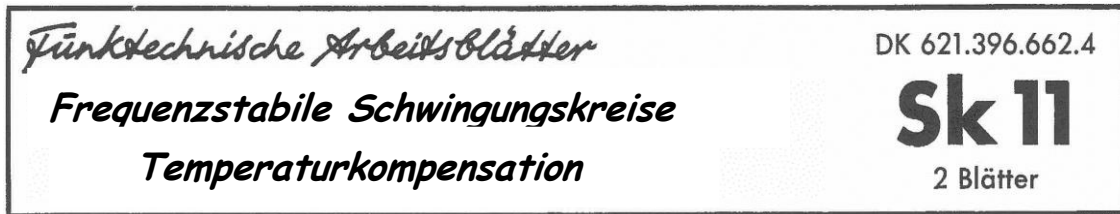


Aus FUNKSCHAU 05/1953 für <http://www.radiomuseum.org> (bearbeitet 11/2019 von E.Grund)
mit freundlicher Genehmigung der FUNKSCHAU-Redaktion. Die aktuellen Ausgaben der
FUNKSCHAU finden Sie unter <http://www.funkschau.de> (Im Original 2-spaltig)



Bei Sendern, Wellenmessern und Empfängeroszillatoren werden an die Frequenzkonstanz bestimmte Anforderungen gestellt, die je nach dem Verwendungszweck der Geräte mehr oder weniger scharf sind.

Unter der Frequenzkonstanz eines Oszillators versteht man das Verhältnis $\frac{f - f_0}{f_0}$

Darin bedeuten f die tatsächlich vom Oszillator erzeugte Frequenz und f_0 die Sollfrequenz.

Ursachen der Frequenzschwankungen

Die ungewollten Frequenzschwankungen haben verschiedenartige Ursachen und müssen daher mit verschiedenartigen Mitteln ausgeschaltet oder herabgemindert werden. Die Ursachen können sein:

1. Schwankungen der Betriebsspannungen,
2. Rückwirkungen der auf den Oszillator folgenden Stufen,
3. Änderungen der die Frequenz bestimmenden Kapazitäten und Induktivitäten infolge mechanischer und thermischer Einflüsse.

Die Ursachen 1. und 2. sollen hier nicht behandelt werden, sie können durch schaltungstechnische Maßnahmen verschwindend klein gehalten werden.

A. Frequenzabweichungen durch mechanische Einflüsse

Mechanische Einflüsse durch Erschütterungen hält man durch möglichst stabilen Aufbau der Kondensatoren und Spulen sowie der Verdrahtung klein.

Kondensatoren: Keramische Kondensatoren und die meisten Glimmerkondensatoren sind praktisch erschütterungsunempfindlich. Bei Drehkondensatoren ist auf stabile (starke) Platten mit nicht zu großer Oberfläche zu achten. Ferner müssen die Rotorplatten symmetrisch im Zwischenraum der Statorplatten angeordnet sein. Nur in diesem Falle ergibt sich bei Verschiebung der Stator- und Rotorplatten gegeneinander (z. B. durch einen Druck auf die Achse) die geringste Kapazitätsänderung. Je größer die Unsymmetrie ist, um so größer wird die Kapazitätsänderung bei einer bestimmten Abstandsänderung. Die richtige Symmetrie gibt zugleich die geringste Kapazität (auf diese Weise kann der Drehkondensator nachjustiert werden). Die Lager des Drehkondensators müssen in axialer und radialer Richtung spielfrei sein; am wenigsten erschütterungsempfindlich sind solche Drehkondensatoren, bei denen die Rotorachse mit einer starken Feder gegen ein Konus- oder Kugellager gedrückt wird. Gefiederte Endplatten, wie sie für den Gleichlauf- und Skalenabgleich oft üblich sind, sind für frequenzstabile Oszillatoren weniger zu empfehlen, da diese tief eingeschnittenen Endplatten bei Erschütterungen mechanisch leicht in ihrer Eigenfrequenz schwingen.

