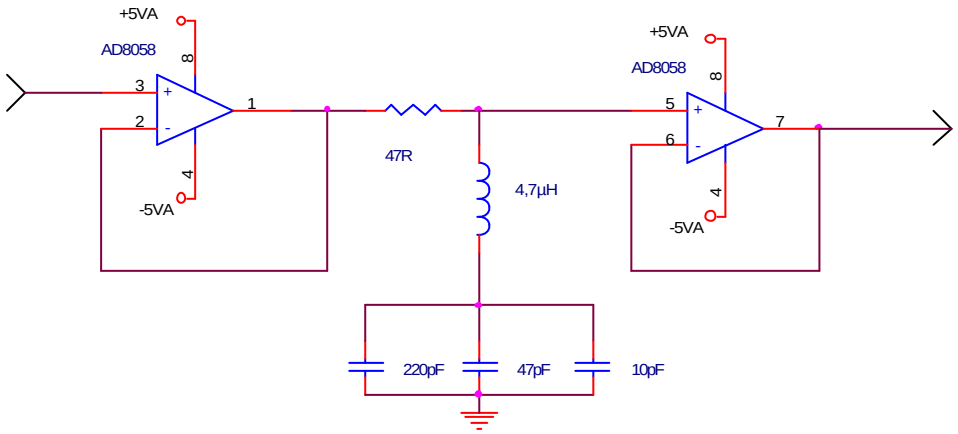
Der Reihenschwingkreis (4,7uH mit 220 + 47 + 10pF) ist praktisch auf die Farbträgerfrequenz von 4,43 MHz abgestimmt. Seine Impedanz erreicht bei dieser Frequenz ein Minimum und ist klein gegenüber dem 47 Ohm-Serienwiderstand. Damit fällt dann im Resonanzfall praktisch die gesamte Spannung Uein am 47 Ohm-Widerstand ab und leistet keinen Beitrag zur Ausgangsspannung. Bei Frequenzen oberhalb und unterhalb der Resonanzfrequenz ist die Impedanz des Reihenschwingkreises deutlich größer als 47 Ohm. Die Eingangsspannung erscheint praktisch unabgeschwächt am Ausgang des Filters.



Prinzip des passiven Farbträgerfilters:

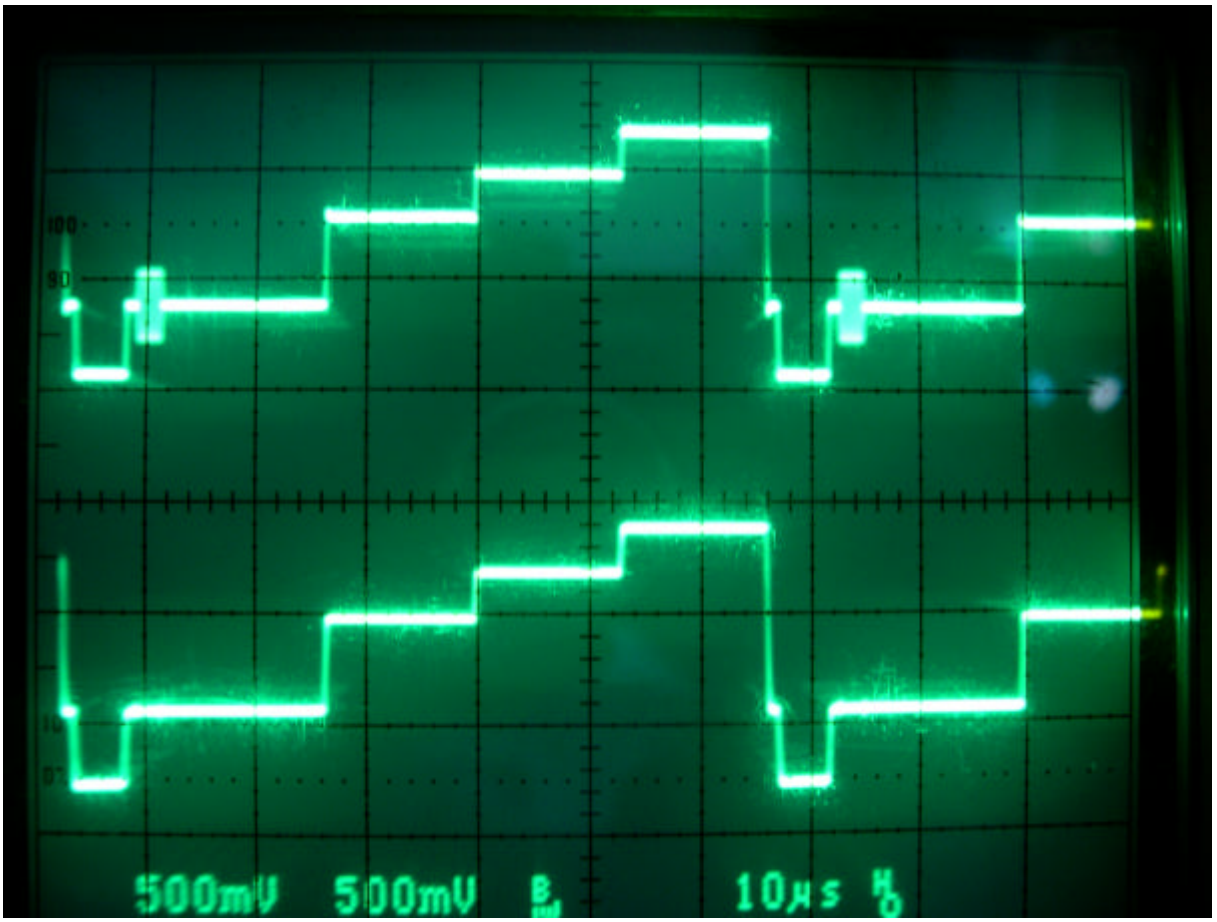
Unter Verwendung der in der Skizze angegebenen Normwerte für Spule und Kondensatoren erreicht man eine Resonanzfrequenz von f=1/(2?V LC) = 4,41 MHz. Die Abweichung zu der eigentlich benötigten Resonanzfrequenz von 4,43 MHz beträgt -0,5%. Das ist gegenüber den Bauteiltoleranzen von üblicherweise 5% und den im Schaltungsaufbau vorhandenen Streukapazitäten hinreichen genau.

Für den Einsatz des von uns gewählten Reihenschwingkreises ist es notwendig, das Filter von der Impedanz der vorangehenden und nachfolgenden Schaltungsteile zu entkoppeln. Das ist deshalb wichtig, da die Steilheit des Filters von dem Verhältnis des 47 Ohm Widerstandes zur Impedanz des LC-Schwingkreises abhängt. Würde es nicht von den anderen Schaltungsteilen entkoppelt, so addiert sich die Quellimpedanz zu unserem 47 Ohm Widerstand, verändert das Impedanzverhältnis zum LC-Schwingkreis, wodurch ein breiteres Spektrum aus dem Signal herausgefiltert wird, entgegen unserem Wunsch, nur die Frequenz von 4,43 MHz zu filtern.



Blockschaltbild des Reihenschwingkreises mit Impedanzentkopplung

Mit Operationsverstärkern, wie in der oberen Zeichnung, als Spannungsfolger eingesetzt, kann man auf einfachste Weise diese Impedanzentkopplung realisieren. Der erste OPV definiert der RLC-Reihenschaltung eine Quellimpedanz von Null Ohm (OPV-Ausgangswiderstand ist ideal Null Ohm), der zweite OPV eine Ausgangslast von unendlich (OPV-Eingangswiderstand ist ideal unendlich). Analog Devices bietet zwei dieser Operationsverstärker auf einem IC (AD8058) an. Das Frequenzverhalten dieser Verstärker ist für Videoanwendungen ausgelegt.



