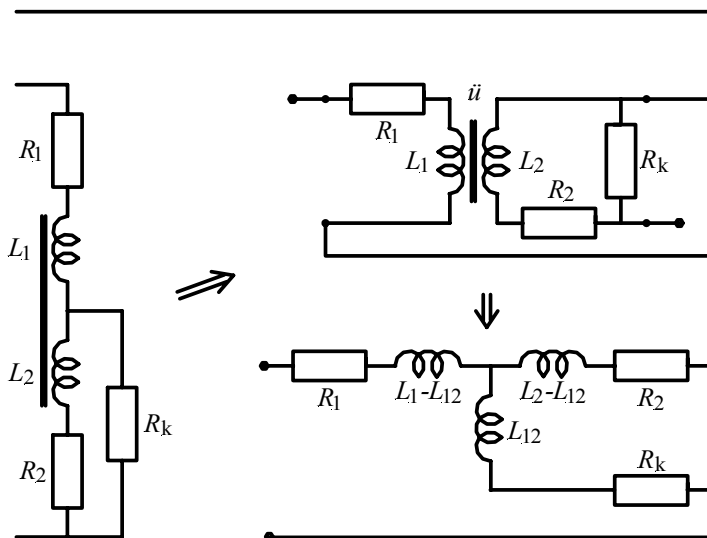
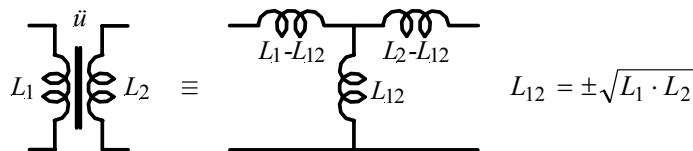


5.14 Tonabnehmer mit Windungsschluss

Die Wicklung eines Magnettonabnehmers besteht aus sehr dünnem Kupferdraht, der mit einer noch dünneren Lackschicht isoliert ist. Deren Isolationswiderstand würde zwar selbst bei nur 4 µm Schichtdicke ausreichend hochohmig sein, hierfür ist aber Voraussetzung, dass keine Beschädigungen vorliegen. Nun wurde aber bei alten Tonabnehmern der CuL-Draht gerne direkt auf die Stabmagnete aufgewickelt, was in einigen Fällen zu einem Abschaben der Isolierschicht und dadurch zu Kurzschlüssen geführt haben könnte. Einige alte Isolierlacke versprödeten zudem im Lauf der Jahrzehnte und lösten sich vom Kupfer, und es ist auch vorstellbar, dass schon das Lackauftragen mangelbehaftet war. Wenn dann die Qualitätskontrolle nur mit einem Ohmmeter erfolgte, das 20% Toleranz aufwies [Duchossoir, Strat], bleibt viel Raum für unentdeckte Windungsschlüsse (engl. *shorted turns*).

Wie ändert sich das Übertragungsverhalten des Tonabnehmers, wenn eine oder mehrere Windungen kurzgeschlossen sind? Ist tatsächlich nur *eine* Windung kurzgeschlossen, kann man die Auswirkungen vernachlässigen, hat aber ein Draht zu der benachbarten (oder sogar zur übernächsten) Lage Kontakt, liegt u.U. ein wesentlicher Defekt vor. Dass ein Tonabnehmer-Hersteller noch anno 2011 auf seiner Webpage schreibt, von 8000 Windungen dürften ruhig ein paar hundert kurzgeschlossen sein, zeugt von Naivität: Ein paar Prozent Änderung beim Gleichstromwiderstand wäre tatsächlich unbedeutend, aber der Tonabnehmer wird ja mit Wechselstrom betrieben. Und da bewirkt Windungsschluss die Ankopplung einer resistiven Last, also Höhenverlust.

Es ist zweckmäßig, eine teilweise kurzgeschlossenen Induktivität als Übertrager zu interpretieren (**Abb. 5.14.1**). Von den N Windungen der Wicklung sind n kurzgeschlossen; damit bilden die $N-n$ nicht-kurzgeschlossenen Windungen die Primärinduktivität L_1 , die restlichen (kurzgeschlossenen) n Windungen bilden die Sekundärinduktivität L_2 .



$$R = R_1 + R_2; \quad R_2 = R \cdot n/N;$$

$$L_2 = L \cdot (n/N)^2;$$

$$L_1 = L \cdot (1 - n/N)^2;$$

$$L_{12} = -\sqrt{L_1 \cdot L_2};$$

für $R_k = 0$ ergibt sich die Eingangsimpedanz \underline{Z} zu:

$$\underline{Z} = \frac{R_1 R_2 + p(R_1 L_2 + R_2 L_1)}{R_2 + pL_1}$$

Abb. 5.14.1: T-Ersatzschaltbild des fest gekoppelten Übertragers (oben), Windungsschluss-ESB (unten).