Spulen: Auf keramische Körper aufgebrannte oder aufgeschrumpfte Spulen sind praktisch unempfindlich gegen mechanische Erschütterungen. Bei Spulen üblicher Bauart kann durch ein

Festkleben der Spulenwindungen mit Trolitul oder anderem geeignetem Lack eine Verschiebung der Windungen gegeneinander verhindert werden, damit der Einfluß von mechanischen Erschütterungen auf die Frequenz ausgeschaltet wird. Solche Spulen müssen durch mehrmaliges Aufheizen auf ca. 70° C gealtert werden, wenn ihre Temperaturabhängigkeit einigermaßen reproduzierbar sein soll. Die Alterung bewirkt den Ausgleich von im Material vorhandenen mechanischen Spannungen. Ein etwa vorhandener Hf-Eisenkern muß festgelegt werden. Die Spule selbst soll fest aufgeschraubt sein. Reine Luftspulen sind nur bei Verwendung ganz starken Drahtes oder Rohres einigermaßen stabil gegen Erschütterungen.

Streukapazitäten und Streuinduktivitäten

Außer den eigentlichen Kreiskapazitäten und -induktivitäten sind frequenzbestimmende Streukapazitäten und frequenzbestimmende Streuinduktivitäten vorhanden.

Die in sich stabilen Keramikkondensatoren besitzen eine Kapazität gegen das Chassis. Der Kondensator muß daher unverrückbar befestigt sein und darf nicht einfach in der Verdrahtung hängen, sonst ändert sich bei mechanischen Erschütterungen seine Streukapazität und damit die Frequenz. Um die Streukapazität des Kondensators gering zu halten, muß auf seinen richtigen Anschluß geachtet werden: Der Außenbelag eines Rohrcondensators wird an den Hf-Nullpunkt der Schaltung gelegt (oder an den Hf-mäßig „kältesten“ Punkt).

Weiterhin haben die hochfrequenzführenden Leitungen eine Streukapazität gegen Erde. Die Verdrahtung soll daher so starr wie möglich mit kurzen, starken Drähten (mindestens 1,5 mm Ø) vorgenommen werden; dazu sind Kondensator und Spule räumlich so dicht wie möglich beieinander anzuordnen. Längere Leitungen müssen abgestützt werden. Bei sehr hohen Anforderungen an die Frequenzstabilität leisten „gedruckte Schaltungen“ gute Dienste. Hierbei werden z. B. die Leitungen in Form von Silberbelägen auf einer keramischen Grundplatte aufgebracht.

Der Abstand der Leitungen vom Chassis und untereinander sollte so groß wie möglich sein (mindestens 10 mm), damit Abstandsänderungen nur geringe Kapazitäts- und Induktivitätsänderungen zur Folge haben.

Zu den Streukapazitäten rechnen auch die inneren Kapazitäten der an den Kreis angeschlossenen Röhre. Die Abstände der Elektroden gegeneinander schwanken bei mechanischen Erschütterungen, besonders da die Gitter aus dünnen Drähten bestehen. Ferner sind die Röhrenkapazitäten Streuungen unterworfen, so daß sich bei Röhrenwechsel nicht immer die gleiche Frequenz ergibt. Bei der Verstärkungsregelung von Röhren durch Änderung der Gittervorspannung (z. B. bei automatischer Fadingregelung) ändert sich die Raumladungskapazität und damit die wirksame Gitter-Katoden-Kapazität. Bei Mischröhren hat diese Kapazitätsänderung einen gewissen Einfluß auf den frequenzbestimmenden Oszillatorkreis. Bei Empfängern mit sehr hoher Frequenzgenauigkeit regelt man daher die Mischröhre meist nicht mit. Dies wird man auch dann nicht tun, wenn die Kreiskapazität des Oszillators klein ist und er auf hohen Frequenzen schwingt (Kurzwellenbereich).

Der Einfluß der Röhrenkapazität läßt sich gering halten:

- a) durch Wahl besonders stabil aufgebauter Röhrensysteme (klingfeste Röhren),
- b) durch möglichst lose Ankopplung der Röhre an den Kreis,
- c) durch Wahl möglichst großer Kreiskapazitäten.

Die Maßnahme c) hält zugleich den Einfluß schwankender Schaltkapazitäten klein.

