

Kondensatoren für Serienheizkreise

Da es heute praktisch nirgends mehr Gleichstromnetze gibt, bietet es sich an, den bei Allstromradios unvermeidbaren Heizkreis-Vorwiderstand je nach Bedarf oder Zweckmäßigkeit durch einen Heizkreis-Kondensator als kapazitiven Vorwiderstand zu ersetzen.

Die ersten in Europa weit verbreiteten Allstromröhren waren jene der C-Serie mit einem einheitlichen Heizstrom von 0,2 A. Ein typischer C-Röhrensatz, bestehend aus den Typen CK1, CF3, CBC1, CL4 und CY1 erreicht eine Heizspannung von 97V, wenn man 12V für die Skalenbeleuchtung hinzurechnet. Dies entspricht einer Leistung von

$$P = U \times I = 97V \times 0,2A = 19,4W$$

Da aber die restliche Spannung bis zur Netzspannung 230V (heute) mit einem Vorwiderstand vernichtet werden muss, ist der Gesamtverbrauch an Heizleistung wesentlich höher:

$$P = U \times I = 230V \times 0,2A = 46W$$

Hier also mehr als das Doppelte. Verwendet man nun statt eines Vorwiderstandes einen Heizkreis-Vorschaltkondensator, so wird es bei diesen 19,4W bleiben, da der Kondensator selbst keinen Energieverbrauch hat, indem er nur ständig umgeladen wird.

Eine Besonderheit stellen Geräte mit 0,3A - Röhrensatz nach amerikanischem Vorbild (z. B. 25L6, 25Z6, 6Q7 etc.) dar, die ursprünglich meistens für 110V konzipiert waren. Wird ein solches Gerät mittels Vorwiderstand auf 230V umgestellt, so werden alleine schon im Heizkreis

$$P = U \times I = 230V \times 0,3A = 69W$$

verbraucht, obwohl die tatsächliche Heizleistung wesentlich geringer ist. Diese wäre nur 23W einschließlich Skalenlampe, die restlichen

$$69W - 23W = 46W$$

werden nutzlos im Vorwiderstand, im wahrsten Sinne des Wortes, verbraten.

Abgesehen von dieser Energieverschwendung kann es problematisch sein, die Wärmeentwicklung von z. B. 46W in obigem Fall in einem oft nur kleinen Gehäuse unterzubringen. Hier ist ein Heizkreis-Vorschaltkondensator die einzig sinnvolle Problemlösung.

- Schoneffekt durch annähernd Konstantstrom zum problemlosen Betrieb der Skalenlampen,
- Ersatz für defekte oder fehlende Vorwiderstände (auch Eisen-Wasserstoff- oder Urdox).

Ein weiterer enormer Vorteil ist, dass wegen der Phasenverschiebung, die durch den steten Umladevorgang im Kondensator verursacht wird, der Heizstrom bei kalten Heizfäden nur minimal höher als im Betrieb. So wäre im obigem Fall der Strom gerade nur 10,3% höher, wenn die Heizfäden im Einschaltmoment 0Ω Widerstand hätten. Tatsächlich ist der Kaltwiderstand deutlich höher, so dass selbst diese 10,3% nie erreicht werden. Daher sind Urdox-, NTC- und Eisen-Wasserstoffwiderstände, etc. zur Strombegrenzung bei kalten Heizfäden nicht mehr erforderlich!

Für die Skalenlampen sind keine Sondermaßnahmen gegen Überstrom erforderlich. Bei ganz normaler Einschleifung in den Heizkreis ist mit bloßem Auge praktisch kein Helligkeitsunterschied zwischen kalten und warmen Heizfäden erkennbar.

So kann z. B. die Wiederbeschaffung des Allstrom-Volksempfänger-Röhrensatzes VC1, VL1 und VY1 kann ggf. schwierig und teuer sein, so dass es attraktiv wäre, auf die leichter und billiger beschaffbaren C-Röhren CC2, CL1 und CY1 umzurüsten. Diese sind außer den Heizdaten kompatibel zu den V-Röhren. Es wäre jedoch wenig sinnvoll, diese über einen Heizvorwiderstand zu betreiben, da man dann wieder 46W Heizleistung verbraten würde. Bei Verwendung eines Vorschaltkondensators von 2,83µF wird jedoch keine Energie außer den 9,2W tatsächliche Röhrenheizleistung verbraucht.