Wirkung eines praktisch realisierten 4,33 MHz-Notchfilters in einem Video- Signalpfad:
Obere Kurve: Signal am Eingang des Notchfilters
Untere Kurve: Signal am Ausgang des Notchfilters

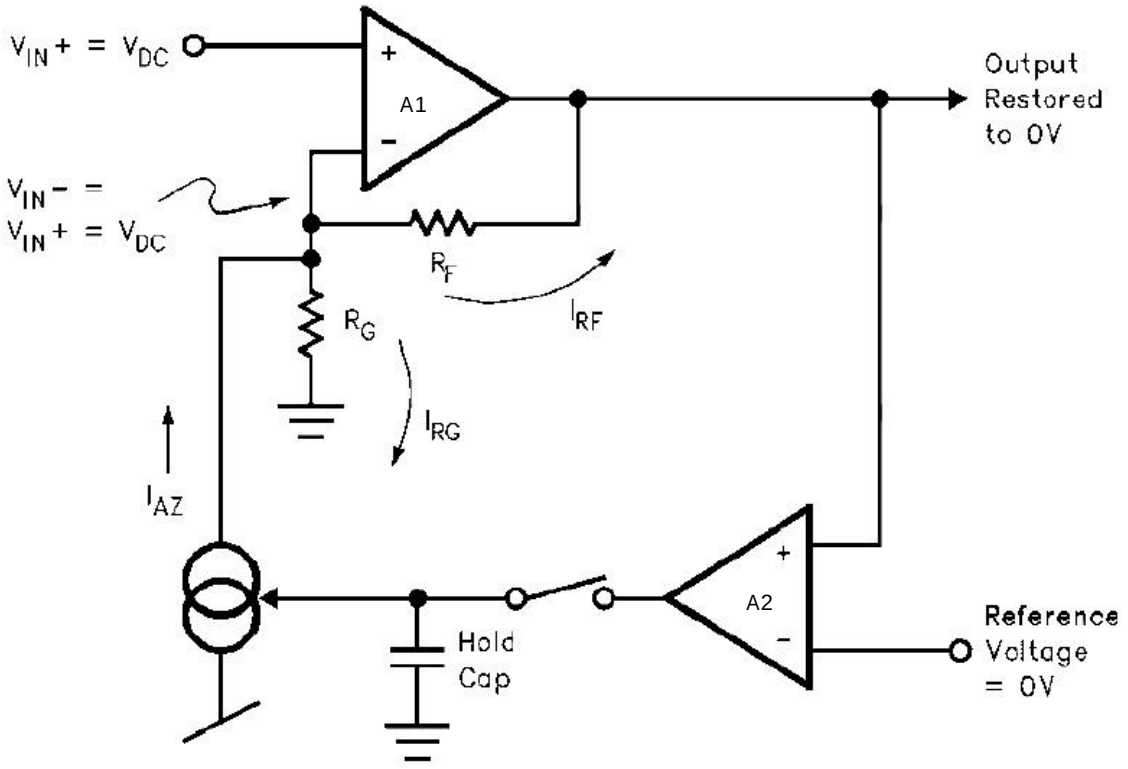
Clamp-Verstärker zur Schwarzwertkorrektur

Der Clamp-Verstärker erfüllt die Aufgabe der Schwarzwertkorrektur. Die Prinzipschaltung (siehe folgende Abbildung) macht deutlich, was im Inneren des für diese Funktion verwendeten Bausteins EL4093 geschieht:

Der Operationsverstärker A2 vergleicht das Videosignal mit dem durch die äußere Beschaltung festgelegten Referenzwert für den Schwarzpegel. Er erzeugt dabei eine der Abweichung des tatsächlichen Schwarzpegels vom vorgegebenen Schwarzpegel proportionale Korrekturspannung.

Zum Zeitpunkt der Schwarzschulter wird der Haltekondensator auf die Korrekturspannung aufgeladen. Der Zeitpunkt der Schwarzschulter wird durch einen vom Sync-Separator kommenden Steuerimpuls (BURST/BACK PORCH) übermittelt.

Durch eine Boosterschaltung wird der Ladevorgang für den vergleichsweise großen Kondensator C105 = 2.2nF beschleunigt (Samplezeit 3.5us).