Zu b): Bei der bekannten Clapp-Oszillatorschaltung (siehe Os 21/2a) ist die Röhre besonders lose an den Kreis angekoppelt, gleichzeitig ist die Kreiskapazität bei dieser Schaltung gering (L/C-Verhältnis hoch), so daß Schwankungen der Schaltkapazitäten stark eingehen. Bei dieser Schaltung ist also ein mechanisch äußerst stabiler Aufbau erforderlich.

Die Verbindungsleitung innerhalb der Schwingkreiselemente hat eine gewisse Induktivität und es hängt von dem Verhältnis der Zuleitungsinduktivität zur Induktivität der Spule selbst ab, in welchem Maße eine Änderung dieser Leitungsinduktivität eine Frequenzunstabilität verursachen kann. Zur Abschätzung der Größe der Zuleitungsinduktivität benützt man die Faustregel:

1 cm Leitungslänge hat eine Induktivität von $0,006 \mu\text{H}$ ($= 6 \text{ cm}$) bei starken Schaltdrähten oder Bändern und von $0,01 \mu\text{H}$ ($= 10 \text{ cm}$) bei dünnen Schaltdrähten ($0,5 \dots 0,8 \text{ mm}$).

Die Induktivität der Zuleitung ändert sich bei Schwankungen des Abstandes der Leitung vom Metallchassis (Abstand größer, Induktivität größer). Gegenmittel: stabile Verdrahtung, großen Abstand vom Chassis einhalten.

Die Abschirmung der Spulen ist mehr oder weniger stark mit der Spule verkoppelt, so daß sich Abstandsänderungen in Änderungen der Induktivität bzw. der Frequenz auswirken. Der Abstand zwischen Spule und Abschirmbecher soll daher mindestens gleich dem Spulendurchmesser sein. Die Abschirmung selbst muß starr sein, für höchste Ansprüche sind Abschirmbecher aus galvanisierter Keramik anzuwenden. Die Spule muß symmetrisch in der Abschirmung sitzen, da sich nur in diesem Falle bei Abstandsänderungen die geringste Induktivitätsänderung ergibt. Die Abschirmung muß so konstruiert sein, daß über einen etwa vorhandenen Deckel oder eine Nahtstelle der geringste Strom fließt. Bild 1b zeigt die richtige Ausführung. Bild 1a

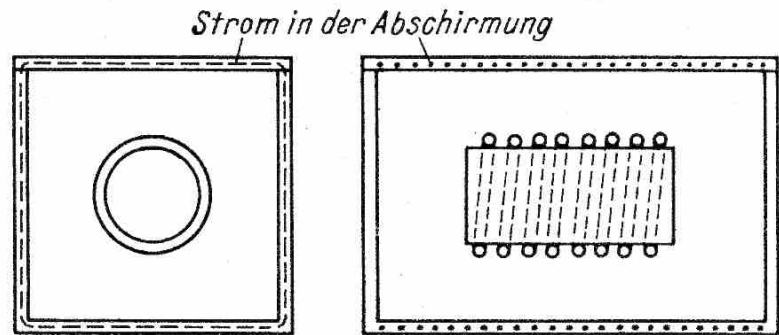


Bild 1a. Falsche Anordnung einer Spule im Abschirmkasten

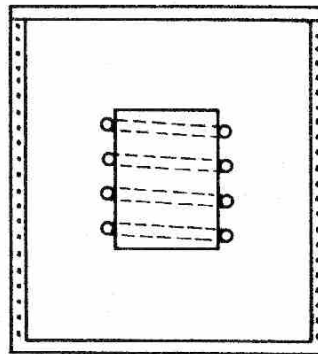


Bild 1b. Richtige Anordnung einer Spule im Abschirmkasten

eine falsche Ausführung. Einzelne sauber definierte Kontaktstellen zwischen Deckel und Gehäuse sind besser als eine durchgehende Kontaktfläche, deren Kontaktdruck und Übergangswiderstand sich bei Erschütterungen verändern. Die Stromfäden verlaufen in Richtung des kleinsten Übergangswiderstandes. Für den Einfluß der Abschirmung auf die Induktivität ist außer dem Widerstand der Abschirmung auch die geometrische Form der Strompfade maßgebend. Widerstandsänderungen können die Strompfade verlagern und dadurch Frequenzschwankungen ergeben.

