

Tesla Trafo

(Stand 14.05.2015)

1. Vergleich des Tesla-Trafo mit einem Netz-Trafo

Tesla-Trafo



- > grosse, offene Bauform
- > kleine Leistungsdichte
- > lose Kopplung
- > einlagige Luftspulen

Der Tesla-Trafo **nutzt Resonanzgesetze** zur Transformation der Spannung

Netztrafo



- > kompakte Bauform
- > grosse Leistungsdichte
- > Eisenkern, magnetische Kopplung
- > enge, mehrlagige Spulen

Der Netztrafo **nutzt die magnetische Kopplung** von Spulen zur Übertragung der Spannung

Betrachten wir zunächst einmal einen herkömmlichen Netztrafo, der übrigens auch auf dem von Tesla eingeführten Wechselstromsystem basiert. Er ist ein sehr kompaktes Bauteil, das große Leistungen auf kleinem Raum übertragen kann. Als auffälligstes Merkmal sticht natürlich sofort der große und schwere Eisenkern heraus, der den Großteil des Volumens einnimmt. Im weiteren besitzt der Netztrafo kompakte Spulen, die auf kleinem Raum verdichtet und mehrlagig gewickelt sind.

Im Gegensatz dazu sieht ein Tesla-Trafo völlig anders aus. Er ist leicht und groß gebaut. Die Leistungsdichte ist nicht so hoch wie beim Netztrafo. Auffällig ist zudem, dass es keinen Eisenkern gibt und die Spulen nur lose miteinander gekoppelt sind. Weiter sind die Spulen, oder zumindest die Sekundärspule sehr groß und immer einlagig gewickelt.

Dadurch ist auch ganz klar, dass die grundsätzliche Funktion dieser beiden Transformationsverfahren ganz unterschiedlichen sein müssen.

Der Netztrafo wandelt mit Hilfe der Primärspule die elektrische Energie zunächst in magnetische Energie um. Zur Weiterleitung dieser magnetischen Energie benötigt er unbedingt die großen Eisenmengen. Da Eisen nur bis zu einem gewissen Punkt magnetisch belastet werden kann, werden sehr große Mengen benötigt, was einen Netztrafo zu einem sehr schweren Bauteil macht.

Die eigentliche Transformation, d.h. die Änderung des Spannungs- bzw. Stromniveaus ist

nur ein Nebeneffekt, der aus der Umsetzung in die magnetische Energieebene herrührt. Bei der Rückverwandlung der magnetischen Energie in elektrische wird normalerweise eine andere Windungszahl verwendet. Eine höhere Windungszahl bewirkt, dass eine höhere Spannung bei geringerem Strom entsteht, eine niedrigere Windungszahl führt zu einer geringeren Spannung bei höheren Strom.

Durch dieses Verfahren, ist der Ausgang relativ fest mit dem Eingang verkoppelt. Jede Änderung am Ausgang wirkt sich sofort auf den Eingang aus. Man sagt der Trafo besitzt ein spannungssteifes Verhalten. Ein Kurzschluss an der Sekundärwicklung lässt auch die Primärwicklung wie eine kurzgeschlossene Spule erscheinen.

Dieses Verhalten ist über einen weiten Frequenzbereich vorhanden, so dass ein Trafo immer breitbandig ist. Die Grenzfrequenz wird nur vom verwendeten Magnetmaterial bestimmt und liegt im Allgemeinen im unteren Frequenzbereich.

Ganz im Gegensatz dazu ist **beim Tesla-Trafo nur eine sehr lose Kopplung** der beiden Spulen vorhanden. Eine Transformation auf magnetischen Wege kann hier überhaupt nicht stattfinden. Die Sekundärspule ist besonders in ihrem oberen Teil überhaupt nicht magnetisch an die Primärspule gekoppelt.

Die **Sekundärspule ist in Realität ein Resonator**, der genau auf seiner Resonanzfrequenz betrieben werden muss. Das ist ein sehr wesentlicher Unterschied zum normalen Trafo. Der Tesla-Trafo hat daher eine fest vorgegebene Arbeitsfrequenz, die Resonanzfrequenz. Die eigentliche **Transformation** der Spannung wird nicht durch die Windungszahlen, sondern **durch geschickte Ausnutzung der Resonanzgesetze** hervorgerufen.

2. Konstruktionsdaten des verwendeten Tesla-Trafo

Mechanische Daten

- Sockel mit eingelassenem 4cm PVC-Rohr und 4 Stützen für Primärwicklung
- Länge der Sekundärspule 28 cm
- Oberes Ende der Sekundärspule mit einer 10cm-Aluminium-Kugel
- Unterer Abschluss der Sekundärspule mit einer 20 x 20 cm Alu-Erdplatte
- Hochspannungsgenerator besteht aus einem Zündtrafo 2 x 7.5 kV
- Funkenstrecke: 2 Winkel mit einstellbarer Schrauben (0.4 -0,8 cm Abstand)
- Kondensator: drei durch 2 mm Glasplatten isolierte Alufolien (ca. 3 x 600pF)

Spulendaten

- Sekundärspule: 596 Windungen / Kupferlackdraht mit 0.5 mm Durchmesser / auf 4cm PVC-Rohr.
- Primärspule: 10 Windungen / 1,5mm²-Draht / Durchmesser: 10 cm