Oder die Umrüstung von U-Röhren auf P-Röhren: Die Röhren der P-Serie, einst hauptsächlich für TV-Geräte vorgesehen, zählen zu den am günstigsten erhältlichen Röhren. TV-Gerätesammler gibt es nur wenige, die dafür einen echten Bedarf hätten und Radiosammler können allgemein wenig damit anfangen. Bildet man jedoch einen 0,3A Serienheizkreis, so lässt sich aus einer Kombination von P- und E-Röhren mit 0,3A ein kompletter Röhrensatz bereitstellen, so wie auch in TV-Geräten P- und E-Röhren zusammen betrieben wurden.

Ideale Geräte zur Umrüstung auf P-Röhren sind jene mit dem Noval-U-Röhrensatz UCC85, UCH81, UF89, UABC80, UM84, UL84 und UY85. Diese sind mit minimalem Aufwand umzurüsten auf einen Röhrensatz bestehend aus PCC85, ECH81, EF89, PABC80, PM84, PL84 und PY82. Alle Röhren sind pinkompatibel und bis auf die PY82 datengleich zu ihren U-Pendants. Die PY82 entspricht elektrisch genau der UY82 und erfordert keine sonstigen Änderungen. Lediglich parallel zum EF89-Heizfaden muss ein Widerstand $63\Omega/1W$ geschaltet werden, da die EF89 nur $0,2A$ Heizstrom hat und es eine PF89 leider nie gab. Die Skalenlampen müssen natürlich ebenfalls $0,3A$ -Ausführungen sein. Der erforderliche Vorschaltkondensator muss den Wert $4,45\mu F$ haben.

Außer der günstigen Beschaffbarkeit dieser Röhren besteht ein besonderer Reiz der Exklusivität. Wer hat schon ein Radio mit P-Röhren? - Und das sogar noch weniger Verbrauch hat als das gleiche mit U-Röhren!

Die PY82 ist eigens ausgewiesen als Netzgleichrichterröhre. Es lassen sich aber auch die gängigen Boosterdioden wie PY80, PY83 und PY88 verwenden, allerdings ggf. nur mit Verdrahtungsänderungen wegen des eventuell vorhandenen Anodenkappenanschlusses.

In kleineren Geräten (Philetta) kann man statt der überdimensionierten PL84 auch die PL82 einsetzen, wobei der Katodenwiderstand ggf. zu wechseln ist. Die PL82 hat übrigens die gleiche Charakteristik wie die UL41!

Als Skalenlämpchen für $0,3A$ Heizkreise sind Fahrradlämpchen $6V/2,4W$, entsprechend $0,4A$, besonders geeignet. Da sie hier mit Unterstrom betrieben werden, leuchten sie weniger hell und haben dafür eine fast unbegrenzte Lebensdauer.

Berechnung des Kondensators

Hierzu sind mehrere Rechenvorgänge erforderlich. Es muss zunächst der Wirkwiderstand R_h des Heizkreises berechnet werden, indem die Summe aller Heizspannungen durch den Heizstrom geteilt wird. Anhand des folgenden Beispiels mit UCH42, 2xUAF42, UL41, UY41 und zwei Skalenlampen á $12V$ soll dies verdeutlicht werden:

$$R_h = \frac{U_{f_{ges}}}{I_f} = \frac{(14V + 12,6V + 12,6V + 45V + 31V + 12V + 12V)}{0,1A} = \frac{139,2V}{0,1A} = 1392\Omega$$

Danach muss der Scheinwiderstand Z_h des gesamten Heizkreises am Netz berechnet werden, indem die Netzspannung durch den Heizstrom geteilt wird:

$$Z_h = \frac{U_b}{I_f} = \frac{230V}{0,1A} = 2300\Omega$$

Durch geometrische Subtraktion ist daraus der kapazitive Blindwiderstand X_C zu errechnen:

$$X_C = \sqrt{Z_h^2 - R_h^2} = \sqrt{2300\Omega^2 - 1392\Omega^2} = 1830,939\Omega$$

Aus diesem Blindwiderstandswert kann nun durch die bekannte Formel des kapazitiven Blindwiderstandes der zugehörige Kapazitätswert berechnet werden:

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2 \times 3,1416 \times 50Hz \times 1830,939\Omega} = 1,74\mu F$$

