

Kettenverstärker

Digitalisiert für RM.org aus [1]. Die Kettenverstärker werden nur in der 1. Auflage des „Zinke-Brunswig“ behandelt. Für die 2. Auflage galten sie offensichtlich bereits als veraltet.

1 Kettenverstärker

Kettenverstärker dienen zum Verstärken besonders breiter Übertragungsfrequenzbereiche, wenn normale Breitbandverstärker ausscheiden. Sie finden daher vor allem als Meßverstärker in Breitbandoszillographen Anwendung, werden aber auch als Antennenverstärker für Breitbandantennen, als Videoverstärker in der Fernsehtechnik und als Anzeigeverstärker für Zählrohrsignale bei der Strahlungsmessung eingesetzt.

Die Schaltungsanordnung einer Kettenverstärkerstufe zeigt Abb. 1.1.

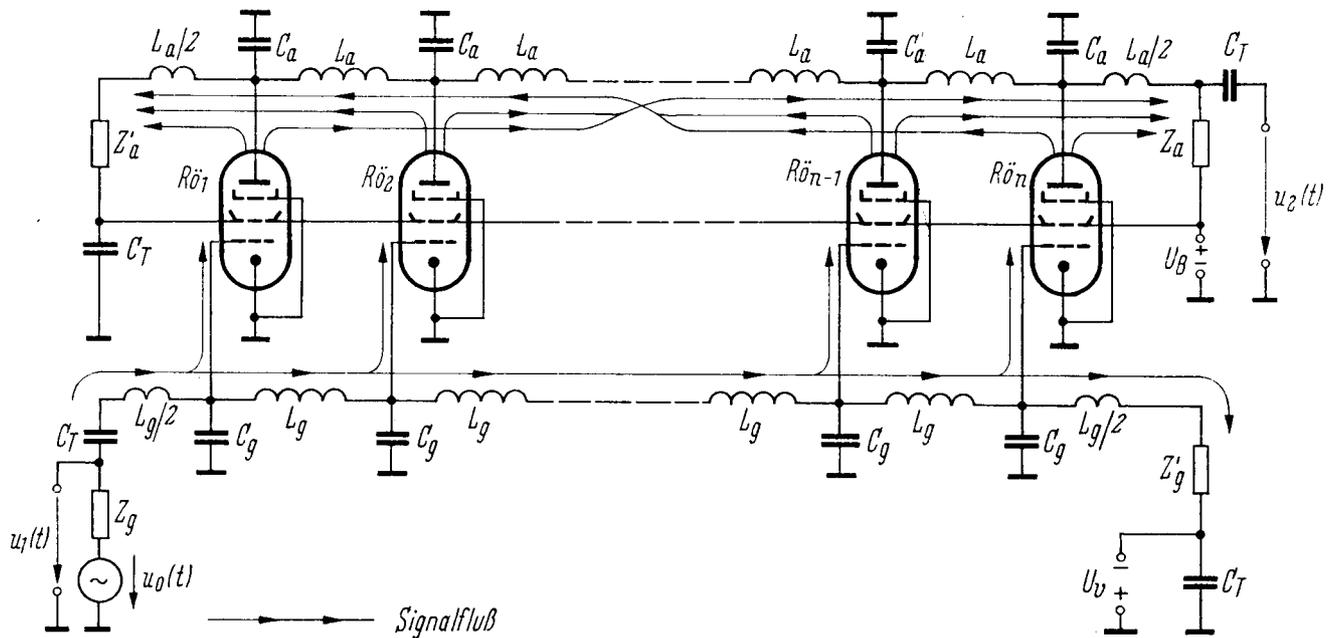


Bild 1.1: Schaltungsanordnung einer aus n gleichen Röhrensystemen aufgebauten Kettenverstärkerstufe

Sie besteht aus n gleichen Röhrensystemen $Rö_1$ bis $Rö_n$ die über je einen Tiefpaßkettenleiter im Gitter- und Anodenkreis parallel geschaltet sind. Die Gitter- und Anodenkapazitäten C_g und C_a werden durch Einbeziehen in die beiden Verzögerungssysteme in ihrer schädlichen Wirkung ausgeschaltet, so daß das Frequenzverhalten der Verstärkeranordnung durch die beiden Verzögerungsleitungen bestimmt wird.