Elektrische Daten

- Drahtlänge Sekundärspule: $4\text{cm} \times 3.14 \times 596 = 74.9\text{ m}$ (ist ca. $\lambda/4$)
- Frequenz der Sekundärspule: $4 \times \lambda/4 = 4 \times 74.9 = 299\text{m} \rightarrow$ ca. 1 MHz
- Geschätzte Kapazität zwischen Kugel und Erde: 15 pF

3. Berechnung des Tesla-Trafo

Damit ein Tesla-Trafo einwandfrei funktioniert, muss er (d.h. der Primär- und Sekundärkreis!) auf Resonanz arbeiten. Diese lässt sich wie folgt errechnen:

$$\text{Resonanzfrequenz } f = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

Dies ergibt für die Sekundärseite mit den Elementen $L = 1,5 \text{ mH}$ und $C = 15 \text{ pF}$ eine Frequenz von:

$$\begin{aligned} \text{Sekundärresonanz} &= \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \sqrt{1,5 \cdot 10^{-3} \text{ [1/s]} \cdot 15 \cdot 10^{-12} \text{ [1/s]}}} \\ &= \frac{1}{6,28 \cdot \sqrt{2,25 \cdot 10^{-14} \text{ [1/s}^2\text{]}}} \\ &= \frac{1}{9,969 \cdot 10^{-7} \text{ [1/s]}} \\ &= 0,10031 \cdot 10^7 \text{ [1/s]} \\ &= 1003,1 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Damit die Primärseite auf der gleichen Frequenz schwingt muss der Term unter der Wurzel $\sqrt{L \cdot C}$ gleichgross sein. Damit lässt sich für die geschätzte Primärinduktivität von $L = 0,015 \text{ mH}$ für den Primärkondensator folgende Grösse berechnen:

$$\begin{aligned} \text{Primärkondensator } C_p &= \frac{2,25 \cdot 10^{-14} \text{ [1/s}^2\text{]}}{0,015 \cdot 10^{-3} \text{ [1/s]}} \\ &= 150 \cdot 10^{-11} \text{ [1/s]} \\ &= 1500 \text{ pF bzw. } 1,5 \text{ nF} \end{aligned}$$

Bei Beginn des Schwingvorganges muss dem Kondensator eine möglichst hohe Energie abgegeben werden. Die Energie eines Kondensators wird wie folgt berechnet:

$$E_c = \frac{1}{2} \cdot C \cdot U^2$$

Wie die Formel zeigt, steigt die Energie im Quadrat mit der Spannung. Es ist daher vor allem wichtig, dass eine **möglichst hohe Spannung** angelegt wird. Dies lässt sich mit dem Abstand der **Funkenstrecke** einstellen.

Damit diese Energie beim Schwingen von der Spule optimal übernommen werden kann, müssen die Energiebedingungen einer Spule richtig interpretiert werden. Die Energie einer Spule wird wie folgt berechnet:

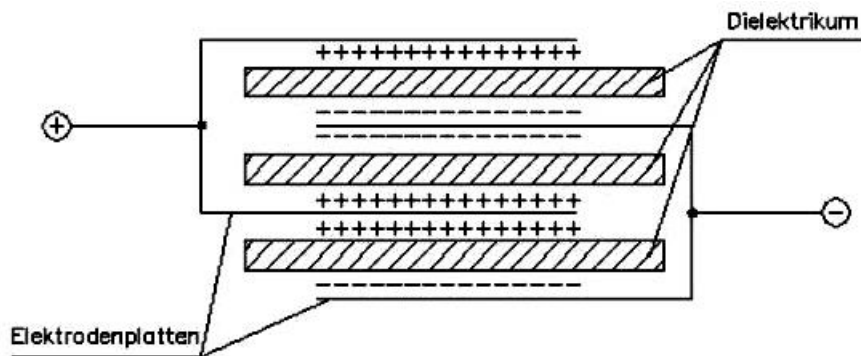
$$E_s = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2$$

Wie die Formel zeigt, steigt hier die Energie im Quadrat mit dem Strom. Es ist daher äusserst wichtig, dass ein **hoher Strom durch die Spule** fließen kann. Dies lässt sich mit einem grossen Leiterquerschnitt der Primärspule und kleinen Zuleitungswiderständen erreichen.

4. Bau des Hochspannungskondensators

Die Erstellung eines variablen Primärkondensators mit einer Kapazität von einigen nF und einer Spannungsfestigkeit von ca. 30 kVolt war eine kleinere Herausforderung, da variable Luftkondensatoren von alten Radios nur ca. 2 kV Durchschlagsspannung besitzen und Keramik-kondensatoren nur bis zu 10 kVolt aushalten.

Die einfachste Art, einen solchen spannungsfesten und relativ leicht zu verändernden Kondensator zu bauen, war eine mehrschichtige Plattenkondensator-Konstruktion mit Glasisolationen.



Die Kapazität eines solchen Kondensators lässt sich zudem mit der folgenden Formel relativ einfach berechnen:

$$C = \epsilon_0 * \epsilon_r * A / D$$

Darin bedeuten:

ϵ_0 = elektr. Feldkonstante des Vakuums ($\approx 8,85187 \cdot 10^{-12}$ x As/Vm)

ϵ_r = rel. Permittibilität des verwendeten Dielektrikums. Gibt den **Faktor** an, um den die Spannung an einem Kondensator sinkt, wenn man bei gleicher Geometrie ein zwischen den Kondensator-elektroden angenommenes Vakuum durch ein dielektrisches, nicht leitendes Material ersetzt.

