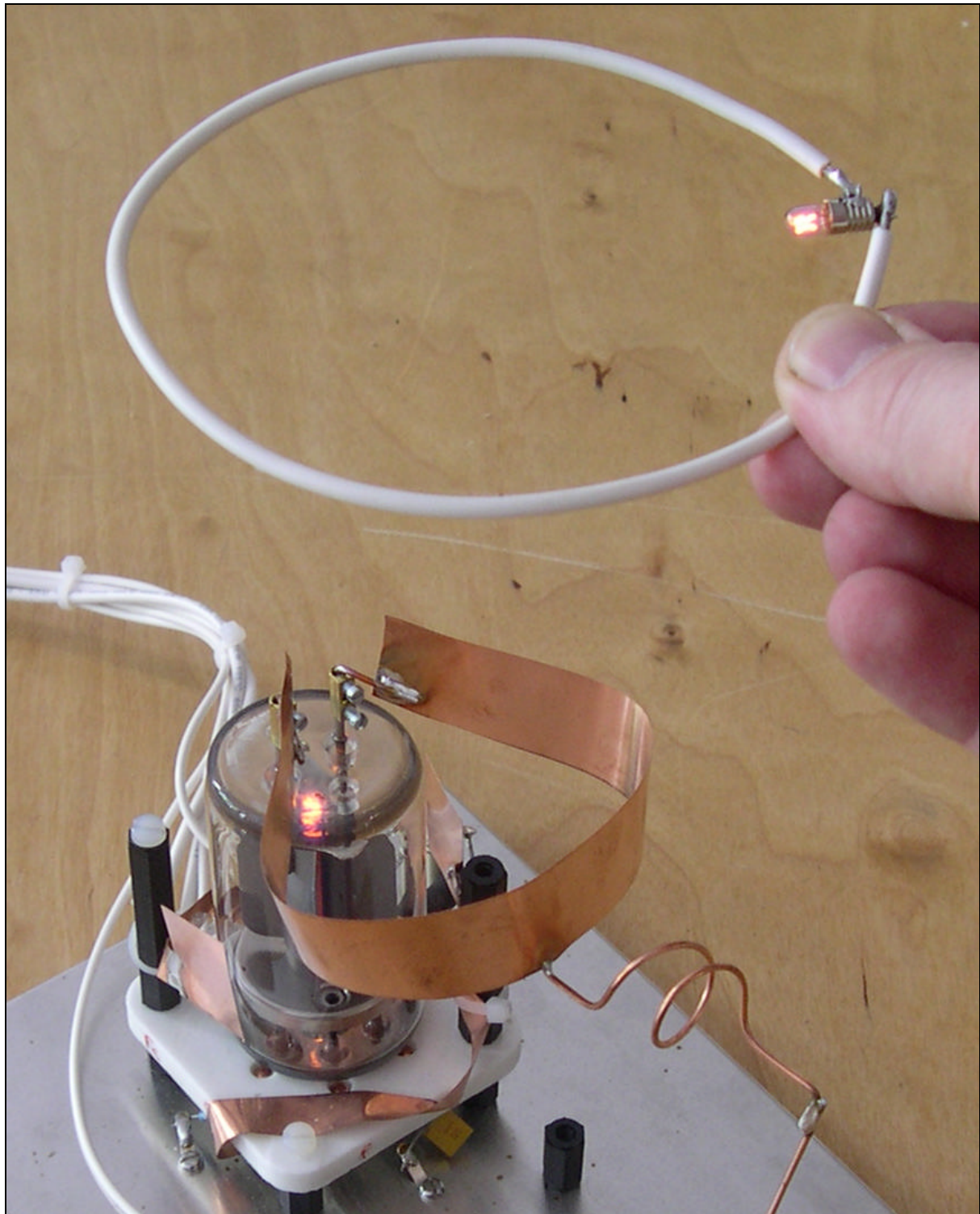


Der 270 MHz- Oszillator

Von Sascha Laue und Henry Westphal



Die Idee.

Deutlichere Sichtbarkeit hochfrequenter Effekte durch weitere Erhöhung der Oszillatorfrequenz.

Im Wintersemester 2005/6 wurde ein Oszillator auf Multivibratorbasis mit der Doppeltetrode QQE 06/40 realisiert, mit dem eine Frequenz von 140 MHz bei einer HF-Leistung in der Größenordnung 50W erreicht wurde. Dies entspricht einer Wellenlänge von 2m.

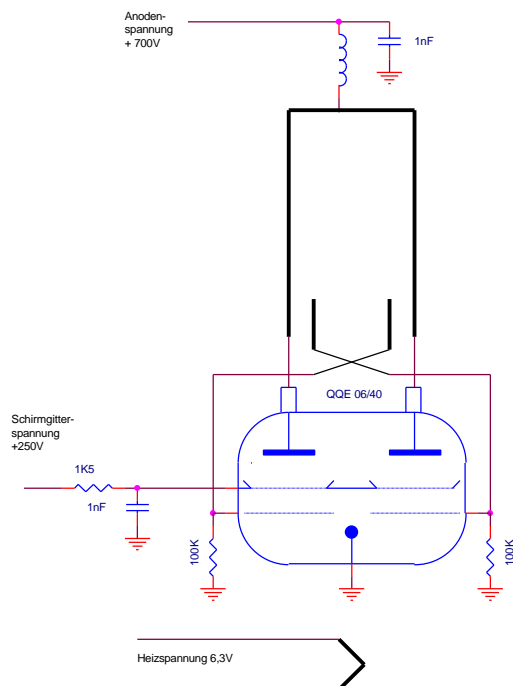
Mittels einer deutlichen Erhöhung der Frequenz würden schon kleinere, und damit besser handhabbare Strukturen in die Größenordnung der Wellenlänge kommen.