B. Frequenzabweichungen durch thermische Einflüsse

Kondensatoren und Spulen ändern ihre elektrischen Werte bei Temperaturwechsel. Innerhalb kleiner Temperaturbereiche erfolgen diese Änderungen linear; beim Keramikkondensator ist der Temperaturbereich der linearen Änderung relativ groß, bei Spulen nur dann, wenn die Windungen auf einen Keramikträger aufgebrannt sind.

Der Temperaturkoeffizient (TK) gibt Größe und Richtung dieser Änderungen an. Man versteht darunter die Abweichung von Kapazität (TK_C), Induktivität (TK_L) oder Frequenz (TK_f) pro Grad Celsius Temperaturänderung, bezogen auf den Ausgangswert von C, L oder f. Da die sich ergebenden Werte für TK sehr klein sind, werden sie in Vielfachen von 10^{-6} ausgedrückt.

Temperaturkoeffizient der Kapazität: $TK_C = \frac{\Delta C}{C} / ^\circ C = a_c$

Temperaturkoeffizient der Induktivität: $TK_L = \frac{\Delta L}{L} / ^\circ C = a_l$

Temperaturkoeffizient der Frequenz: $TK_f = \frac{\Delta f}{f} / ^\circ C = a_f$

Der TK der Kapazität hat zwei Ursachen: erstens ist der lineare Ausdehnungskoeffizient von Dielektrikum und Belegung des Kondensators von Einfluß, zweitens hat die Dielektrizitätskonstante ϵ des Dielektrikums einen TK (TK_ϵ), d. h. das ϵ des Stoffes ist von der Temperatur abhängig. Beide Wirkungen zusammen ergeben den Gesamt-Temperaturkoeffizienten des Kondensators. Der TK_ϵ von Isolierstoffen steht in keinem direkten Verhältnis zu deren linearen Ausdehnungskoeffizienten, sondern ist durch eine Veränderung in der elektrischen Orientierung der Molekularstruktur gegeben.

Bei Kondensatoren mit Luftdielektrikum ist TK_ϵ sehr klein, so daß hier der Ausdehnungskoeffizient der Aufbauelemente maßgebend ist. Allerdings ergibt sich durch die aus Isoliermaterial bestehenden Aufbauteile eine Streukapazität, bei der TK_ϵ im Verhältnis der Streukapazität zur Gesamtkapazität des Kondensators wirksam wird.

Bei Drehkondensatoren mit Luftdielektrikum ist der TK_C vom Drehwinkel des Rotors abhängig, da bei herausgedrehtem Rotor der Einfluß des TKs der Streukapazität größer ist als bei hereingedrehtem Rotor. Im allgemeinen ist der TK_C von Drehkondensatoren positiv. Durch konstruktive Maßnahmen kann der TK eines Drehkondensators klein gehalten werden. Dies ist im Hinblick auf die schwierige Kompensation und die dabei an einigen Stellen des Durchstimmereiches verbleibenden Restfehler von besonderer Bedeutung.

Die Reproduzierbarkeit des TKs von Kondensatoren hängt von der Festigkeit des mechanischen Aufbaues ab. So weisen keramische Kondensatoren eine gute Reproduzierbarkeit auf, während Quetschkondensatoren und Wickelkondensatoren nur in Sonderfällen einen reproduzierbaren TK aufweisen; dies macht eine gute Kompensation unmöglich.

Mechanische Spannungen im Aufbau führen zu Alterungserscheinungen, die sich zum Teil durch künstliches Altern (mehrmaliges Erwärmen bis etwas über die höchste Betriebstemperatur und Wiederabkühlen) vor dem Einbau beseitigen lassen.

Bei Spulen sind die Ursachen des Temperaturkoeffizienten sehr vielfältiger Natur, liegen jedoch in der Hauptsache in der Wärmeausdehnung des Spulendrahtes und des Wickelkörpers begründet. Der TK_L von Luftspulen ist meist positiv. Ist ein Hf-Eisenkern vorhanden, dessen effektive Permeabilität einen negativen TK hat, so wird der TK_L der Spule negativ. Nur bei sehr loser Verkopplung von Hf-Kern und Spule überwiegt noch der positive TK der Spule.