A = Fläche (\rightarrow cm²)

D = Plattenabstand (\rightarrow cm)

Permittibilitäten:

Luft:	1	PVC:	2	Papier:	1 - 4
Acryl:	4.3	Glas:	6 ...8	Polystyrol:	1.03

Berechnungsbeispiel:

Glaskondensator mit A = 1cm², D = 2 mm:

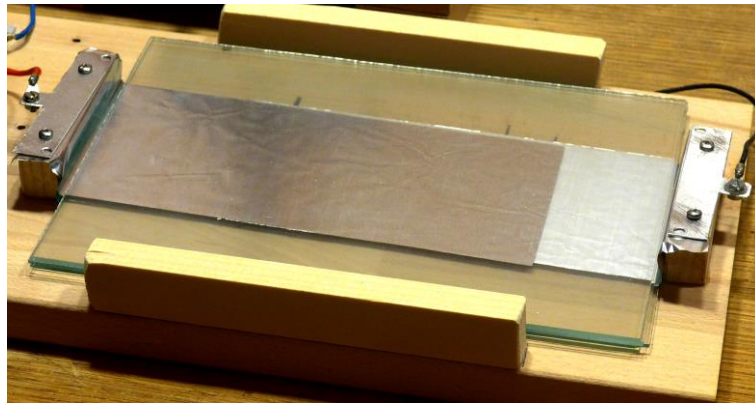
$$C = \frac{8.8 * 10^{-12} [\text{As/Vm}] * 8 [1] * 10^{-4} [\text{mm}] / 2 * 10^{-3} [\text{m}]}{8.8 * 0.5 * 10^{-13} * 8 [\text{Asmm/Vmm}]}$$

$$35 * 10^{-13} \text{ F}$$

$$3,5 \text{ pF}$$

Der benötigte Primärkondensator von 1500 pF konnte mittels 3 Aluschichten, einer Überdeckungsfläche von je 150 cm² und dazwischenliegenden Glasisolationen von je 2 mm realisiert werden. Die

verwendeten Glasplatten ragen aus Überspannungsgründen auf allen Seiten mindestens 5 cm über die Aluschichten hinaus.

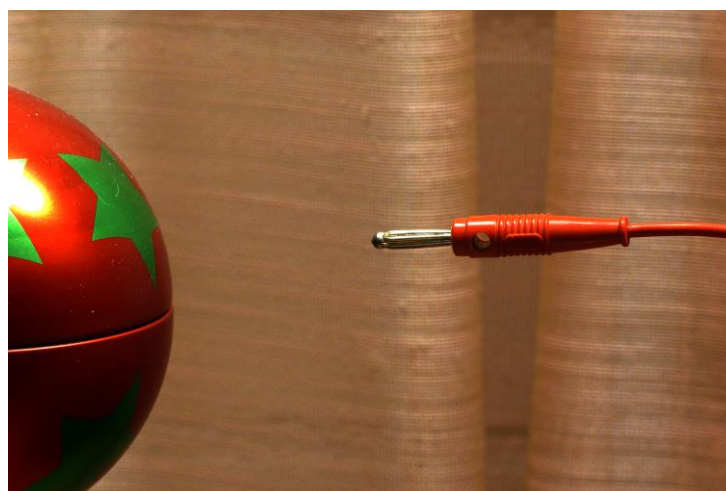


Da dieser Kondensator leider sehr viel Platz braucht, wurde nach einer anwenderfreundlicheren Möglichkeit gesucht. Nachforschungen zeigten, dass diese Kapazität auch mit handelsüblichen Polypropylen-Kondensatoren aufgebaut werden kann, welche seriegelagert sind. Solche Kondensatoren weisen eine garantierte Durchschlagsfestigkeit von 1 bis 1,5 kVolt auf, womit zur Erreichung der 30 kVolt mindestens 20 in Serie geschaltet werden müssen.

Bei der nächsten Version soll diese Variante gewählt werden. Der gewünschte Kondensator von ca. 1,5 nF liesse sich damit elegant mittels 20 in Serie geschalteten 33 nF Kondensatoren mit 1,5 kVolt aufbauen. Eine abstimmbare Kondensatorbox könnte durch mehrere kleinere schaltbare Zweige zusammengebaut werden. Damit die Kondensatoren den benötigten Entladestrom ohne Schaden abgeben können, müssen impulsstarke Typen verwendet werden.

