

# Differential-Vorverstärker für elektrophysiologische Zwecke und für Brückenmessungen

Autor(en): **König, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Helvetica Physica Acta**

Band (Jahr): **11 (1938)**

Heft VI

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-110864>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

# Differential-Vorverstärker für elektrophysiologische Zwecke und für Brückenmessungen

von H. König (Bern).

(Mitteilung aus dem Eidg. Amt für Mass und Gewicht.)

(10. VIII. 38.)

*Zusammenfassung:* Beschreibung eines von magnetischen Kopplungen freien Differential-Vorverstärkers, der die Spannungsdifferenz zwischen zwei Polen unabhängig von deren absolutem Potential (bezogen auf Erde) bei einpolig geerdetem Ausgang zu übertragen gestattet.

Beim experimentellen Studium der durch künstliche Reizung hervorgerufenen Aktionspotentiale rührt ein grosser Teil der Störungen davon her, dass eine der vom Nerven zum Verstärker führenden Ableitelektrode geerdet werden muss, wenn letzterer normal, d. h. mit einfachem Eingang, gebaut ist. Insbesondere stört der sog. Reizeinbruch, welcher darin besteht, dass z. B. bei unsymmetrisch zur Erde erfolgender Reizung (siehe Fig. 1a) im

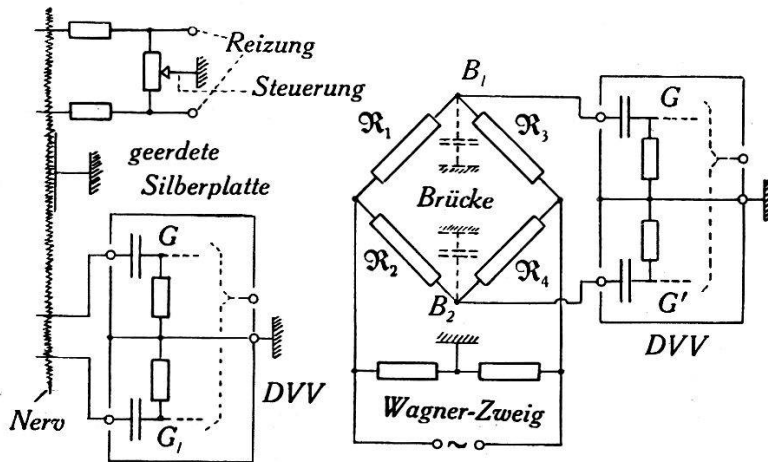


Fig. 1a.

Fig. 1b.

Anschluss des Differential-Vorverstärkers DVV.

a) an das biologische Objekt. b) an die Wheatstone-Brücke.

Massnahmen zur Bekämpfung der Störungen.

Augenblicke der Reizung die nicht-geerdete Ableitelektrode elektrisch beeinflusst wird, was mit den zu untersuchenden Aktionspotentialen, welche später beim Verstärker eintreffen, und meist nur einen Bruchteil des Reizeinbruchs ausmachen, nichts zu tun hat. Wenn der Hauptverstärker kein Gleichstromverstärker ist, kann er durch den Reizeinbruch vorübergehend am richtigen Funktionieren verhindert werden.

Bei Wechselstrom-Brückenmessungen dürfen die Anschlusspunkte für das Nullinstrument ( $B_1$  und  $B_2$  in Fig. 1b) *nicht* geerdet werden.

In beiden Fällen findet mit Vorteil der nachstehend beschriebene Differential-Vorverstärker (DVV) nach Art einer Röhrenbrücke mit doppeltem Eingang Verwendung.

Die Röhrenbrücke, bestehend aus zwei symmetrischen Röhren und Nullinstrument zwischen den beiden Anoden, wird als verbrauchsarmes und von Betriebsspannungs-Schwankungen weitgehend unabhängiges Gerät für Ionisations- und Photostrommessungen häufig gebraucht.