Der TK_L von auf Körpern oder freitragend gewickelten Spulen ist nicht gut reproduzierbar; eine gute Temperaturkompensation von Kreisen mit solchen Spulen ist also schwer. Es gibt jedoch auf Keramik aufgeschrumpfte oder noch besser aufgebrannte Spulen, deren Temperaturkoeffizient sehr gut reproduzierbar und, infolge Verwendung von Keramik mit kleinem Ausdehnungskoeffizienten (Ardothan, Sipa H usw.), außerdem sehr klein ist (etwa $10 \cdot 10^{-6}$). Derartige Spulen sind bis zu ziemlich großen L-Werten bei einschlägigen Firmen erhältlich.

B. Frequenzabweichungen durch thermische Einflüsse

(Fortsetzung)

Aus dem Temperaturkoeffizienten der Kapazität α_C und dem der Induktivität α_L errechnet sich der TK der Frequenz α_f wie folgt:

$$\text{Es ist } f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_0 \cdot L_0}} \quad f_0, C_0, L_0 \quad : \text{Ausgangswerte bei der Ausgangstemperatur} \quad (1)$$

Ändert sich die Ausgangstemperatur um einen positiven Betrag Δt , so wird sich eine neue Frequenz $f_0 (1 + \alpha_f \Delta t)$ einstellen:

$$f_0 (1 + \alpha_f \Delta t) = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_0 (1 + \alpha_C \Delta t) \cdot L_0 (1 + \alpha_L \Delta t)}} \quad (2)$$

Hierbei wird — wie oben erwähnt — vorausgesetzt, daß Δt klein genug ist, so daß sich sowohl Kapazität als auch Induktivität linear ändern. Bei den üblicherweise vorkommenden Temperaturänderungen ist diese Annahme meist erfüllt.

Kürzt man (2) durch (1), so erhält man

$$1 + \alpha_f \Delta t = \frac{1}{\sqrt{(1 + \alpha_C \Delta t) \cdot (1 + \alpha_L \Delta t)}}$$

Da α normalerweise in der Größenordnung von 10^{-4} liegt, kann man zur Lösung der Wurzeln und des Bruches folgende Rechenregel für kleine Zahlen anwenden: $\frac{1}{\sqrt{1+\delta}} \approx -\frac{1}{2}\delta$ (gültig für $\delta \ll 1$)

Damit wird (2)

$$1 + \alpha_f \Delta t \approx \left(1 - \frac{\alpha_C \Delta t}{2}\right) \left(1 - \frac{\alpha_L \Delta t}{2}\right) \quad (3)$$

$$\text{und } \alpha_f \approx \frac{-\alpha_C - \alpha_L}{2} + \frac{\alpha_C \cdot \alpha_L \cdot \Delta t}{4} \quad (3a)$$

Das letzte Glied liegt in der Größenordnung von etwa 10^{-9} bis 10^{-10} und kann daher vernachlässigt werden, denn die Größenordnung des ersten Gliedes liegt bei $10^{-4} \dots 10^{-5}$. Bei dieser Vernachlässigung ergibt sich für α_f :

$$\alpha_f \approx \frac{-\alpha_C - \alpha_L}{2} \approx -\frac{\alpha_C}{2} - \frac{\alpha_L}{2} \quad (4)$$
$$\text{TK}_f \approx -\frac{1}{2} (\text{TK}_C + \text{TK}_L)$$

In Worten: Der Temperaturkoeffizient der Frequenz ist halb so groß wie die Summe der Temperaturkoeffizienten von L und C und hat umgekehrtes Vorzeichen.

Beispiel: Keramikkondensator mit $-150 \cdot 10^{-6}$ TK, Spule mit einem TK von $+80 \cdot 10^{-6}$. Temperaturkoeffizient der Frequenz: $+35 \cdot 10^{-6}$ (die Frequenz wird bei Erwärmung höher).

Aus (4) geht hervor, daß der Temperaturkoeffizient der Frequenz Null wird, wenn TK_L gleich TK_C ist und umgekehrtes Vorzeichen hat.

Diesem Zustand versucht man sich bei der Temperaturkompensation soweit wie möglich zu nähern.