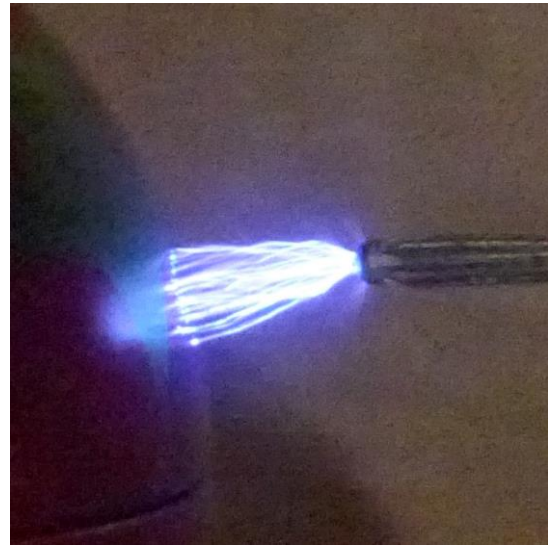
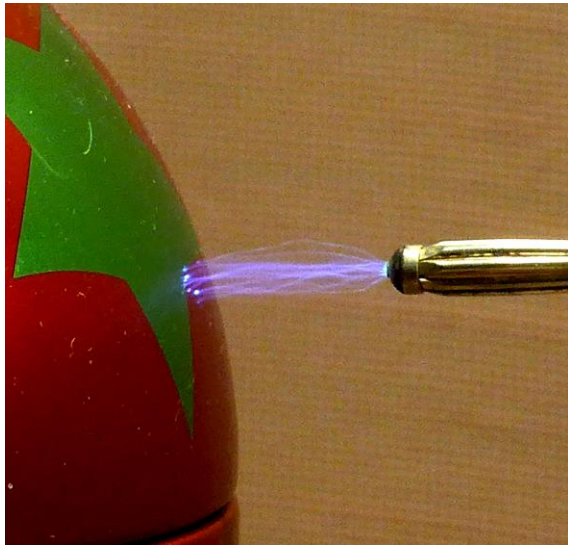
5. erste Versuche mit direkter Entladung

Es wird folgender Versuchsaufbau verwendet:

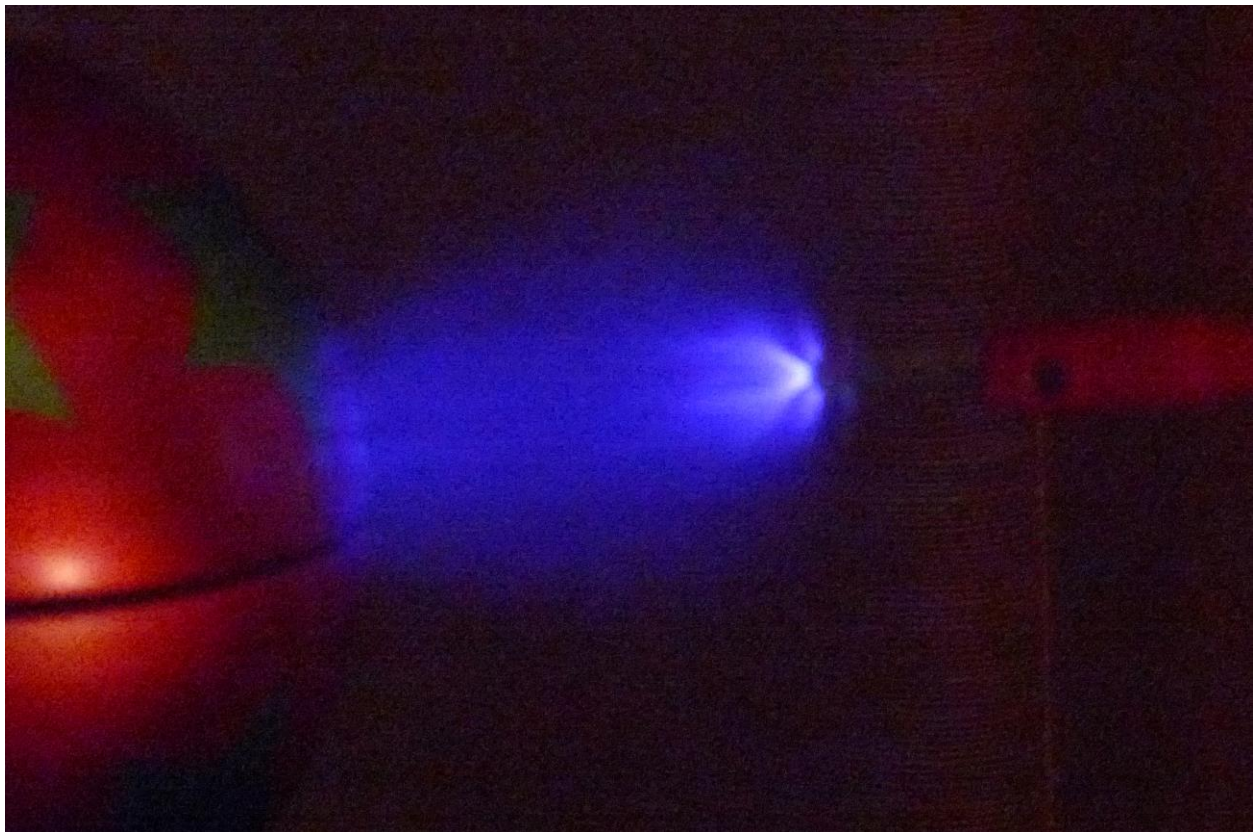


Bei kleineren Distanzen (im Beispiel 2 cm) wird der Zwischenraum wegen der hohen Feldstärke so stark ionisiert, dass **direkte Entladungsblitze** entstehen. Diese Blitze sind in Realität direkte Entladungen des Schwingkreis Kondensators, da die Durchschlagsfestigkeit wegen dem reduzierten Abstand zwischen Kugel und Bananenstecker zu klein geworden