Eine weitere Motivation für den Baus dieses Oszillators war die Klärung der Fragestellung, bis zu welcher Frequenz man das Prinzip des astabilen Multivibrators in Kathodenbasisschaltung noch einsetzen kann.

Der Ausgangspunkt.

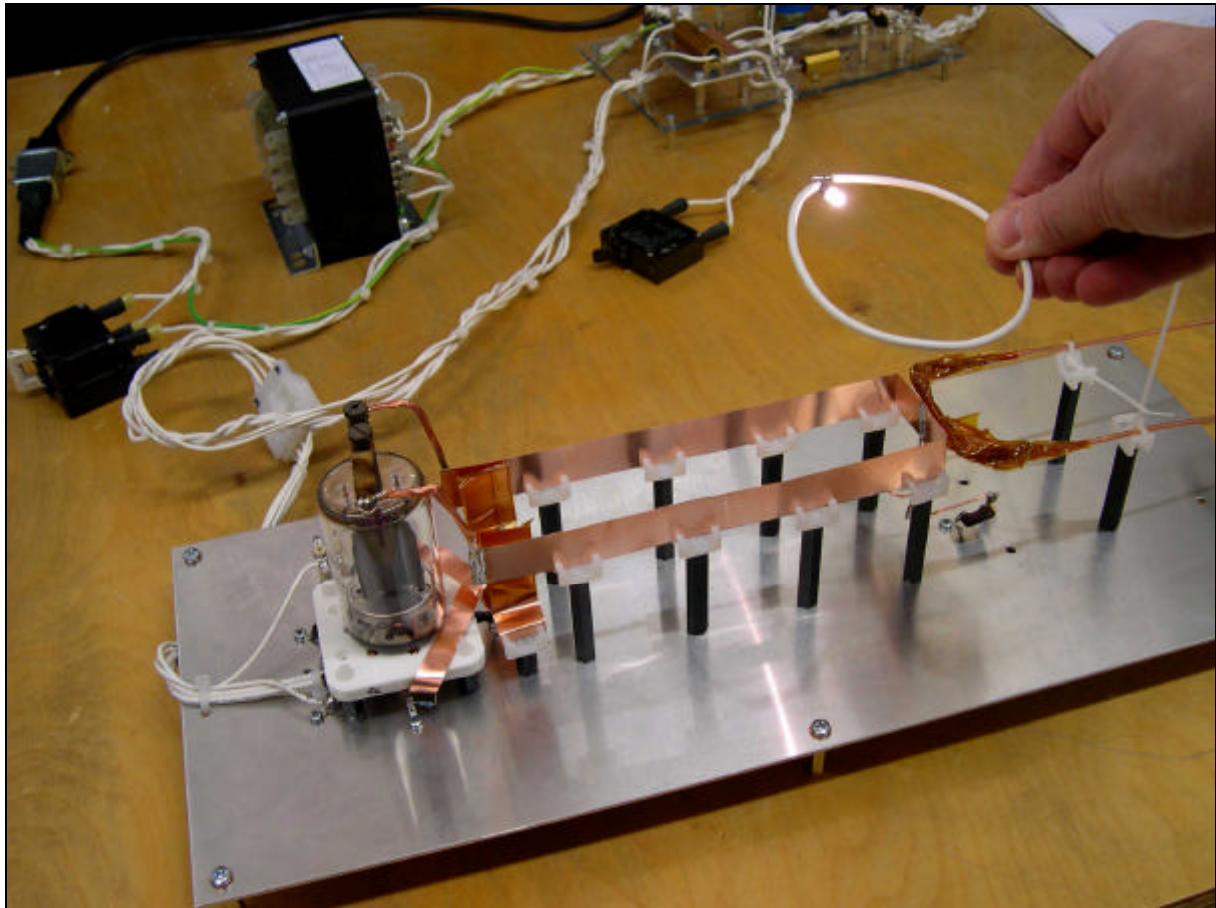
Die Grenzen des vorhandenen 140 MHz-Oszillators.

Der vorhandene Oszillator benutzte einen Lecherkreis als frequenzbestimmendes Element. Es zeigte sich, daß die Verkürzung des Lecherkreises über ein gewisses Maß hinaus keine proportionale Erhöhung der Frequenz mehr mit sich brachte. Die Anodenverlustleistung der Röhre stieg im Zuge der Verkürzung jedoch erheblich an. Im Verlauf der diesbezüglichen Experimente wurde sogar eine Röhre durch Überhitzung und daraus folgendes Zerspringen des Glaskörpers zerstört. Hierdurch ergab sich die schon erwähnte Maximalfrequenz von 140 MHz. Bei dieser Frequenz beginnen die Anodenbleche der Röhre gerade zu glühen.