Praktische Durchführung der Temperaturkompensation

A. Statische Kompensation.

Da die verschiedenen Schaltelemente des Schwingkreises normalerweise verschiedene Wärmekapazitätswerte aufweisen, erwärmen sie sich verschieden schnell und haben daher während der Anheizzeit zu bestimmten Zeitpunkten verschiedene Temperaturwerte. Bei der statischen Kompensation wird diese Zeit des Anheizens

nicht in Betracht gezogen und die Kompensation im thermischen Endzustand vorgenommen. Bei idealer statischer Kompensation soll also die Frequenz nach Beendigung der Anheizzeit (die je nach Art und Größe des Gerätes verschieden lang ist) die gleiche sein wie im kalten Zustand oder bei irgendeiner anderen Temperatur, auf der das Gerät längere Zeit hindurch gehalten wurde. Die statische Kompensation ist die am häufigsten vorkommende (Meßgeräte, Wellenmesser, Empfänger usw.).

Zunächst ermittelt man den TK der einzelnen Schaltelemente L und C. Oft ist TK_C bekannt, dann wird TK_L aus einer Frequenz/Temperatur-Messung bestimmt und aus dem TK der Frequenz der TK der Induktivität ermittelt.

Gemessen wird $a_f = \frac{\Delta f}{f} / ^\circ C$

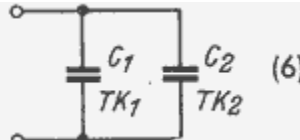
dann ist nach (4) $a_L = -2a_f - a_C$ (5)

a_f wird Null, wenn a_C gleich a_L gemacht wird und entgegengesetztes Vorzeichen bekommt. Dazu wird man, wenn nicht zufällig ein Kondensator mit genau dem gewünschten TK (zur Verfügung steht, im allgemeinen zwei oder mehr Kondensatoren mit verschiedenen TK-Werten und verschiedenen Kapazitätswerten kombinieren müssen. Dies kann durch Serien- oder Parallelschaltung erfolgen, auch kompliziertere gemischte Schaltungen müssen manchmal angewandt werden.

Bei der praktischen Bemessung geht man zweckmäßig so vor, daß man den hauptsächlich die Schwingkreisfrequenz bestimmenden Kondensator mit möglichst kleinem TK wählt und einen Korrekturkondensator mit großem, entgegengesetzten TK hinzuschaltet. Bei Parallelschaltung bekommt der Korrekturkondensator einen kleinen und bei Serienschaltung einen großen Kapazitätswert. Dies hat den Sinn, daß die Korrekturkapazität zwar den Gesamt-TK, nicht aber die Schwingkreisfrequenz merklich ändert. Die noch auftretende Änderung der Grundfrequenz kann dann leichter (z. B. mit der Spule) wieder herausgestimmt werden.

Bei zwei parallelgeschalteten Kondensatoren mit den Kapazitätswerten C_1 und C_2 und den dazugehörigen Temperaturkoeffizienten TK_1 und TK_2 ergibt sich der Gesamt-TK der Kombination wie folgt:

$$TK_{\text{parallel}} = \frac{C_1 \cdot TK_1 + C_2 \cdot TK_2}{C_1 + C_2}$$



Ein häufiger Fall ist der, daß folgende Größen bekannt sind:

- Erforderlicher Gesamt-TK (TK_{ges})
- die Gesamtkapazität
- die TK von Hauptkondensator und Ausgleichskondensator

und es wird die Größe der Ausgleichskapazität gesucht. Dafür kann man aus (6) die folgende Formel ableiten:

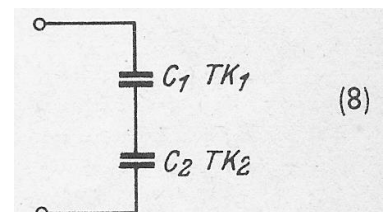
$$C_1 = \frac{TK_{\text{ges}} - TK_2}{TK_1 - TK_2} \cdot C$$

$$\begin{aligned} C &= C_1 + C_2 \\ C_2 &= C - C_1 \\ TK_{\text{ges}} &= \text{Gesamt-TK der Parallelschaltung} \\ TK_1 &= \text{TK von } C_1 \\ TK_2 &= \text{TK von } C_2 \end{aligned} \quad (7)$$