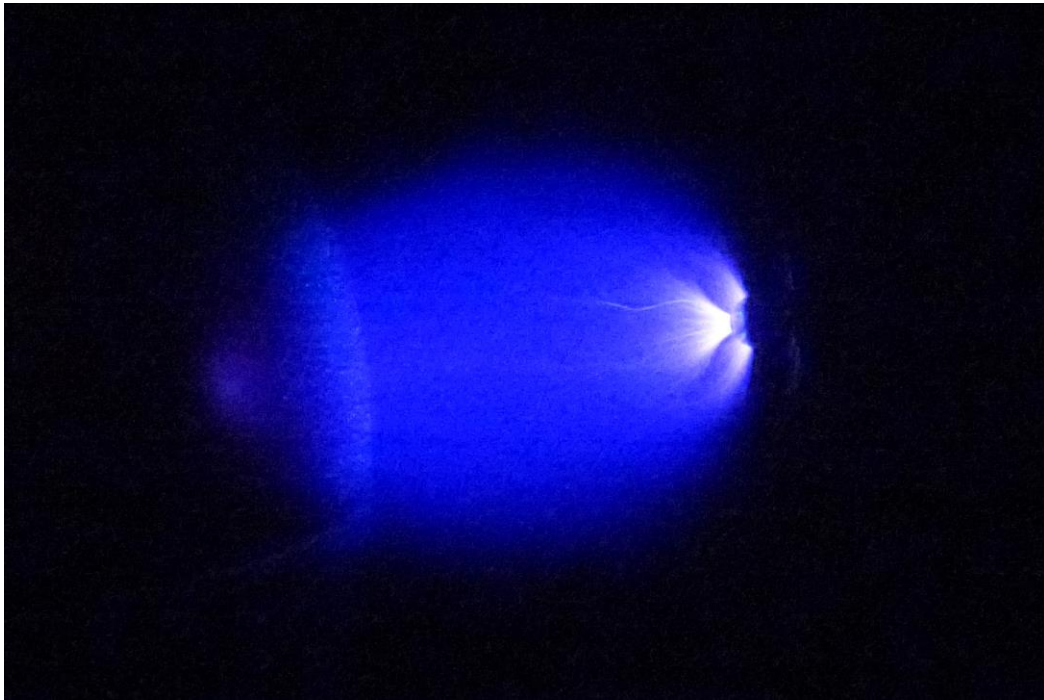
ist. Die Entladungen erfolgen im Takt der Funkenstrecke (50Hz) und reduzieren die Ausgangsspannung des Trafos erheblich.



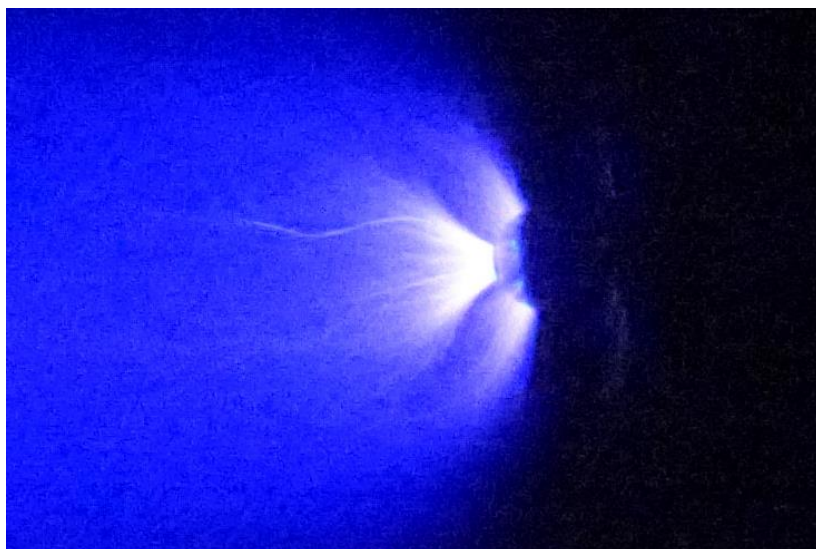
Bei grösserer Distanz (grösser als 6,5 cm) wird die Feldstärke schwächer, so dass keine direkten Entladungsblitze mehr entstehen können. Die Feldstärke bleibt aber im Bereich der relativ kleinen Bananenstecker-Spitze weiterhin so hoch, dass **züngelnde Teilblitze** entstehen. Im Raum zwischen den beiden Polen gibt's nun eine blau schimmernde hochfrequente Entladungswolke (1 MHz).



Bei etwas dunklerer Umgebung sieht diese Entladungswolke noch viel imposanter aus