Das Schaltbild des 140 MHz-Oszillators

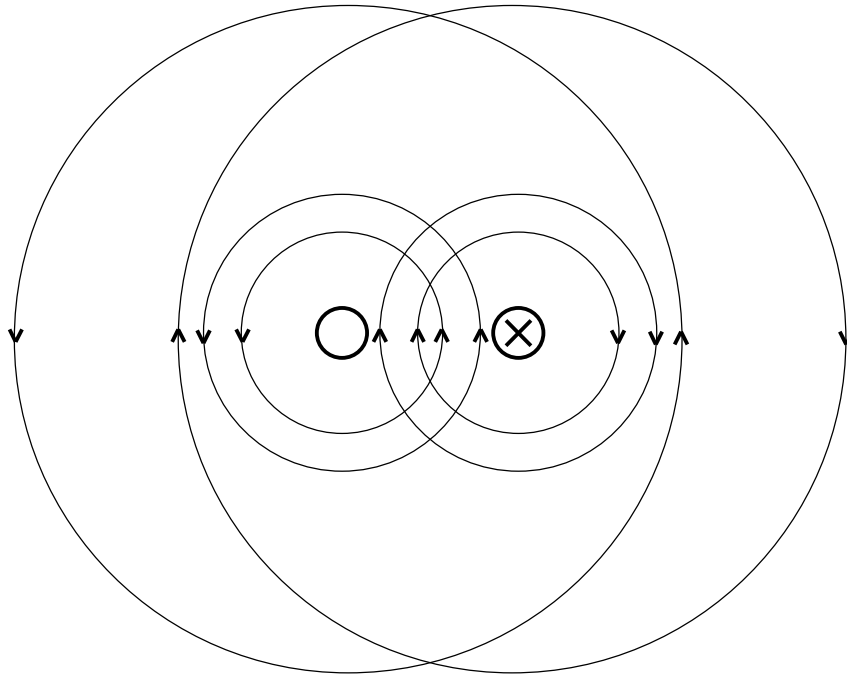
Dieser Effekt erklärt sich dadurch, daß die Lecherleitung an ihrem offenen Ende, in erster Linie durch die Kapazität der an dieses angeschlossenen Anodenbleche gegeneinander und zur Erde, mit einer Parallelkapazität belastet ist. Dies führt zu einer sogenannten „elektrischen Verlängerung“ der Lecherleitung. Die Resonanzfrequenz der „elektrisch verlängerten“ Lecherleitung ist somit geringer, als sie sich aus der geometrischen Länge der Lecherleitung ergeben würde. Mit anderen Worten: Eine Lecherleitung, die an ihrem offenen Ende mit einer Kapazität belastet wird, erscheint von ihrer Resonanzfrequenz her wie eine geometrisch längere Lecherleitung. Wie noch im Detail gezeigt wird, führt ein geometrisches Verkürzen der „elektrisch verlängerten“ Lecherleitung zu einer deutlichen Verringerung ihrer Impedanz.



Der 140 MHz-Oszillator aus dem Vorsemester

Bei einer idealen, unbelasteten, Lecherleitung ist die Impedanz der Lecherleitung von ihrer Länge unabhängig. Sie steigt mit dem Abstand der beiden Leiter, da eine Erhöhung des Abstands zu einer geringeren Kapazität und einer gleichzeitig eine erhöhten Induktivität führt. Eine Vergrößerung der Fläche der Leiter führt zu einer Verringerung der Impedanz, da mit ihr die Kapazität zwischen den Leitungen zunimmt.

Es soll noch begründet werden, warum die Induktivität mit steigendem Abstand der Leiter größer wird: Das folgende Bild zeigt, in vereinfachter Form, den Hin- und den Rückleiter der Lecherleitung mit den sie umgebenden magnetischen Feldlinien:



Prinzipdarstellung des Magnetfelds an der Lecherleitung

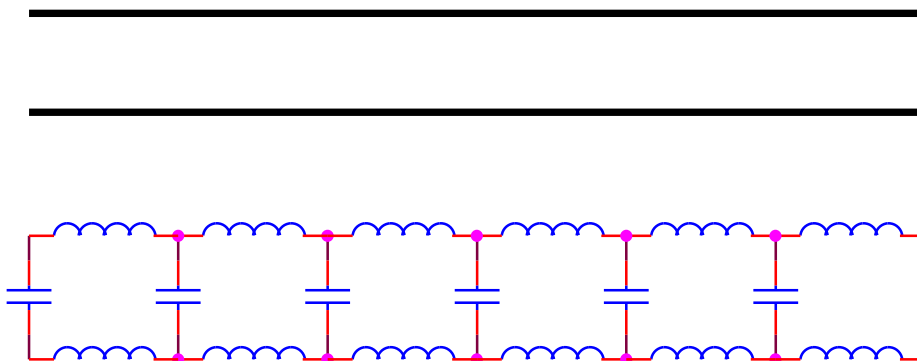
Die Ströme in Hin- und Rückleiter sind prinzipbedingt entgegengesetzt. Man erkennt, daß magnetischen Felder beider Leiter im Bereich zwischen diesen gleich gerichtet sind, während sie im Außenbereich entgegengesetzt gerichtet sind. In einigem Abstand vom Lecherkreis kompensieren sich die Magnetfelder nahezu vollständig.