Oder in anderer Form:
$$\frac{C_1}{C} = \frac{\left| \frac{TK_{\text{ges}}}{TK_2} \right| - 1}{\left| \frac{TK_1}{TK_2} \right| - 1} \quad (7a)$$

Für zwei in Reihe geschaltete Kondensatoren mit den Kapazitätswerten C_1 und C_2 und den dazugehörigen Temperaturkoeffizienten TK_1 und TK_2 ergibt sich der Gesamt-TK der Kombination wie folgt: Kombination wie folgt:

$$TK_{\text{ser}} = \frac{C_1 TK_2 + C_2 TK_1}{C_1 + C_2}$$



Sind folgende Größen bekannt:

- Erforderlicher Gesamt-TK (TK_{ges})
- Gesamtkapazität
- TK von Hauptkondensator und Ausgleichskondensator

und wird die Größe der Ausgleichskapazität gesucht, so errechnet diese aus (8) zu $\Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow \Rightarrow$

$$C_1 = \frac{TK_1 - TK_2}{TK_{ges} - TK_2} \cdot C$$

$$C = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

TK_{ges} = Gesamt-TK der Serienschaltung
 TK₁ = TK von C₁
 TK₂ = TK von C₂

oder in anderer Form

$$\frac{C}{C_1} = \frac{\left| \frac{TK_{ges}}{TK_2} \right| - 1}{\left| \frac{TK_1}{TK_2} \right| - 1}$$

Empirische Ermittlung der Ausgleichskapazität:

Ist der TK der Schaltelemente unbekannt oder hat die Röhren- und Schaltkapazität einen großen Anteil der Kreiskapazität, dann muß die richtige Kompensation durch Versuche ermittelt werden. Man mißt für einen zunächst geschätzten Wert des Ausgleichskondensators C₁₁ bei einer bestimmten Temperaturdifferenz Δt die zugehörige Frequenzabweichung Δf₁ und trägt die Werte in ein Diagramm gemäß Bild 2 ein.

Dann wählt man einen zweiten Wert für den Ausgleichskondensator (C₁₂) und mißt wiederum bei Δt die zugehörige Frequenzdifferenz (Δf₂). Der Maßstab ist beliebig. Nach wenigen Versuchen wird man ermittelt haben, bei welchem Wert von C die waagerechte Achse, die durch Δf = 0 geht, von der Kurve oder Geraden geschnitten wird und man hat damit den richtigen Wert C₁ des Ausgleichskondensators, der eingebaut werden kann.

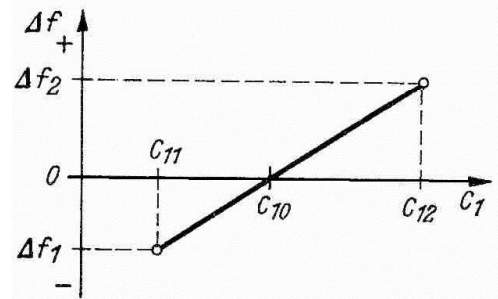


Bild 2. Grafische Ermittlung des Kompensationskondensators

Die Kompensation von Drehkondensatoren

Einen Drehkondensator kann man wegen der variablen Kapazität nicht nur mit einem Parallelkondensator oder einem Seriekondensator kompensieren, sondern man muß - ähnlich wie bei der Herstellung des Gleichlaufes im Superhet — sowohl eine Serienkapazität als auch eine Parallelkapazität zur Kompensation einschalten (Bild 3). Die Serienkapazität wird vorwiegend bei hereingedrehtem Drehkondensator und die Parallelkapazität bei herausgedrehtem Drehkondensator wirksam. Man kann also jetzt an zwei Punkten kompensieren, in der Mitte des Durchstimmbereiches tritt ein Restfehler auf. Zweckmäßig legt man die Kompensationspunkte nicht an die Enden des Variationsbereiches der Kapazität, sondern wie beim Superhet-Gleichlauf etwas in den Variationsbereich hinein. Dabei treten dann an den Enden des Bereiches Restfehler auf, die umgekehrtes Vorzeichen wie der Fehler in der Mitte haben und im Idealfall gleich groß sind wie der mittlere Fehler. Bild 4 zeigt den Verlauf des TK über den

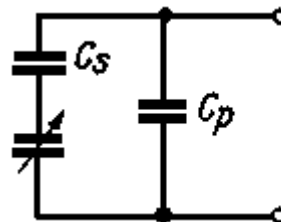


Bild 3. Zur Kompensation eines Drehkondensators ist ein Seriekondensator Cs und ein Parallelkondensator Cp erforderlich

Variationsbereich eines Drehkondensators. Wegen des nicht zu vermeidenden Restfehlers ist es günstig, den TK des Drehkondensators selbst so gering wie möglich zu halten, bzw. einen solchen mit geringem TK auszuwählen.