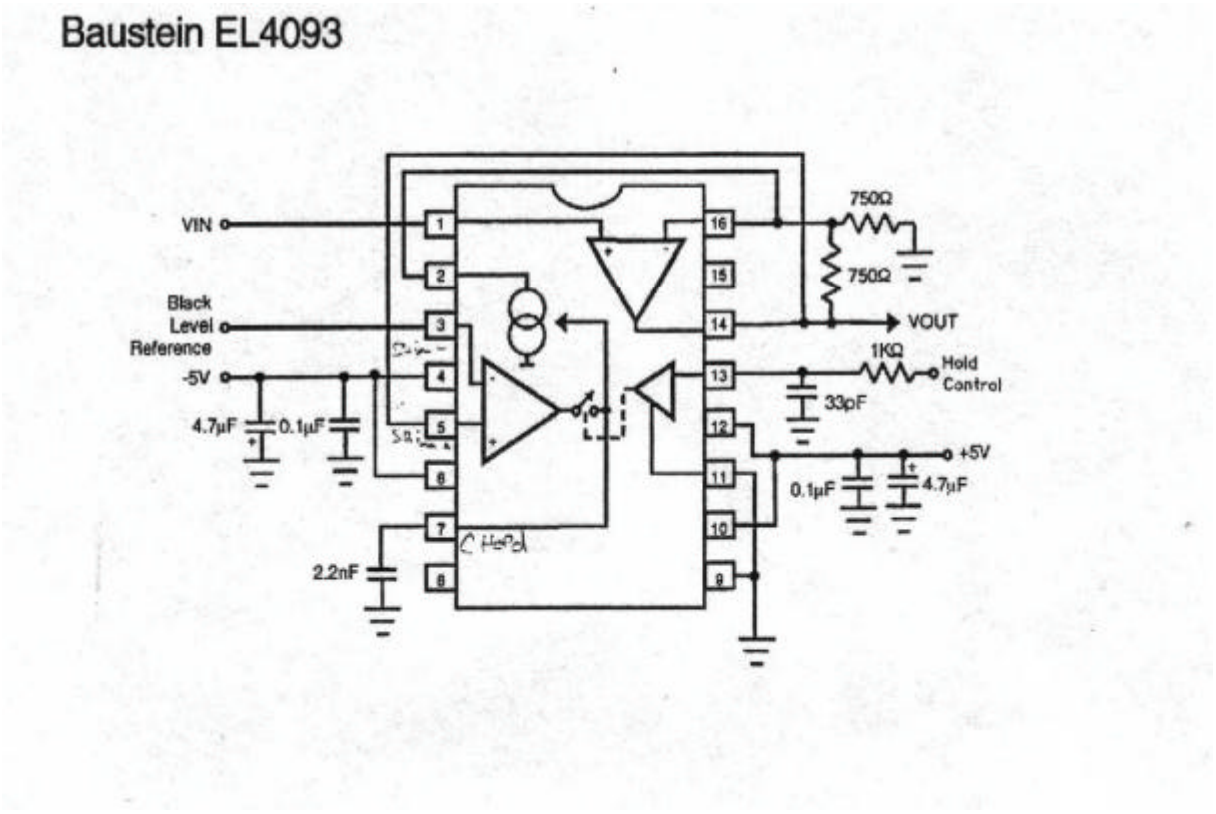
Prinzipschaltung des Clamp-Verstärker-Bausteins EL4093

Das Potential des nichtinvertieren Eingangs von A1 ist durch das hereinkommende Videosignal bestimmt. Im ausgeregelten Zustand ist der invertierende Eingang von A1 auf dem gleichen Potential wie dessen nichtinvertierender Eingang. Das Potential des invertierenden Eingangs von A1 entspricht dem Spannungsabfall an RG. Dieser wird durch die Summe der ihn durchfließenden Ströme bestimmt. Hierbei sind zwei Ströme wirksam: Der aus der, von A2 gesteuerten, spannungsgesteuerten Stromquelle kommende Strom IAZ und der von der Ausgangsspannung von A2 abhängige Strom durch RF. Da IAZ fest eingeprägt ist, stellt A1 seine Ausgangsspannung stets so ein, daß der Strom durch RF genau die Differenz zwischen IAZ und dem Strom, der die am nichtinvertierenden Eingang anliegende Spannung an RG verursacht ausgleicht. Eine Verminderung von IAZ führt daher zwingend zu einer Erhöhung der Ausgangsspannung von A1.

Nun sei angenommen, daß der Schwarzwert des von A2 ausgegebenen Videosignals kleiner als die Referenzspannung wird. Damit geht der Ausgang von A2 in negative Richtung. Damit vermindert sich der Strom IAZ. Das führt zu einer Anhebung der Ausgangsspannung von A1, womit sich wieder der ursprünglich gewünschte Schwarzwert, entsprechend der Referenzspannung, einstellt.