Vereinfacht kann man (bei zweidimensionaler Betrachtung) annehmen, daß sich nur im Innenraum des Lecherkreises ein magnetischer Fluß befindet, während der Außenbereich feldfrei ist. Das bedeutet in der Konsequenz, daß der insgesamt vom in der Lecherleitung fließenden Strom erzeugte magnetische Fluß umso größer ist, je größer die eingeschlossene Fläche, also bei gegebener Länge der Abstand, zwischen den Leitern ist. Der pro Stromeinheit erzeugte magnetische Fluß einer Anordnung ist per Definition die Induktivität dieser Anordnung. Dies erkennt man auch sofort an der Definition der Einheit für die Induktivität, das Henry:

$$1 \text{ H} = 1 \text{ Vs} / \text{A}$$

Es soll nun begründet werden, warum die Impedanz einer (unbelasteten) Lecherleitung unabhängig von deren Länge ist:

Das folgende Bild zeigt das Ersatzschaltbild einer idealen Lecherleitung:



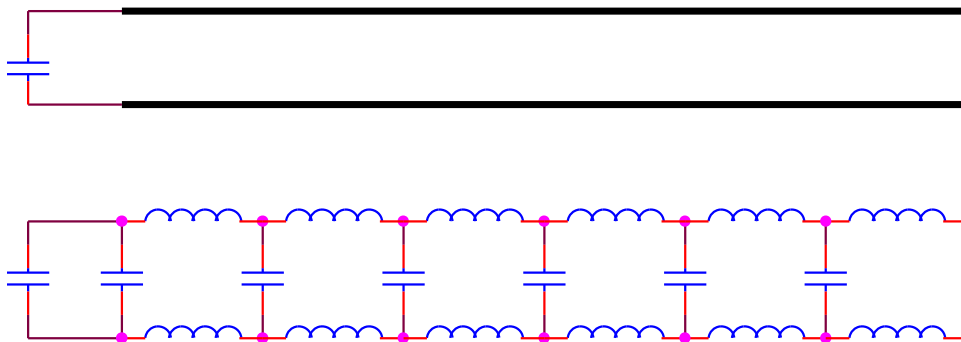
Ersatzschaltbild einer Lecherleitung

Da es sich in der Realität um „verteilte Bauelemente“ handelt kommt dieses Ersatzschaltbild der Realität umso näher, je kleiner man die Werte für die einzelnen Kapazitäten und Induktivitäten wählt und je mehr von diesen man dann im Ersatzschaltbild vorsieht.

Aus dem Ersatzschaltbild ist sofort zu erkennen, daß das Verhältnis von Kapazität (C) und Induktivität (L) unabhängig von der Länge der Lecherleitung ist.

Die Impedanz (bzw. der Wellenwiderstand) der Lecherleitung wird durch deren L/C-Verhältnis bestimmt. Eine kleine Induktivität bei großer Kapazität bedeutet, daß im Resonanzfall bei kleinen Spannungen hohe Ströme fließen, die Impedanz ist also gering. Große Induktivitäten bei kleinen Kapazitäten führen hingegen zu hohen Spannungen und kleinen Strömen, die Impedanz ist also hoch.

Durch die Kapazität der an die Lecherleitungen angeschlossenen Anoden wird, wie das folgende Ersatzschaltbild zeigt, das Verhältnis von Kapazität und Induktivität der Lecherleitung verändert:



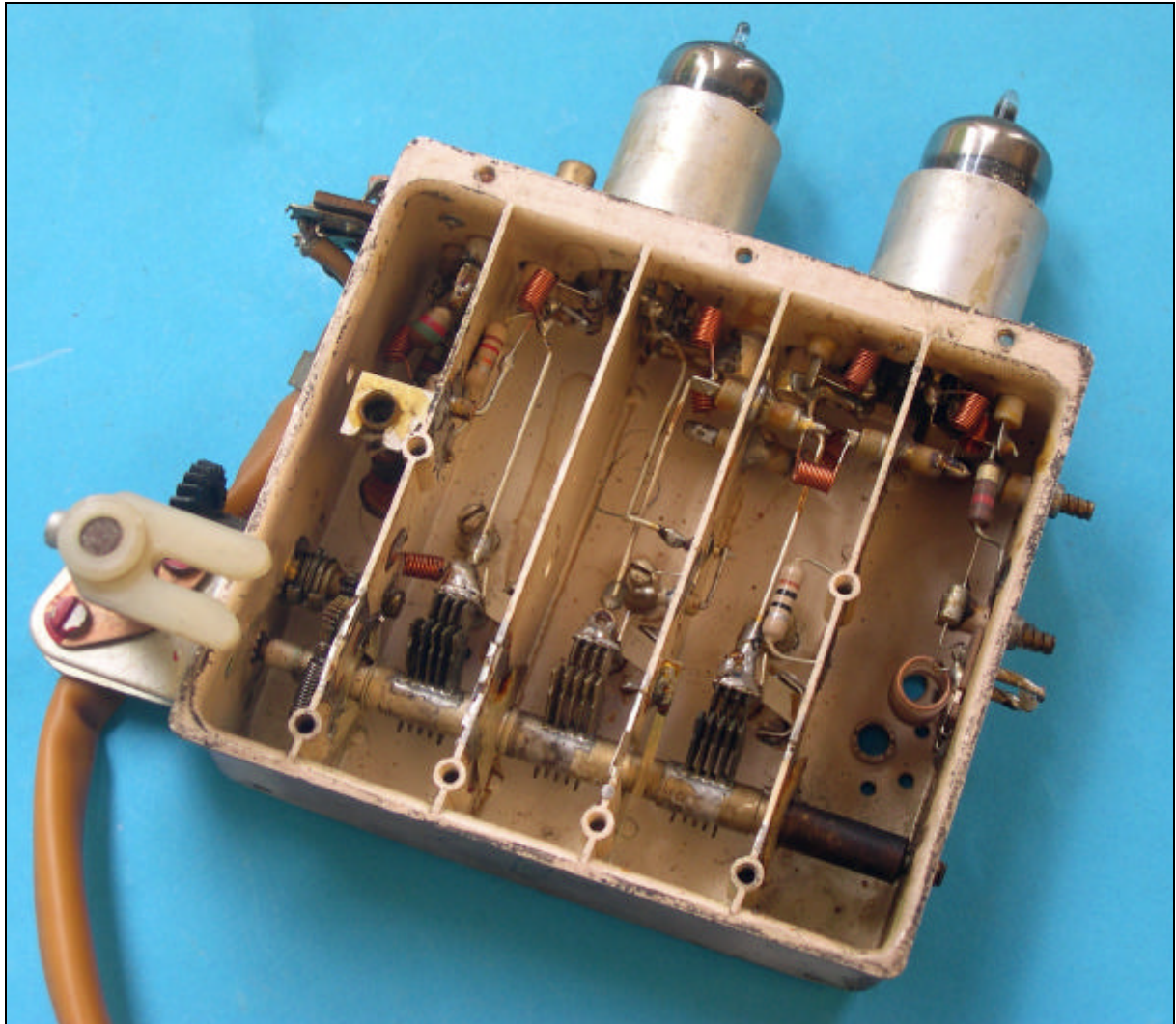
Man erkennt, daß ein Verkürzen der Lecherleitung zu einem immer stärkeren Einfluß der externen Kapazität auf das L/C-Verhältnis und damit die Impedanz hat. Je mehr man die kapazitiv belastete Lecherleitung verkürzt, desto stärker sinkt deren Impedanz.