Das steuernde Eingangssignal $u_1(t)$ läuft in der Gitterkette, die durch die Induktivitäten L_g und die Röhreneingangskapazitäten C_g gebildet wird, entsprechend der eingezeichneten Pfeilrichtung vom treibenden Generator $u_0(t)$ auf den rechten Abschluß Z'_g zu. Nach jedem Glied wird das Steuersignal für eine Röhre entnommen, deren Anodenwechselstrom in der Anodenkette, die aus den Induktivitäten L_a und den Röhrenauskapazitäten C_a gebildet wird, wie die Pfeile zeigen, zur Hälfte zum linken, zur Hälfte zum rechten Abschlußwiderstand läuft. Sind die beiden Verzögerungsketten homogen und in ihrer Verzögerung gleich bemessen, so werden sich im rechten Anodenabschlußwiderstand Z_a die Teilwellen der einzelnen Röhrenströme phasenrichtig zum Ausgangssignal $u_a(t)$ aufaddieren. Die übrigen Abschlüsse, insbesondere der linke Anodenabschlußwiderstand Z'_a müssen dem Wellenwiderstand der Verzögerungskettenleiter gut angepaßt sein, um Echos zu vermeiden, die auf Grund ihrer falschen Phasenlage Störungen hervorrufen würden. Die Kondensatoren C_T , die außer den Stromversorgungsquellen für die Anoden- und Schirmgitterspannung U_B und die Steuergittervorspannung U_v der Röhren noch im Schaltbild Abb. 1.1 enthalten sind, dienen zur gleichstrommäßigen Trennung und haben keinen Einfluß auf die Wirkungsweise der Anordnung.

Die Verstärkung v_{st} der in Abb. 1.1 dargestellten Kettenverstärkeranordnung wird bestimmt durch

$$v_{st} = \text{Gesamtsteilheit} \cdot \text{Arbeitswiderstand} = nS \frac{Z_a}{2}$$

Dabei ist nS die Gesamtsteilheit der n parallel geschalteten, gleichen Röhren der Steilheit S und der Abschluß Z_a ihr gemeinsamer Arbeitswiderstand. Der Faktor $1/2$ kommt von der gleichmäßigen Aufteilung der Anodenströme in Richtung Z_a und Z'_a , da diese Widerstände die gleiche Größe besitzen ($Z_a = Z'_a$).

In Abb. 1.2 sind 3 Kettenverstärkerstufen zu je 4 Röhren in Kaskade geschaltet.

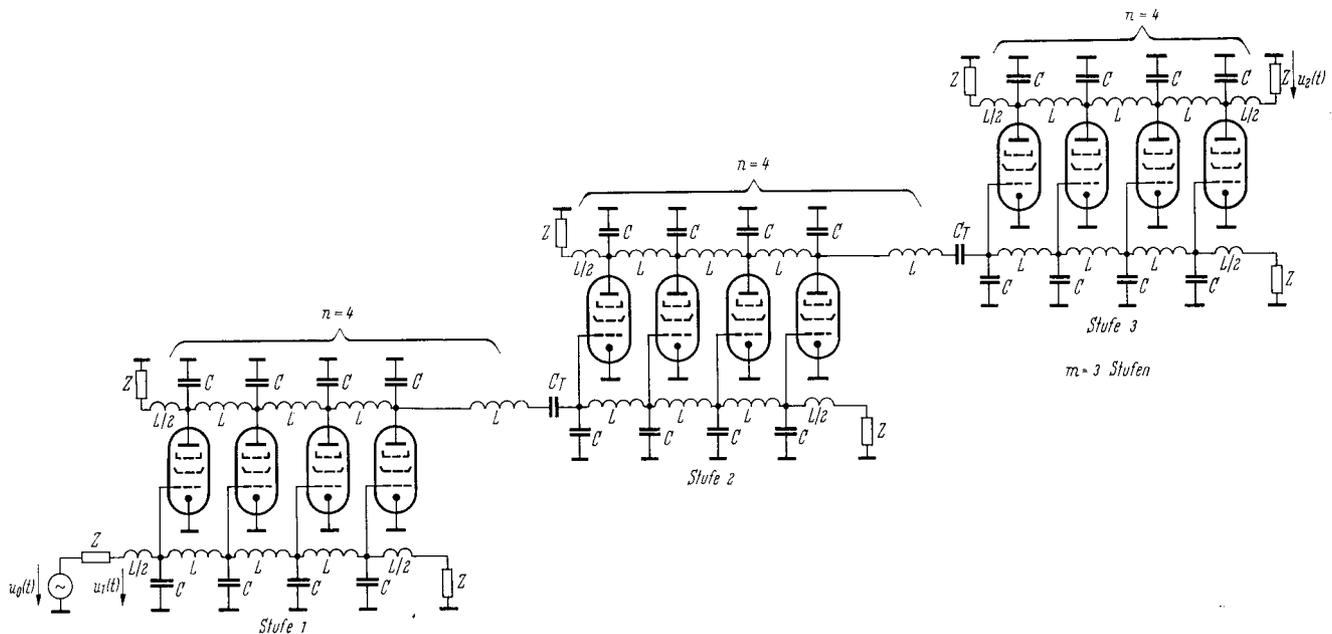


Bild 1.2: Prinzip einer dreistufigen Kettenverstärkerkaskade mit gleichen Wellenwiderständen der Gitter- und Anodenkettenleiter. Die Stromversorgung der Röhren ist fortgelassen, die Kondensatoren C_T deuten die gleichstrommäßige Trennung der Stufen an.