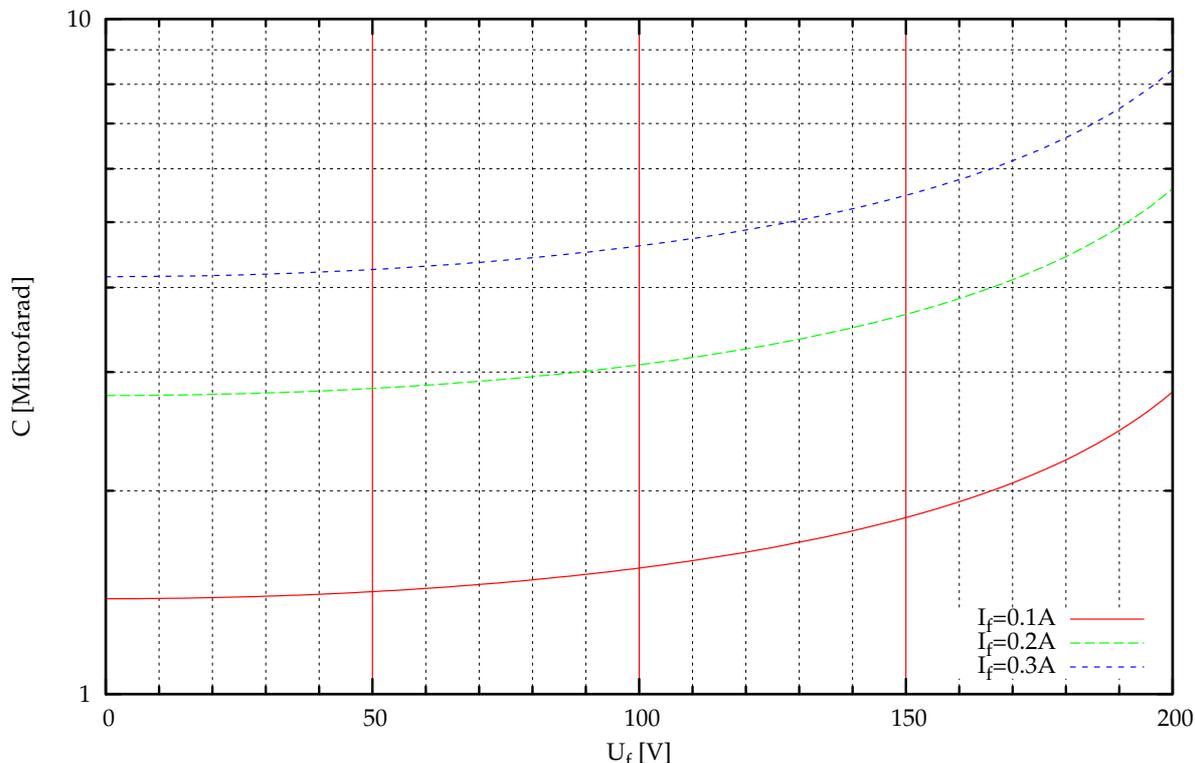
Wenn der Blindwiderstand des Kondensators klein gegenüber dem realen Widerstand der Heizfäden und Skalenlämpchen wird, sollte man dennoch über einen Schutz der Skalenlämpchen nachdenken. Die im Beispiel errechneten $1,74\mu F$ (entsprechend $1830,939\Omega$) lassen bei kalten Heizfäden (mit 0Ω angenommen) einen Strom von

$$I_k = \frac{U_b}{X_C} = \frac{230V}{1830,939\Omega} = 0,1256A$$

fließen, das entspricht $26mA$, also 26% mehr Strom als zulässig im schlechtesten Falle, wobei die Heizfäden tatsächlich mehr als 0Ω haben - ausprobieren ist angesagt. Aber behalten Sie schonmal einen Lämpchensatz auf Lager.

Als kleine Hilfe zur näherungsweisen Schätzung der vorkommenden Kondensatorwerte soll folgendes Diagramm dienen. Bitte beachten Sie:

- Das Diagramm weist an der y-Achse eine logarithmische Teilung auf.
- Auf der X-Achse ist die Summe der Einzelheizspannungen der Röhren aufgeführt.
- Das Diagramm beginnt an der y-Achse mit 1µF, nicht mit 0.
- Das Diagramm geht von 230V Netzspannung bei 50Hz Netzfrequenz aus.



Beachtenswertes

Gelegentlich befindet sich eine oder auch mehrere HF-Drosseln im Netzteil eines Allstromgerätes. Liegt diese im Netzeingang und somit auch vor dem Heizkreis, muss sie berücksichtigt werden, sobald ihre Induktivität eine bestimmte Größe überschreitet. Ihre Wirkung ist entgegengesetzt zum Kondensator und erhöht durch Reihenresonanz die Spannung.

Man kann ihre Wirkung abschätzen, indem man ihren induktiven Widerstand X_L ermittelt¹ und diesen vom kapazitiven Widerstand X_C des Kondensators subtrahiert.