Der diesem Schaltungsteil folgende Videosignalverstärker macht es notwendig sicherzustellen, daß das Videosignal im Bereich 0 bis 3.5V liegt und zu keinem Zeitpunkt negativ wird.
Da die Synchronimpulse 300mV unter der Schwarzschulter liegen, muß die Referenzspannung mindestens 300mV betragen. Mit 0,6V sind wir auf der sicheren Seite. Zur Realisierung dient ein Spannungsteiler, der die +5V Versorgungsspannung im Verhältnis 1:8.3 aufteilt. Entsprechend wählen wir R104 = 10 kOhm und R105 = 1,3 kOhm.
Nun haben wir ein Signal im Bereich 0.3 bis 1.3V. Um es auf 3.5V zu verstärken ist eine Verstärkung = 1+Rf/Rg = 3.5/1.3 =2,7 nötig. Mit den Angaben im Datenblatt des EL4093 wählen wir für Rf = R107 = 680 Ohm. Für Rg ergibt sich dann Rg = R108 = 400 Ohm. Das Videosignal liegt nun zwischen 0.6 und 3.5V.

Die Beschaltung des EL4093 erfolgt, bis auf den invertierenden Verstärker, direkt nach den Maßgaben aus den Datenblättern (siehe unteres Bild). Am Hold-Eingang haben wir einen RC Tiefpaß platziert, der die Flanken des BACK PORCH- Signals abflacht, um Störungen auf grund der in diesen Flanken enthaltenen hohen Frequenzanteilen zu vermeiden. Die Grenzfrequenz des Tiefpasses ist 4,8 MHz. An den Eingängen für die Versorgungsspannungen (+5V, -5V) sorgen Keramik- und Tantalkondensatoren dafür, daß die Versorgungssopannung auch bei schnellen Änderungen der Stromaufnahme des EL4093 stabil bleibt.



Vom Hersteller empfohlene Beschaltungsvariante des EL4093

Inbetriebnahme

Farbträgerfilter

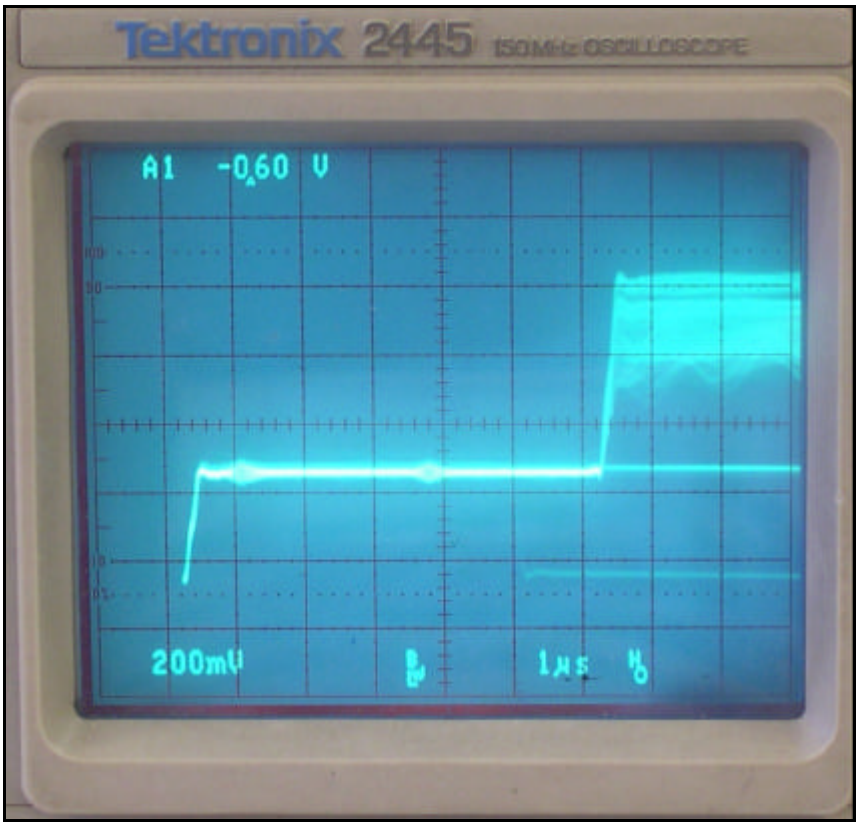
Zunächst arbeitete das Filter noch unbefriedigend, die Resonanzfrequenz lag mit 4,7 MHz etwas zu hoch. Die Resonanzfrequenz wurde durch Zuschalten einer weiteren Kapazität zum Schwinkreis auf ca. 4,43 MHz reduziert. Die Resonanzfrequenz konnte durch Messung der Frequenz der gedämpften Schwingung, die an der Flanke des Sync-Impulses auftritt bestimmt werden.