In der besprochenen Oszillatorschaltung ist die Lecherleitung der Arbeitswiderstand der beiden Röhrensysteme der Oszillatordröhre. Eine Verringerung der Impedanz dieser Lecherleitung durch deren Verkürzung führt somit zu einer zunehmenden Fehlanpassung, die dann zu einer überhöhten Anodenverlustleistung führt.

Die Kapazität der Anoden führt dazu, daß bei Verkürzung der Lecherleitung die Schwingfrequenz auf einem „zu niedrigen“ Wert „festgehalten“ wird. Die induktive Komponente des Lecherkreises nimmt jedoch proportional zu dessen geometrischer Länge ab. Das bedeutet, daß der Spannungsabfall am Lecherkreis mit steigender Frequenz abnimmt, womit die Anodenspannung bei Durchsteuerung der Röhre nicht mehr so weit absinkt. Daraus resultiert dann die „zu hohe“ Anodenverlustleistung.

Die Verringerung der Impedanz mit zunehmender Verkürzung der Lecherleitung kann man auch sehr gut daran erkennen, daß bei Verkürzung der Leitung in deren Nähe gebrachte Leiterschleifen mit eingebauten Glühlämpchen immer helleres Aufleuchten zeigen, während in die Nähe der Anoden gebrachte Leuchtstoffröhren dann nicht mehr so hell leuchten. Die Verstärkung des magnetischen Feldes bei gleichzeitiger Abschwächung des elektrischen Feldes ist so unmittelbar zu erkennen.

Die Möglichkeit, die „elektrische Länge“ einer Lecherleitung durch Variation einer an diese angeschlossene Kapazität zu verändern wurde früher zur Abstimmung von UHF-Tunern in Fernsehgeräten benutzt. Am offenen Ende des Lecherkreises befindet sich hierzu ein Drehkondensator.



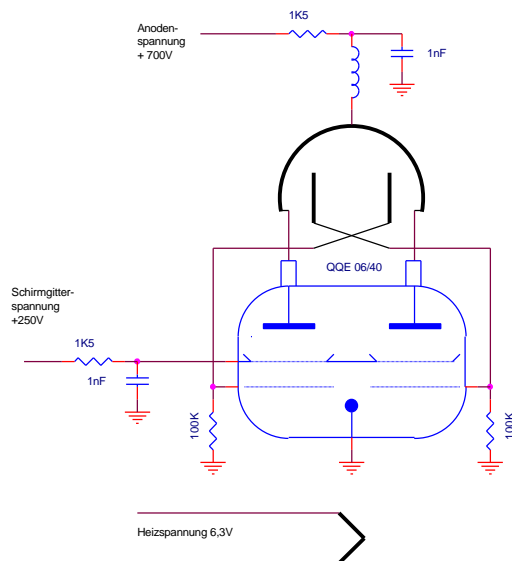
UHF-Tuner aus einem Loewe-Opta-Fernsehgerät aus dem Jahr 1961 mit durch elektrische Verlängerung abstimmbaren Lecherkreisen

Noch eine Anmerkung: Auf dem obigen Bild sucht man vergebens nach dem zweiten Leiter des Lecherkreises. Dieser wird hier durch die Außenwände des Abschirmgehäuses ersetzt, es handelt sich um einen sogenannten „Topfkreis“

Die Realisierung.