Der DVV<sup>1)</sup> ist eine solche Röhrenbrücke, die aber als Hauptelement eine Umkehröhre ( $V_2$  in Fig. 2) enthält und derart abgeglichen ist, dass den beiden Eingangspolen gemeinsame Potentialschwankungen am Ausgang näherungsweise unwirksam sind, trotzdem letzterer einpolig geerdet ist und ohne dass magnetische Übertrager Verwendung finden.

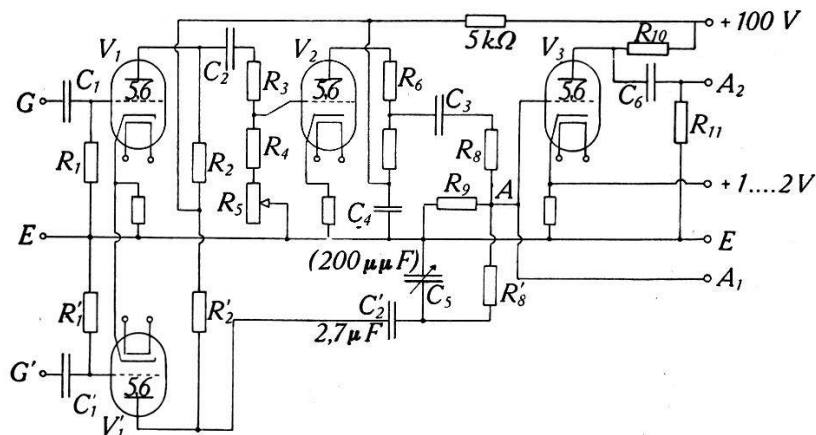


Fig. 2.

Differential-Vorverstärker. Der Zweig  $G-A$  arbeitet dem Zweig  $G'-A$  in Bezug auf gleiche Eingangsspannungen an  $G$  und  $G'$  (gegen  $E$ ) entgegen.

Bevor auf Einzelheiten eingegangen wird, seien kurz die bekannten wesentlichen Massnahmen zur Beseitigung der Störeffekte erwähnt.

Massnahmen zur Herabsetzung des Reizeinbruches sind (Fig. 1a):

1. Überbrückung des Reizapparates ausgangsseitig mit einem passend geerdeten Widerstand, evtl. nach BISHOP derart, dass die dem Verstärker näher liegende Elektrode stets Erdpotential behält.
2. Führung des Nerven über eine geerdete Platte.

<sup>1)</sup> Für Prof. ASHER, Physiologisches Institut Bern, hergestellt von O. WELTER, Physikalisch-Chemisches Laboratorium, Bern-Wabern.

3. Bei Verwendung eines normalen Verstärkers Erdung der dem zu reizenden Nervenende zugekehrten Ableitelektrode.

4. Induktives Einkoppeln eines Gegen-Einbruchs in den Heizkreis.

Massnahmen zur Beseitigung der Wirkung der Störkapazitäten der Brückenpunkte  $B_1$  und  $B_2$  gegen Erde sind (Fig. 1b):

1. Steuerung des Potentials von  $B_1$  und  $B_2$  durch den Wagner-Kreis, welcher vor der Hauptabgleichung roh derart eingestellt wird, dass die Potentiale der Brückenpunkte nahe an Erde liegen (Schutzringprinzip).

2. Verwendung magnetisch geschirmter, kapazitätsarmer Übertrager.

Die verschiedenen Massnahmen können miteinander kombiniert werden.

Die Entwicklung der magnetischen Übertrager und des magnetischen Schutzes derselben ist dank dem Permalloy soweit gediehen, dass bei Brückenmessungen die Nachfrage nach einem magnetisch störungsfreien Verstärker vor dem Nullinstrument nicht mehr so gross ist. Immerhin scheint bei Präzisionsmessungen mit  $50 \sim$  die Verwendung des DVV gegenüber einem normalen guten Eingangsübertrager einen kleinen Fortschritt darzustellen.