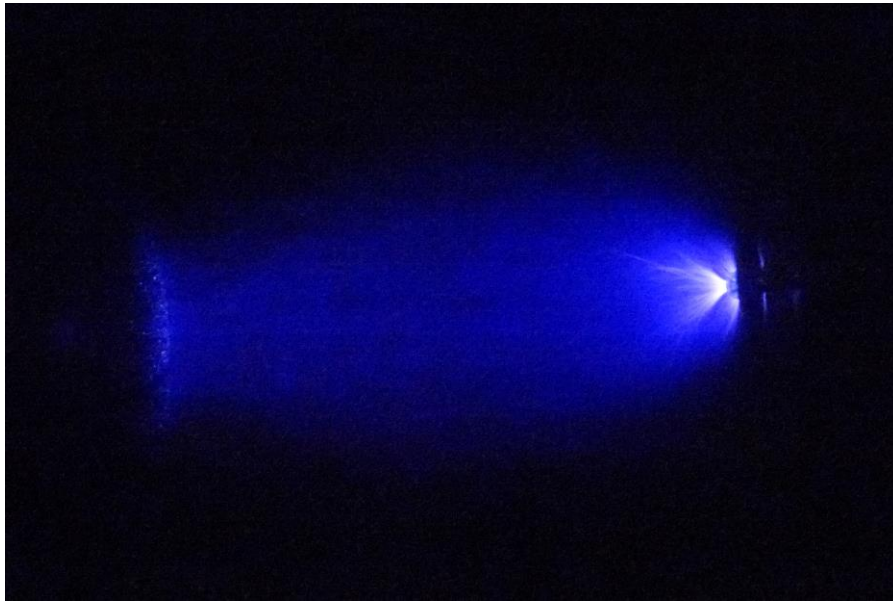


An der Kugeloberfläche zeigt sich eine gleichmässige Verteilung der Feldstärke. Diese Feldstärke ist zu klein um den Raum vollständig zu ionisieren. Beim Bananenstecker wird die Feldstärke hingegen am vorderen Ende sehr stark konzentriert und führt an Unregelmässigkeiten der Oberfläche zu Feldstärkebündelungen und stark ionisierten Zonen über welche züngelnde, flammenförmigen Entladungsblitze laufen. Das ganze Phänomen erzeugt keine merkbaren Geräusche.



Da wir es hier mit hochfrequenten Schwingungen zu tun haben, existiert auch kein festlegbarer Fluss von einer Seite zur anderen. Die Entladungsblitze können je nach der momentanen Polarität von und zu der Spitze des Bananensteckers zünden.

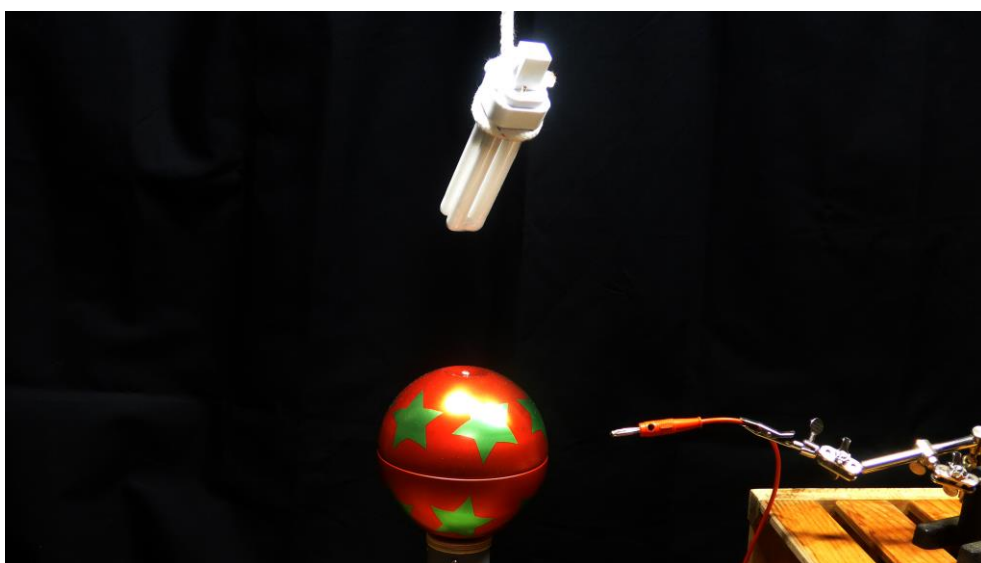
Der zwischen den Polen liegende Raum leuchtet wegen der Ionisierung leicht blau auf. Beim Vergrössern des Abstandes nimmt diese blaue Wolke immer mehr die Form eines Schlauches an und bläst langsam ab.



Bei grossen Distanzen (d.h. mehr als 15 cm) wird die Feldstärke im Raum zwischen dem Pol und dem Bananenstecker so klein, dass die Luftteile nur noch leicht bis gar nicht mehr ionisiert werden und die blaue Wolke mehr oder weniger verschwindet. In diesem Fall zeigt einzig ein kleines Feuer an der Bananensteckerspitze, dass immer noch ein Feld existiert.

6. Versuche mit Sparlampen

Mit dem folgenden Versuchsaufbau wird das Flackern von Sparlampen untersucht:



Streift eine Sparlampe das mit der Resonanzfrequenz schwingende Feld des Tesla-Trafo, so beginnt sie zu flackern. Die Flackerstärke hängt direkt vom Abstand der Lampe zum kugelförmigen oberen Pol des Tesla-Trafos ab. Die Flackerfrequenz ist das direkte Abbild

des Schwankens der Funkenstrecke und das Leuchten erfolgt in der Resonanzfrequenz des Tesla-Trafos (ca. 1 MHz).

Bei gleichzeitiger, direkter Entladungen des Schwingkreiskondensators mittels Entladungsblitzen zwischen dem geerdeten Bananenstecker und dem Pol (siehe auch Versuch 5) wird das Feld des Tesla-Trafos und die Ausgangsspannung reduziert, womit sich auch die Helligkeit der Sparlampe erheblich abschwächt.