Die Modifikation der Lecherleitung und der Schaltung

Die Schaltung des 140 MHz-Oszillators wurde nahezu unverändert beibehalten. Die Gestalt der Lecherleitung wurde jedoch, wie im Folgenden beschrieben, verändert. Ein neu hinzugekommener Widerstand in der Anodenzuleitung übernimmt einen Teil der Verlustleistung, der sonst an den Anoden der Röhre auftreten würde. Die Koppelkapazitäten wurden gegenüber dem 140 MHz-Oszillator verkleinert.

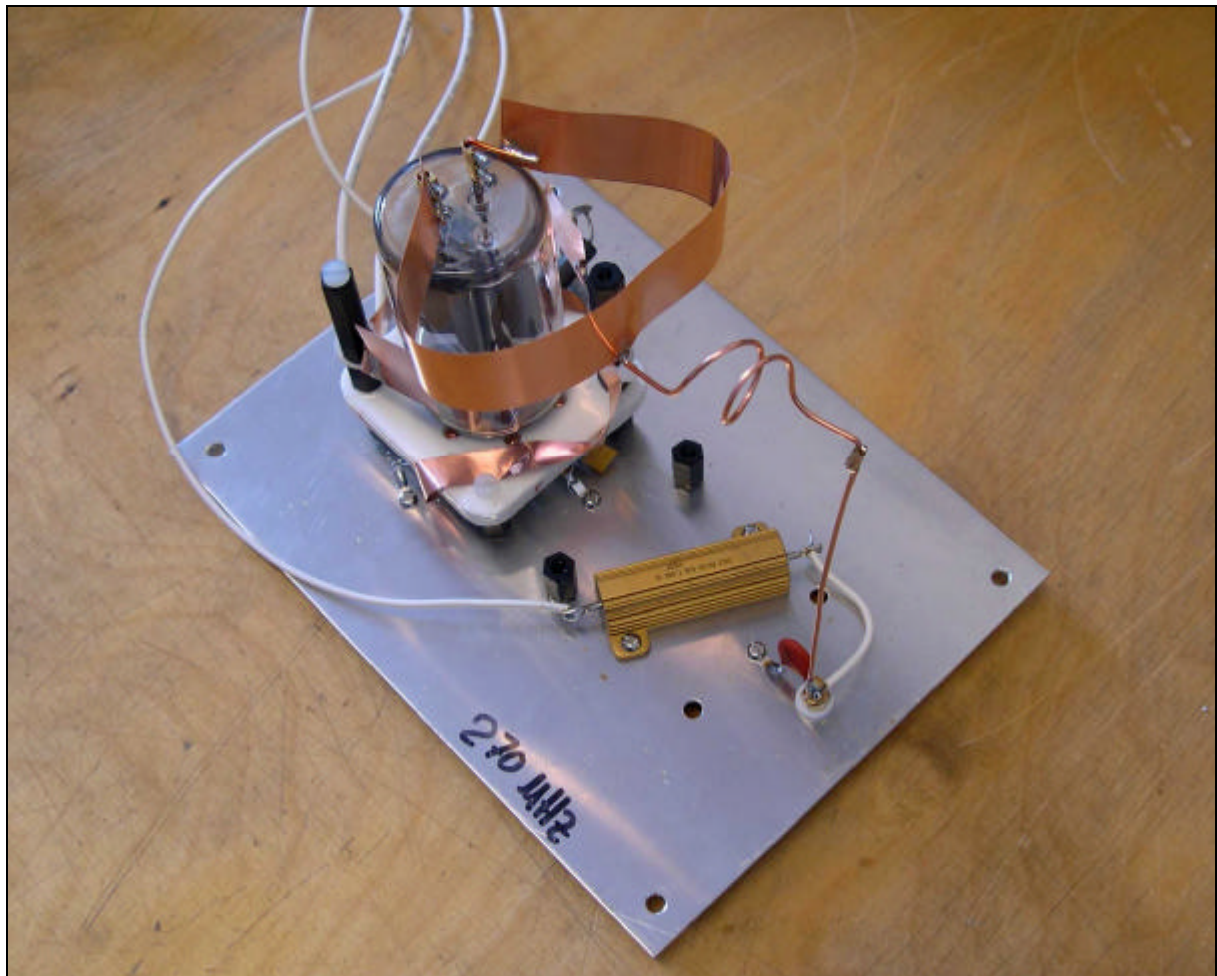


Das Schaltbild des 270 MHz-Oszillators

Anstelle der herkömmlichen Ausführung der Lecherleitung mit parallelen Leitern wurden die Leiter nun kreisförmig aufgebogen. Damit wurde sowohl die Kapazität zwischen den Leitern minimiert als auch die von ihnen eingeschlossene Fläche, entsprechend der Induktivität der Anordnung, maximiert. Dadurch konnte die Länge der Leiter bei noch hinreichend hoher Impedanz soweit verkürzt werden, daß sich bei noch akzeptabler Anodenverlustleistung eine Schwingfrequenz von 270 MHz realisieren ließ. Die hierbei erzielte HF-Leistung liegt in der Größenordnung von 20W.