Dabei sind die Wellenwiderstände der Anoden- und Gitterkettenleiter jeweils aufeinander folgender Stufen aneinander anzupassen. Werden, wie in Abb. 1.2 keine Transformatoren vorgesehen, so müssen die Wellenwiderstände gleich sein

$$Z = Z_g = Z_a = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

Nach Einführen ihrer Grenzfrequenz $f_g = \frac{1}{\pi\sqrt{LC}}$ ergibt sich für eine mit n Röhren von gleicher Steilheit S bestückte Kettenverstärkerstufe die Stufenverstärkung v_{st}

$$v_{st} = nS \frac{Z_a}{2} = \frac{nS}{2} \sqrt{\frac{L}{C}} = \frac{nS}{2\pi f_g C}$$

und für m in Kaskade geschaltete, gleiche Stufen die Gesamtverstärkung v_{ges}

$$v_{ges} = (v_{st})^m = \left(\frac{nS}{2\pi f_g C} \right)^m$$

Die Anordnung enthält dann

$$N = n \cdot m = \frac{2\pi f_g C}{S} m \sqrt[m]{v_{ges}}$$

Röhrensysteme.

Durch Differenzieren finden wir das Aufwandsminimum

$$\frac{dN}{dm} = 0 = \sqrt[m]{v_{ges}} - \frac{m \sqrt[m]{v_{ges}} \ln(v_{ges})}{m^2}$$

so daß sich für die Anzahl der Stufen

$$m = \ln(v_{ges}) \quad \text{oder} \quad v_{ges} = e^m$$

ergibt. Dadurch ist auch die Anzahl der Röhren je Stufe bestimmt

$$n = \frac{2\pi f_g C}{S} \sqrt[m]{e^m} = \frac{2\pi f_g C}{S} \cdot e$$

wobei $e = 2,718$ die Basis des natürlichen Logarithmus bedeutet. Bei einem Minimum an Aufwand ist die Anzahl der Röhrensysteme durch die Beziehung

$$N = n \cdot m = \frac{2\pi f_g C}{S} \cdot e \ln(v_{ges})$$

gegeben, so daß die Anzahl der Röhrensysteme je Stufe n durch die geforderte Bandbreite ≈ 0 bis f_g , die Anzahl der Stufen m durch die Größe der Gesamtverstärkung v_{ges} der Anordnung festgelegt wird.

Das Frequenzverhalten des Kettenverstärkers wird durch die Eigenschaften seiner Kettenleiter bestimmt. Im Bereich der Grenzfrequenz ist der Wellenwiderstand $\sqrt{L/C} \sqrt{1 - (f/f_g)^2}$ so daß die Kettenleiter nicht mehr an die Abschlußwiderstände angepaßt sind. Daher finden an Stelle der einfachen LC-Tiefpaßglieder Abb. 1.3 a meist transformatorisch gekoppelte LC-Glieder entsprechend Abbildung 1.3 b Anwendung, die bei richtiger Bemessung der Gegeninduktivität M einen geebneten Verlauf des Wellenwiderstandes über der Frequenz besitzen. Unter Berücksichtigung der Spulenkapazität C' entstehen daraus überbrückte T-Glieder, wie sie Abb. 1.3 c zeigt. Berechnung siehe [2].

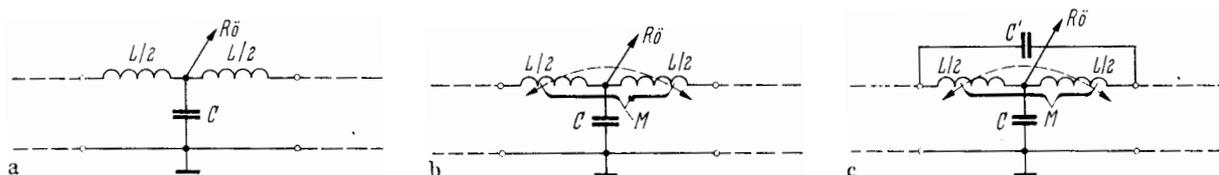


Bild 1.3: Kettenleitglieder für Verzögerungsleitungen von Kettenverstärkern: a Einfaches LC-Tiefpaßglied, b Transformatorische Kopplung zur Ebnung der Frequenzabhängigkeit des Wellenwiderstandes; c Überbrücktes T-Glied, erzeugt durch die Spulenkapazität C'

Bei sehr hohen Frequenzen ($f > 100$ MHz) kommt die bedämpfende Wirkung des reellen Eingangswertes der Röhren infolge Elektronenlaufzeit und Kathodenzuleitungsinduktivität als zusätzliche Störung hinzu [3]. Dadurch wird die erreichbare Frequenzgrenze des Kettenverstärkers bestimmt. Mit Breitbandpentoden lassen sich 300 MHz, mit Höchsthäufigkeitsdioden 1 GHz als Grenzfrequenz erreichen.

Literatur

[1] Zinke, O.; Brunswig, H.: *Lehrbuch der Hochfrequenztechnik*, 1.A., Springer, 1965, Kap. 9.1.10, pp. 363 — 366

[2] Esser, A.: *Kettenverstärker*. in: Taschenbuch der Hochfrequenztechnik. Hrsg.: F.W. Gundlach u. H. Meinke. 2. A. Springer, 1962, pp. 947 — 955.

[3] Feigs, H.: *Der Kettenverstärker*, Funk und Ton 3, 1949, pp. 291 — 301