Da bei Resonanz eines Schwingkreises die Spannung an den Elementen am höchsten ist, kann mit dieser Methode elegant die Resonanzfrequenz des Tesla-Trafos bestimmt bzw. eingestellt werden. Als Parameter dient die bei Flackerbeginn gemessene Distanz zwischen Pol und Sparlampe. Hier die gefundenen Messergebnisse:

<i>Abstand Pol - Lampe</i>	<i>Kondensator</i>	<i>mit Radio gemessene Frequenz</i>
34 cm	2448 pF	980 kHz
40 cm	1836 pF	1080 kHz
37 cm	1224 pF	1180 kHz
34 cm	612 pF	1230 kHz

Der Versuch zeigt anhand der Spannungsüberhöhung, dass die Resonanzfrequenz bei ca. 1080 kHz liegen muss und dass dazu eine Kapazität von ca. 1800 pF nötig ist.

7. Einfluss des primären Schleifenwiderstand

Im Abschnitt 4 wurde anhand der Energieformeln festgestellt, dass die von der Spule aufgenommene Energie im Quadrat mit dem Spulenstrom steigt. Um dies zu belegen wird mit der eben verwendeten Schaltung die Resonanzspannung bei verschiedenen Schleifenwiderständen gemessen. Hier die gefundenen Messwerte:

<i>Primärschleife</i>	<i>Flackerdistanz</i>	<i>geschätzter Spitzenstrom</i>
0,5 Ohm (normal)	42 cm	95 kA (100%)
1,5 Ohm	40cm	15,8 kA (12%)

5,5 Ohm	32 cm	3,6 kA (4%)
10 Ohm	30 cm	1,8 kA (2%)

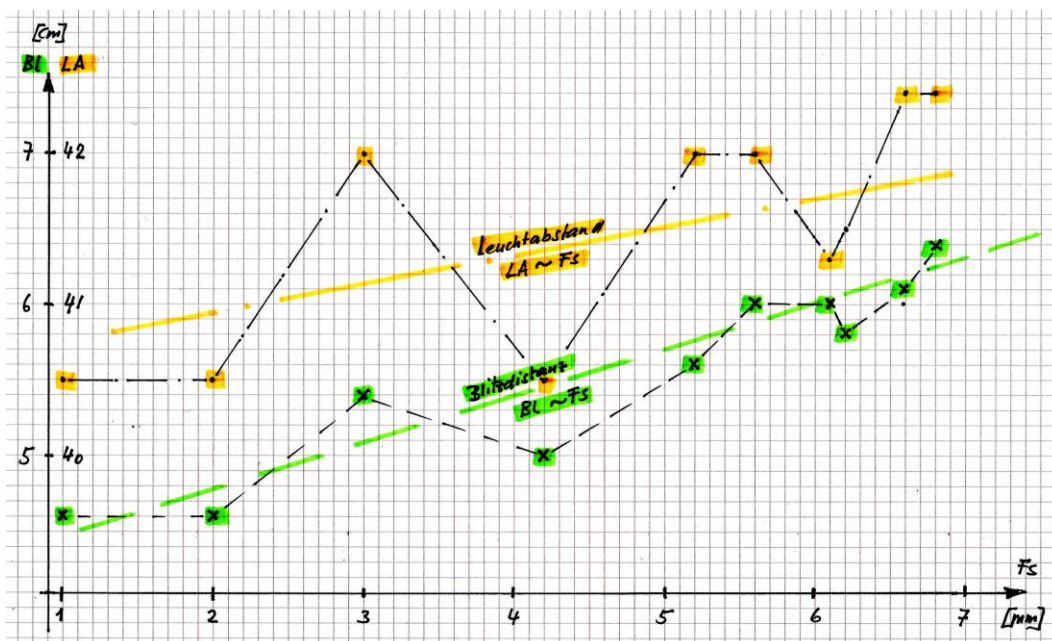
Der Versuch bestätigt die Annahme, dass durch Vergrössern des Schlaufenwiderstandes die Sekundärspule eine kleinere Leistung erhält, wodurch die Flackerdistanz und damit auch die Ausgangsspannung um bis zu 30 % absinken.

Dieser Versuch zeigt, dass ein niederohmiger Primärkreis die Ausgangsspannung erhöhen kann. Gegenwärtig besitzt die Primärspule einen Querschnitt von nur 1,5 mm². Eine Verdoppelung des Querschnittes müsste daher mindestens zu einer Verdoppelung der Ausgangsspannung führen!

8. Einfluss des Abstandes der Funkenstrecke

Im Abschnitt 4 wurde anhand der Energieformeln festgestellt, dass die im Kondensator aufgenommene Energie im Quadrat mit der Funkenspannung steigt. Um dies zu belegen wird mit der eben verwendeten Schaltung die Resonanzspannung bei verschiedenen Funkenstrecken gemessen. Hier die gefundenen Messwerte:

Funkenstrecke	Funkenspannung	Flackerdistanz	Blitzdistanz	Ausgangsspannung
1 mm	2,5 kVolt	40,5 cm	4,6 cm	55 kVolt
2 mm	5 kVolt	40,5 cm	4,6 cm	55 kVolt
3 mm	7,2 kVolt	42 cm	5,4 cm	65 kVolt
4,2 mm	9,6 kVolt	40,5 cm	5,0 cm	60 kVolt
5,2 mm	12,5 kVolt	42 cm	5,6 cm	67 kVolt
5,6 mm	13 kVolt	42 cm	6 cm	72 kVolt
6,1 mm	14,8 kVolt	41,3 cm	6 cm	72 kVolt
6,6 mm	16 kVolt	42,4 cm	6,1 cm	73 kVolt
6,8 mm	16,5 kVolt	42,4 cm	6,4 cm	77 kVolt
7 mm	Durchschlagspannung grösser als Trafospannung!			