Man kann diese Modifikation durchaus auch als einen „Schritt zurück“ zum herkömmlichen Schwingkreis mit verteilten Bauelementen ansehen, denn der somit entstandene, modifizierte, Lecherkreis ist im Prinzip eine Luftspule mit einer Windung, während der Kondensator des Schwingkreises durch die Anodenkapazität gebildet wird.

Das folgende Bild zeigt die Ansicht des fertiggestellten Oszillators:



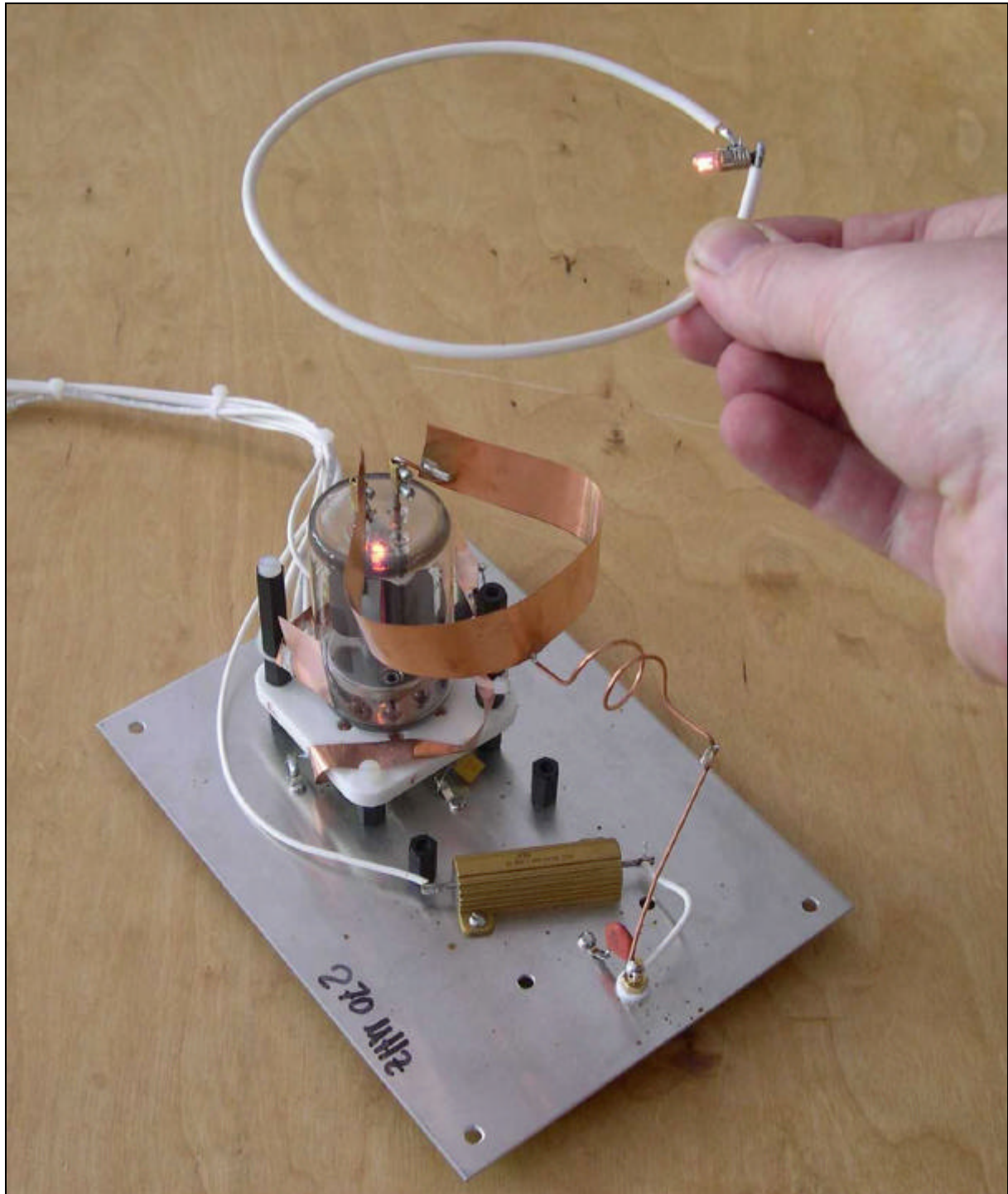
Der 270 MHz-Oszillator

Die Ergebnisse.

Das Verhalten des 270 MHz-Oszillators.

Wie schon erwähnt, schwingt der Oszillator auf einer Frequenz von 270 MHz, entsprechend einer Wellenlänge von 1,10m, und gibt ungefähr 20W HF-Leistung ab.

Das Magnetfeld im Nahbereich ist erwartungsgemäß deutlich stärker als beim 140 MHz-Oszillator, während das elektrische Feld im Nahbereich deutlich schwächer als beim 140 MHz-Oszillator ist.



Nachweis des magnetischen Feldes im Nahbereich

Die Grenzen des verwendeten Oszillatorprinzips.