Der Kupferwiderstand (Gleichstromwiderstand) der gesamten Wicklung ist R , zur Primärwicklung gehört R_1 , zur Sekundärwicklung R_2 . Der zwischen zwei Windungen auftretende Übergangswiderstand (Kurzschlusswiderstand) ist R_k . Beim perfekten Kurzschluss wird R_k null sein, im allgemeinen Modell wird man aber einen beliebigen Widerstand annehmen. Ein festgekoppelter Übertrager (kein Streufluss) kann durch sein T-Ersatzschaltbild beschrieben werden, L_{12} ist die **gegenseitige Induktivität**. Sie ist bei gleichsinniger Kopplung positiv, bei gegensinniger Kopplung negativ. Interpretiert man die kurzgeschlossenen Induktivität als Übertrager, entsteht gegensinnige Kopplung, L_{12} ist negativ.

Aus dem in Abb. 5.14.1 angegebenen ESB kann die Tonabnehmerimpedanz \underline{Z} berechnet werden, die sich für idealen Kurzschluss ($R_k = 0$) auf die angegebene Formel vereinfachen lässt. Für $f = 0$ erhält man $\underline{Z} = R_1$, für hohe Frequenzen ($f \rightarrow \infty$) bleibt \underline{Z} aber nicht mehr induktiv, sondern konvergiert gegen einen reellen Endwert. Mit weiterer Vereinfachung (für $n \ll N$) erhält man als hochfrequenten Endwert $R \cdot N/n$. Wenn z.B. 4% einer Tonabnehmerwicklung kurzgeschlossen sind, ist der hochfrequente Grenzwert $25 \cdot R$, also z.B. $25 \cdot 6 \text{ k}\Omega = 150 \text{ k}\Omega$. Dieser Wert ist nur scheinbar ausreichend hochohmig – bei kapazitiver Belastung sind die Auswirkungen erheblich, die Resonanzgüte sinkt stark ab (**Abb. 5.14.2**). Als Folge der verringerten Güte (vergl. Kap. 5.9.3) verringert sich auch die Resonanzüberhöhung der Übertragungsfunktion, wie in **Abb. 5.14.3** am Beispiel eines Stratocaster-Tonabnehmers dargestellt. Ein Kurzschluss über 2 Lagen entspricht ungefähr $n = 280$, der zugehörige Brillanzverlust ist nicht mehr zu vernachlässigen.

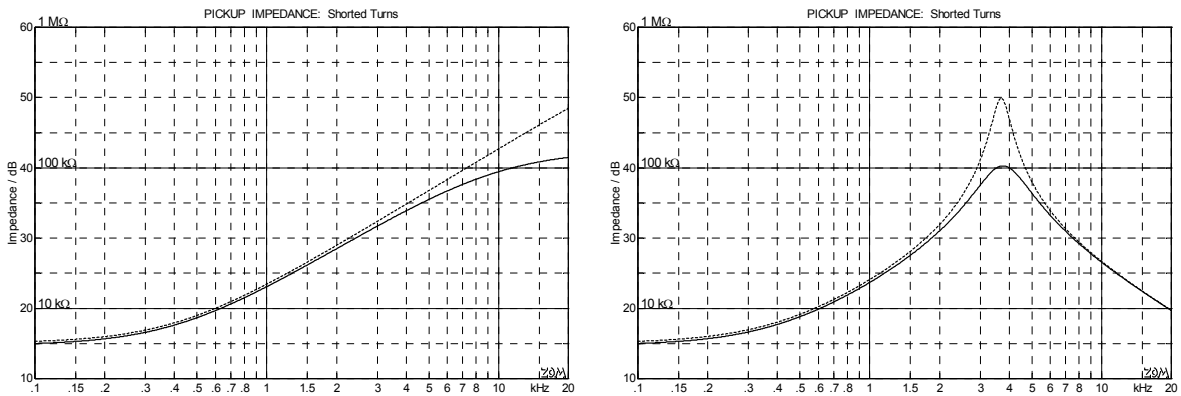


Abb. 5.14.2: Windungsschluss. Links: ohne Parallel-Kapazität, rechts: mit Parallel-Kapazität (850 pF). Stratocaster-Pickup: $R = 5700 \text{ }\Omega$, $L = 2.2 \text{ H}$, $N = 7600$, $n = 280$. Ohne Windungsschluss (----) bzw. mit (—).