Die Ausgangsspannung der Sekundärspule und damit auch die Ansprechdistanz der Sparlampe (LA) steigen wie erwartet proportional mit der Länge der Funkenstrecke an. Dasselbe gilt auch für die sogenannte Blitzdistanz (Bl). Unter Blitzdistanz wird der Abstand zwischen des oberen Pols zu einer mit dem Erdpol verbundenen externen Spitze verstanden, bei dem die züngelnden Blitze gerade beginnen. Aus diesem Abstand lässt sich die Ausgangsspannung der Tesla-Trafos abschätzen. In diesem Versuch betrug sie im besten Fall 64 mm was mit der Näherungsregel (10mm entsprechen in etwa 12'000 Volt) berechnet einer Spannung von ca. 77 kVolt entspricht.

Der Tesla-Trafo bekommt nun langsam doch noch die erwünschte Resonanzspannung und die Blitze züngeln und wandern nun schon ganz imposant herum.

9. Studie zur Erhöhung der Funkenleistung

Im Folgenden wird herauszufinden versucht, wieso die erste Version meines Tesla Trafos nicht die gewünschte Funkenleistung erbringt.

Die Funkenleistung eines Tesla-Trafos ist hauptsächlich von folgenden Faktoren beeinflusst:

1. Von der **Energie die der Primärkondensator aufnehmen kann** und an die Primärspule weitergeben will. Diese Energie ist einerseits abhängig von der **angelegten Hochspannung** und von der **Grösse des Kondensators**.
2. Von der **Energie die die Primärspule aufnehmen kann**. Die ist in erster Linie abhängig von der **Grösse des Stromimpulses** und der **Induktivität**.
3. Von der **Energie die die Sekundärspule überhaupt aufnehmen kann**. Diese Energie ist einerseits abhängig von der **Grösse der Induktivität** und von der Kapazität des oberen Ende der Spule.
4. Je tiefer die **Arbeitsfrequenz** liegt umso grösser werden die zu verwendeten Kondensatoren und Induktivitäten.
5. Von der **Resonanzeinhaltung** der beiden Spulen
6. Von der **Form und Kapazität der Spitze** der Sekundärspule
7. **Windungs-Verhältnis** der Primär zur Sekundärspule
8. **Längen / Durchmesser-Verhältnis** der beiden Spulen

Beim Vergleichen und Abwägen der ersten vier Faktoren zeigt sich, dass in erster Linie die **Arbeitsfrequenz abgesenkt** werden muss. Dadurch erhöhen sich die Kapazitäts- und Induktivitätswerte und als Folge davon verbessert sich die Energieumsetzung des Primär- und des Sekundärkreises. Gleichzeitig sollte der **Schleifenwiderstand des Primärkreises reduziert** werden, damit die Primärspule mehr Energie aufnehmen und weitergeben kann.

Im Klartext bedeutet das den Bau eines neuen Tesla-Trafos mit grösserer Sekundärspule, kleinerer Primärinduktivität und einem neuem, konventionellen Primärkondensator. Die anzustrebende Frequenz sollte am unteren Ende des Mittelwellenbereichs bei ca. 390 kHz bzw. 770 m liegen und der obere Pol sollte mit einem richtigen Toroid ausgerüstet sein.

Da die Drahtlänge nun mit 192 m auf das zweieinhalbfache ansteigt, muss das Verhältnis Höhe zu Durchmesser der Sekundärspule auf unter 5 verändert werden.

Das gibt bei einer Höhe von 40 cm einen Durchmesser von 8 cm und bei einem Drahtdurchmesser von 0.5 mm eine Windungszahl von 765 Umgängen und eine ungefähre Induktivität von 20 mH.

Durch Senkung der Anzahl Primärwindungen auf 7 wird die Primärinduktivität auf den Wert 9 μ H sinken und die Primärkapazität auf einen ungefähren Wert von 18 nF / 20 kV steigen.

Bei diesem Neubau sollte, wenn möglich auch gerade noch eine Verbesserung der Funkenstrecke in Betracht gezogen werden:

10. Bemerkungen zur „Freien Energie“

Ich bin ein grosser Bewunderer von Nikola Tesla's Ideen und Entdeckungen, was aber noch lange nicht heisst, dass ich die aktuellen Ideen zum Thema „Freie Energie“ unterstütze.

Dieses Thema liegt nach meiner Ansicht ausserhalb der Wissenschaft und gehört eher ins Gebiet der Wünsche und Märchen.

Wieso suchen gewisse „Glaubenskrieger“ hinter diese freie Energie zu kommen? Die einzig mögliche Triebkraft kann doch nur sein, auf möglichst einfache Art zu Gratisenergie und damit zu Geld und Macht zu gelangen. Das erinnert sehr stark an die Zeit der Goldgräber vor über 200 Jahren!

Schon die Bezeichnung „freie“ Energie ist vollständig unklar. Ist damit „für alle verfügbar“ oder „für alle gratis“ gemeint? Tesla's Ziel war nach meiner Ansicht sicher „für alle verfügbar“ und nicht „gratis“ wie von vielen ausgelegt wird.

Auf unserem Planet gab es seit Menschengedenken nie etwas gratis und wird es sicher auch nie geben! Sonst müssten wir ja nicht mehr an ein kommendes Paradies glauben, da es bereits da wäre!