Anschließend zeigte sich, daß die Abschwächung des Filters auch bei korrekt eingestellter Resonanzfrequenz nicht ausreichte. Dies wurde dadurch behoben, daß die verwendete Drossel durch eineandere Bauform mit geringerem Kupferwiderstand ersetzt wurde.

Um die Resonanzfrequenz exakt einstellen zu können, wurde der Kondensator C102 durch einen Trimmkondensator mit Einstellbereich 5 ..13pF ersetzt. Dieser wurde dann auf optimale Abschwächung der Farbträgerfrequenz abgeglichen.

Abschließend wurde noch die Dämpfung und Bandbreite des Filters durch Anpassung von R102 optimiert. Der gewählte Wert von 180 Ohm führt zu steilen Flanken im Videosignal ohne störendes Überschwingen und vergrößert noch einmal die Abschwächung der Farbträgerfrequenz. Bei dem ursprünglichen Wert von 47 Ohm zeigte sich ein starkes, störendes Überschwingen an steilen Flanken im Videosignal. Das würde zur Darstellung von im Originalbild nicht vorhandenen Kanten führen. Bei einer versuchsweisen Vergrößerung auf 470 Ohm zeigte sich bei steilen Flanken eine exponetielle Annäherung an den Endwert. Das würde zu einem unscharfen Bild führen.

Bei genauerer Betrachtung des Oszillogramms auf der folgenden Seite fällt ins Auge, daß die Dämpfung des Farbträgers durch das Filter an den Stellen, an denen er seine Amplitude ändert, unvollkommen ist. Das läßt sich dadurch erklären, daß die Amplitudenmodulation des Farbträgers letzendlich eine Multiplikation der „eigentlichen“ Frequenz des Farbträgers mit seiner Hüllkurve darstellt. Wenn man nun den Amplitudenanstieg zu Beginn des Farbbursts betrachtet, dann stellt man fest, daß sich die Maxima des Augenblickswerts durch diese Multiplikation mit der ansteigenden Hüllkurve ein wenig „verspäten“ Wenn man die Frequenz nun vereinfacht als das Reziproke des Zeitabstandes zwischen zwei gleichgerichteten Maxima betrachtet, so ist diese damit ein wenig kleiner, als es bei der „ungestörten“ Farbträgerschwingung der Fall wäre. Beim Abfall der Amplitude der Hüllkurve werden die Maxima dagegen ein wenig „früher“ erreicht, man erhält eine Verschiebung der Frequenz nach oben. Da das hier realisierte Filter relativ schmalbandig ist, führt diue beschriebene Frequenzverschiebung zu einer verminderten Abschwächung, die deutlich beobachtbar ist.