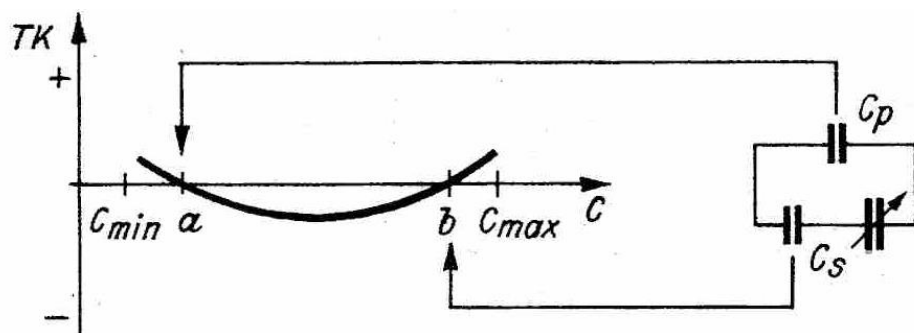


Bild 4. TK-Kurve eines kompensierten Drehkondensators. Im Punkt a wird mit dem Parallelkondensator und im Punkt b mit dem Seriekondensator kompensiert

B) Bemerkungen zur dynamischen Temperaturkompensation

Wie bereits unter A) gesagt, haben normalerweise die Schaltelemente unterschiedliche Wärmekapazitäten und sind daher während des Anheizvorganges (oder während der Abkühlung, falls diese betriebsmäßig von Bedeutung ist) nicht auf gleicher Temperatur. Selbst wenn der Schwingkreis statisch kompensiert wurde, kann während des Anheizvorganges eine Frequenzabweichung auftreten. Es gibt Fälle, bei denen ein solches dynamisches Weglaufen der Frequenz stört (z. B. bei Telegrafiesendern). Eine Kompensation für den dynamischen Fall ist auch möglich, jedoch recht kompliziert. Da sie selten vorkommt, werden hier nur folgende Hinweise gegeben und auf das Literaturverzeichnis verwiesen.

Das Schaltelement mit geringer Wärmeträgheit hat einen maßgebenden Einfluß auf die dynamische Frequenzstabilität des Kreises. Es ist daher ratsam, bei solchen Schaltelementen darauf zu achten, daß sie einen möglichst kleinen TK aufweisen. Ferner wird man versuchen, durch konstruktive Maßnahmen die Wärmeträgheit der Schaltelemente groß zu machen, um bei plötzlichen Temperaturwechseln sprunghafte Frequenzänderungen zu vermeiden.

Nicht nur die Erwärmung durch äußere Einflüsse muß in Betracht gezogen werden, sondern auch die 'Eigenerwärmung der' Kondensatoren und Spulen im Schwingungskreis durch die Hochfrequenz infolge der Verlustwiderstände.

Literaturverzeichnis

- E. Roske; Statische und dynamische Temperaturkompensation an Sendern, FTZ 1950, Nr. 2.
- C. Schreck; Überblick über die neuere Entwicklung auf dem Gebiete der Hf-Keramik, FTZ 1949, Nr. 9.
- Soucy; Temperature coefficients in electronic circuits, Electronics 1948, Nr.1.
- Roske; Temperaturkompensation von Schwingungskreisen, Funk und Ton 1949, Nr. 6.
- Normografische Ermittlung der Temperaturkompensation von Schwingungskreisen, Funk und Ton 1950, Nr.2.
- C. Schreck; Konstante Schwingungskreise für hohe Frequenzen, FTZ 1951, Nr.4.

Sk 11/2a
3. 1953

Nachdruck verboten!