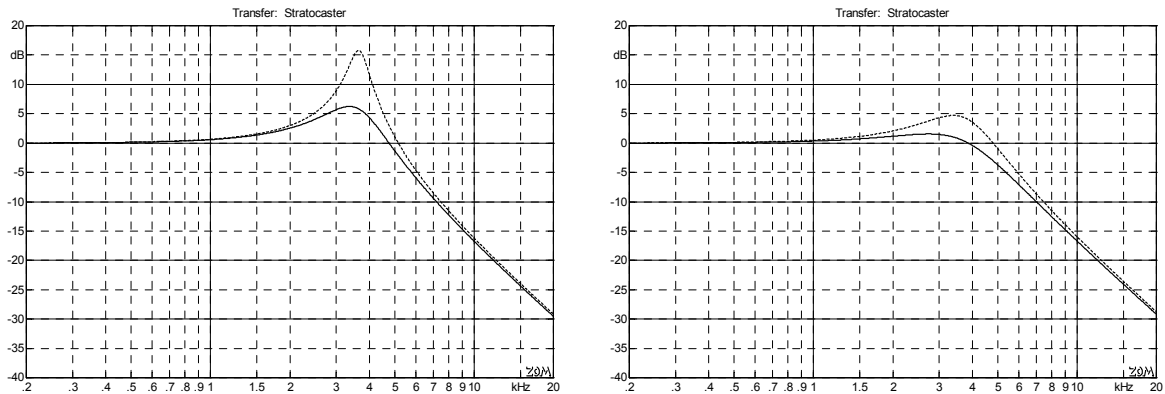


Abb. 5.14.3: Ohne (----) bzw. mit (—) Windungsschluss, Daten wie bei Abb. 5.14.2. Links: Rein kapazitiv belasteter Tonabnehmer (850 pF), rechts: zzgl. 110 k Ω Lastwiderstand (Potis + Verstärker).

161 Seiten über Magnettonabnehmer – da weiß man, was man hat. Für alle, die durchgehalten haben, deshalb zum Schluss noch ein Leckerli (nein, Thorben hatte leider keine Zeit mehr, dem reicht's auch). Aber der Herr **Kinman**, seines Zeichens Pickup-Hersteller, der hatte Zeit. Und also geschah es, dass er seiner Jüngerschaft zu Weihnachten 2010/11 eine Epistel zukommen lies [www.kinman.com], die wir uns mal anschauen wollen.

Da repariert also der Herr Kinman zwei 1964er-Strat-Pickups, die beide Drahtbruch hatten. Bei einem liegt der Bruch ganz außen, das macht wenig Arbeit, beim anderen muss aber der ganze PU neu bewickelt werden. Mit original Voodoo-Wire, und trotzdem klingen die beiden reparierten PUs unterschiedlich. Und das bleibt auch nach neuem Aufmagnetisieren so. *"This experiment exploded the myth that aged magnets were the reason for this massive difference in sound. Another well known pickup manufacturer claims weaker magnets are the reason that old pickups sound sweet, but I can not confirm that claim when I deliberately degauss magnets."* Ja, da hat er Recht, Magnete altern nicht, das hätte er auch in Kap. 4 lesen können. Doch irgendwoher muss ja der **Vintage-Sound** kommen, und siehe da: *"It turns out that Formvar insulation is not age stable, it's an unsophisticated old technology coating that degrades over time, unlike modern Polyurethane coatings which seem to go on forever. ... So there you have conclusive scientific proof for aging of old Fender pickups, Formvar wire degrades in time. It definitely is not due to aging of magnets."* Die Wissenschaftlichkeit versteckt sich dann allerdings gemeinerweise in einem Impedanzplot, der bei Resonanz (3.2 kHz) einen Maximalwert von nur 41.25 kOhm aufweist*, aber selbst dabei zeigen sich noch Unterschiede zwischen den beiden Pickups: Der *"1964 original Strat pickup that has aged excessively"* hat nämlich nur maximal 36 kOhm. Ungefähr – denn bei den vom Herrn Kinman gewählten 4.46 kΩ pro Skalenteilung kann man nur schwer interpolieren. Aber egal, je älter der PU, desto kleiner wird seine Resonanzgüte, weil der alternde Isolierlack Windungsschlüsse begünstigt. Und mit kleiner werdender Güte verliert man *"ice-pick brittleness"*, und nähert sich dem aged Sound (weniger Höhen), der laut Kinman seinen einfachen Grund in Windungsschlüssen hat. Wer nun gerne eine 1954er-Strat hätte, aber sein Geld lieber in alte Aston Martins investieren möchte: Kein Problem. Neue Strat kaufen, Tone-Poti runterdrehen, aged Sound. Aber dann nie mehr "Fachzeitschriften" lesen, nie mehr Glaube&Bullshit, denn dort steht gelegentlich, dass die alten Strats einen unerreicht brillantem Sound hatten.

Guter Tipp? Gerne geschehen. Als Gegenleistung könnte ja mal jemand beim Herrn Kinman vorbeifahren, und ihm zeigen, wie man richtige Impedanzmessungen macht.

* Rein kapazitiv belastet (ohne Potis) müssten's ca. 300 kΩ sein, mit Potis immer noch ca. 88 kΩ.