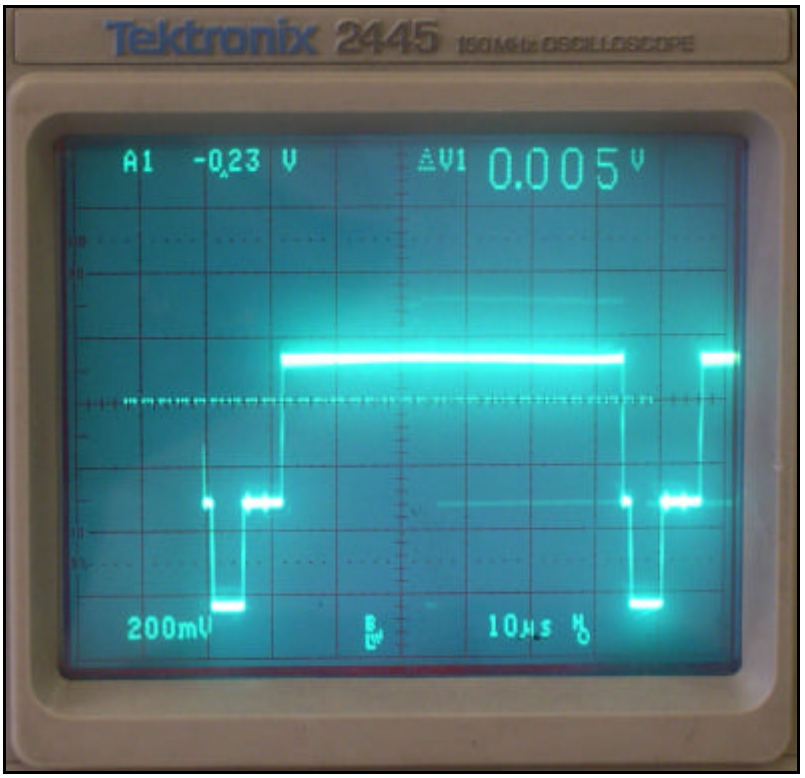


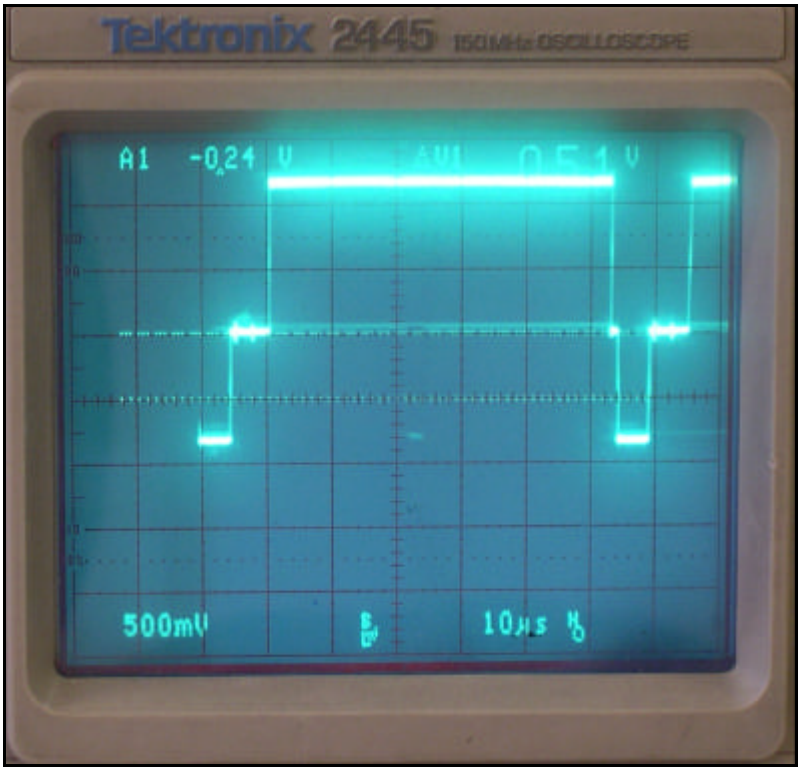
Signal am Ausgang des Notchfilters

Clampverstärker

Die Schaltung arbeitete sofort wie erwartet. Am Ausgang konnte das schwarzwertkorrigierte und verstärkte Videosignal beobachtet werden:

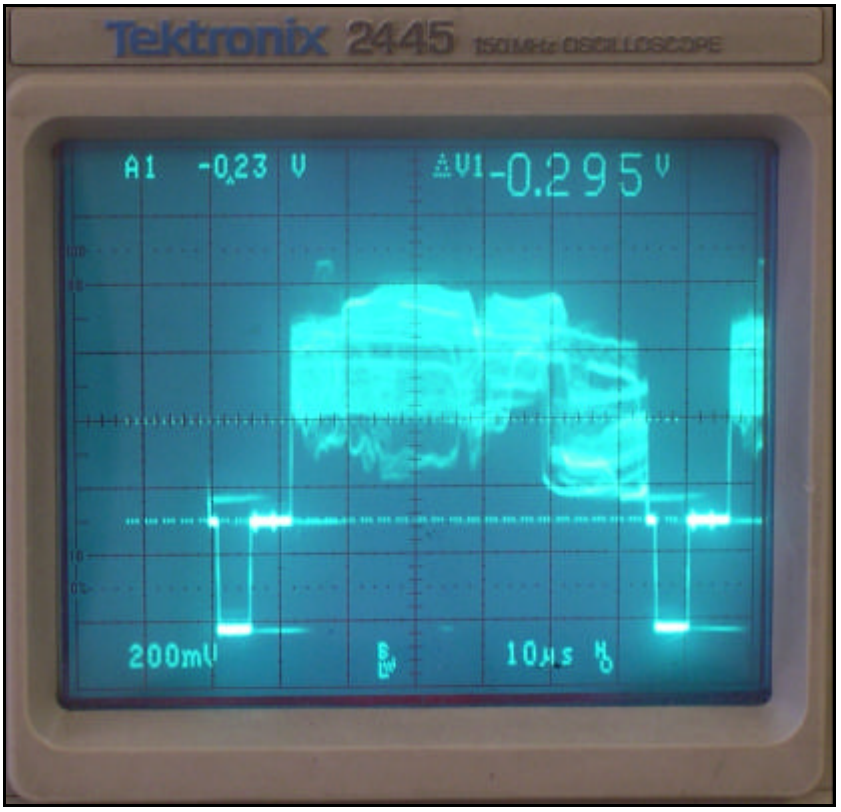
Heller Bildinhalt (weißes Blatt vor Kamera)

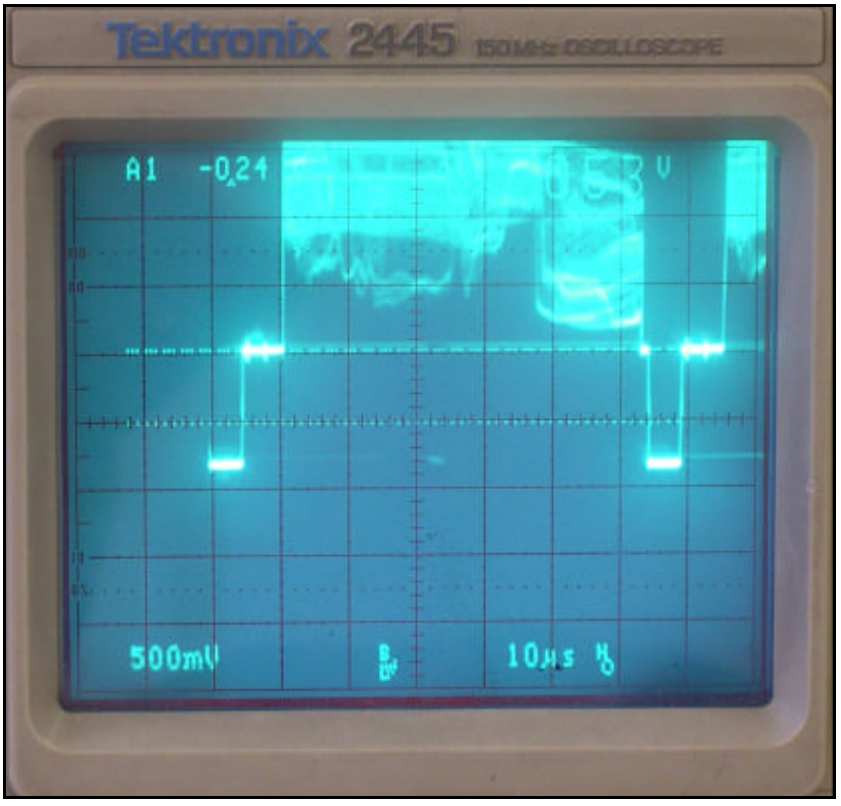




Oberes Bild: Eingang des Clampverstärkers; Unteres Bild: Ausgang des Clampverstärkers

Dunkler Bildinhalt (Kamera blickt auf Regal)





Oberes Bild: Eingang des Clampverstärkers; Unteres Bild: Ausgang des Clampverstärkers