Der induktive Widerstand X_C errechnet sich nach:

$$X_L = 2 \pi f L$$

Eine HF-Drossel von 10 mH = 0,01 H hat demnach

$$X_L = 2 \times 3,1416 \times 50\text{Hz} \times 0,01\text{H} = 3,14\Omega$$

Dieser Wert ist von den im Beispiel ermittelten $X_C = 1830,939\Omega$ zu subtrahieren, es verbleiben also 1827,799Ω. Diese geringe Abweichung kann durch den ohnehin erforderlichen Kondensatorabgleich kompensiert werden, vorausgesetzt, die HF-Drossel ist während dieses Abgleichs mit in der Schaltung.

¹ Hierzu muß natürlich der Wert der Drossel bekannt sein, was eher selten der Fall sein wird, es sei denn man verfügt über die entsprechenden Meßgeräte.

Auswahlkriterien für den Kondensator

Es kommen nur selbstheilende Kondensatoren in Frage, also solche, die bei einem eventuellen Durchschlag keinen dauerhaften Kurzschluss bilden können - dies wäre tödlich für die Röhren! Auf keinen Fall geeignet sind daher alte Papierwickel-Kastenkondensatoren, auch wenn dort schön "Prüfspannung 500 V" oder 1000 und mehr Volt drauf stehen.

Die Wahl fällt also auf MP-Kondensatoren oder andere selbstheilende Folienkondensatoren, die für mindestens 220V, 50Hz ausgelegt sind. Kondensatoren ohne Wechselspannungsangabe sollten mindestens 630V-DC-Typen sein, die Praxis zeigt jedoch, dass 400V-DC-Typen klaglos ihren Dienst tun (ohne Gewähr).

Da Kondensatoren mit genau dem berechneten erforderlichen Wert nicht erhältlich sind, muss dieser aus entsprechenden kleineren Werten zusammengesetzt werden. Dabei kann man nicht nach Kondensator-Werten gehen, denn die sind mit 10% Toleranz viel zu ungenau, da der Heizstrom nicht um $\pm 3\%$ abweichen soll. Stattdessen muss auf den exakten Strom abgeglichen werden. Daher schaltet man zu einem "Hauptkondensator" kleinere Werte parallel hinzu, bis der Strom möglichst genau stimmt.

Achten Sie bei diesem Abgleich darauf, dass die Netzspannung dabei dem "ortsüblichen" Normalwert entspricht, oft sind es um 227V statt nominell 230V. Achten Sie bei diesem Abgleich auch nur auf den exakten Strom, die Heizspannung einzelner Röhren spielt keine Rolle. Es ist hier bedeutungslos, ob an einer ECH3 statt 6,3V hier nur 5,8 oder gar 6,9V abfallen.

Parallel zu diesem Kondensator muss ein Widerstand geschaltet werden, damit dieser beim Abschalten nach einigen Sekunden entladen wird. Für Werte um $1\mu\text{F}$ sind ca. $5\text{M}\Omega$ geeignet, bei C-Werten gegen $5\mu\text{F}$ sind $1\text{M}\Omega$ OK. Durch diesen Entladewiderstand wird verhindert, dass man an einem gezogenen Gerätestecker keinen Stromschlag erhält, da solche Kondensatoren sehr lange ihre Ladung halten können. Ferner wird verhindert, dass zufällig beim Ausschalten der Kondensator gerade noch auf einen hohen Spannungswert geladen war und beim nächsten Einschalten gerade auf ein umgekehrtes Spannungsmaximum geschaltet wird, mit der Folge eines sehr hohen, wenn auch nur sehr kurzen Stromimpulses, der aber für die Skalenlämpchen u. U. doch tödlich sein kann.

Außer Neukauf findet man für mindestens 220V, 50Hz Wechselspannung geeignete MP- oder Folienkondensatoren oft in zu entsorgenden Gasentladungslampen (Leuchtstofflampen, HQL-, HQI- Lampen, etc.) sowie bei Einphasen-Wechselstrommotoren in den verschiedenartigsten Geräten, z. B. Wasch- und Geschirrspülmaschinen. Diese sind oft für weit höhere Spannungen als 230V ausgelegt und daher praktisch ewig haltbar. Auch wer Zugriff auf ausschlachtbare gewerbliche und industrielle Geräte und Schaltungen hat, wird hier fündig werden.

Ich habe ca. 20 Geräte in dieser Technik, die wechselweise ständig in Betrieb sind. Probleme gab es damit bisher noch nie.

Von Jacob Roschy © 2004 für www.radiomuseum.org, editiert von Patrik Schindler © 2006.