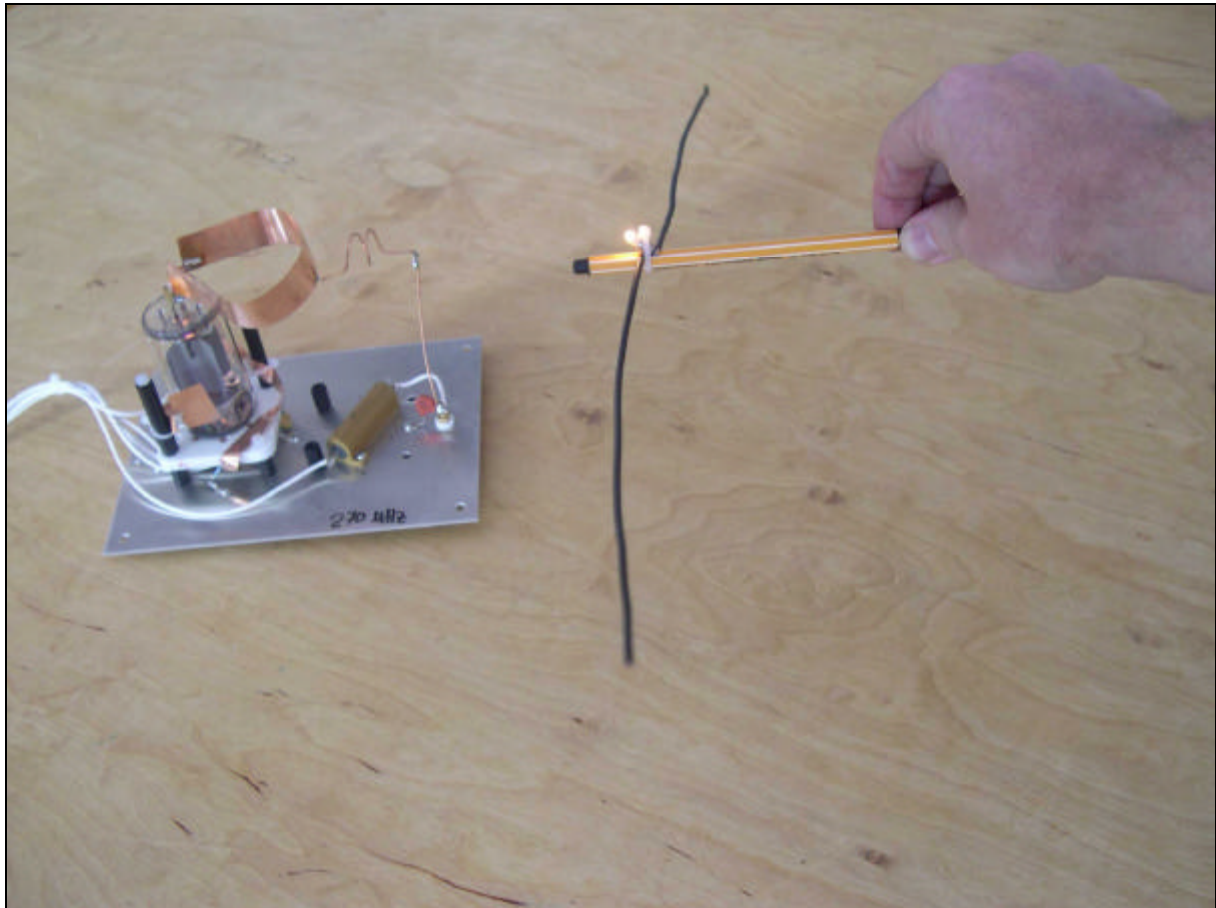
Im Verlauf der Experimente mit diesem Oszillator zeigte es sich, daß die Größenordnung 300 MHz eine für das verwendete Oszillatorprinzip nicht überwindbare „Schallmauer“ darstellt. Die „hochohmige“ Ansteuerung der Gitter mittels einer massebezogenen Steuerspannung führt zu einer mit der Schwingfrequenz des Oszillators größer werdenden kapazitiven Belastung des Schwingkreises, da der Blindwiderstand der (rein kapazitiven) Gitter-Kathoden Strecke mit zunehmender Frequenz abnimmt. Um noch eine ausreichende Steuerspannung zu erhalten müssen bei zunehmender Frequenz immer größere Blindströme über die Gitter-Kathoden-Strecke fließen. Gleichzeitig nimmt aber die Spannungsamplitude am Schwingkreis mit zunehmender Frequenz ab. Man kann also die Koppelkondensatoren vom Schwingkreis zu den Gittern nicht proportional mit der gewünschten Frequenz verkleinern. Die Kapazität der Koppelkondensatoren begrenzt gleichzeitig die mögliche Resonanzfrequenz des Schwingkreises.

Die Verwendung der Spannung als Ansteuergröße "paßt nicht" zu den mit zunehmender Frequenz abnehmenden Blindwiderständen innerhalb der Oszillatorschaltung. Im weiteren Verlauf dieses Projekts wurden dann völlig andersartige, neue Wege gefunden, mit denen dann erfolgreich die 1GHz-Grenze überschritten wurde.

Weitere Experimente mit dem 270 MHz-Oszillator.

Empfang der vom Oszillator abgestrahlten HF-Energie mit einem Dipol

Auch noch in ca., 40 cm Entfernung vom Oszillator leuchtet eine mittig in einem Lambda/2-Dipol (Dipollänge= 55cm) angebrachtes Lämpchen hell auf. Die gerichtete Abstrahlung des Resonators und die Polarisation des Feldes ist gut zu erkennen. Die Helligkeit der Lampe hängt stark von der Ausrichtung und der Lage des Dipols ab.



Empfang der vom Oszillator abgestrahlten HF-Energie mit einem Lambda/4-Dipol