In der Elektrophysiologie sind magnetische Übertrager verpönt, da abgesehen von der Störanfälligkeit der Frequenzbereich nach unten hin für viele Zwecke nicht ausreicht. In diesem Falle scheint also das Arbeiten mit einem DVV in reiner CR-Schaltung das Gegebene zu sein.

*Aufbau und Wirkungsweise des DVV.* Die Ableitelektroden werden mit den beiden Gittern  $G$  und  $G'$  (Fig. 2) verbunden. Der Reizeinbruch besteht nun in einer für beide Ableitungen gleichnamigen Potentialänderung. Die Umkehrrohre  $V_2$  im einen Zweig des Verstärkers sorgt aber dafür, dass gleichnamige Potentialänderungen an  $G$  und  $G'$  sich im Vereinigungspunkt  $A$  von  $R_8$  und  $R_8'$  als ungleichnamige auswirken. Die Mischung in  $A$  erfolgt zu gleichen Teilen, d. h. der Amplituden- und Phasengang ist für alle in Frage kommenden Frequenzen ( $10$  bis  $10^4 \sim$ ) für beide Zweige  $G-A$  und  $G'-A$  bis auf die Umklappung des Spannungsvektors um  $180^\circ$  gleich.

Der Amplitudenausgleich erfolgt durch Regulieren an  $R_5$ , der Phasenabgleich bei hohen Frequenzen durch Verändern von  $C_5$ . Der Phasenabgleich am untern Ende des Spektrums wird ein für alle Mal durch geeignete Wahl von  $C_2'$  ( $= 2.7 \mu F$ ) vorgenommen.

Vollständige Gleichheit beider Frequenzgänge ist nicht zu erreichen. Eine kleine Verbesserung bei tiefen Frequenzen kann

dadurch erreicht werden, dass an Stelle des Gliedes  $C_2'R_8'$  eine Kettenschaltung zweier  $CR$ -Glieder (die  $R$  als Querableitungen) eingeführt wird, weil dadurch die Anpassungsfähigkeit an das komplexe Übertragungsmass des Zweiges  $G—A$  besser möglich ist. Man kann aber auf diese Komplikation verzichten, indem man die untere Frequenzgrenze der Glieder von  $C_2$  bis  $R_8$  im einen Zweig, von  $C_2'$  bis  $R_8'$  im andern Zweig genügend gross nimmt, z. B. Zeitkonstante = 0,2 s, und dann das Frequenzband mit den Gliedern  $C_1R_1$  bzw.  $C_1'R_1'$  (Zeitkonstante = 0,1 s) oder auch mit dem Glied  $C_6R_{11}$  etwas beschneidet. Auf diese Art kann man erreichen, dass Impulse der mittleren Dauer 0,00005 bis  $\infty$  Sekunden, welche beide Gitter treffen, bezogen auf Eingangsseite auf weniger als 1% des Primärwertes herabgedrückt werden. Eine Ausdehnung des Frequenzbandes des gesamten  $DVV$  ist durch proportionale Vergrößerung aller Kapazitäten ohne weiteres möglich.

Durch die Spannungsteiler vor dem Eingang von  $V_2$  und vor  $C_3$  wird die durch  $V_2$  bedingte überschüssige Verstärkung vernichtet. Diese Vernichtung erfolgt teilweise *nach*  $V_2$ , damit sich der Störpegel von  $V_2$  nicht mit vollem Gewicht zu demjenigen von  $V_1$  addiert, was von Bedeutung ist, da mit einigen Zehntel Millivolt der Endverstärker voll angesteuert werden soll.

Der *Regulierbereich* von  $R_5$  entspricht etwa  $\pm 1\%$  Änderung des Verstärkungsgrades des Zweiges  $G—A$ ; eine Verdrehung von  $C_5$  in die Endstellungen gibt infolge Verstimmung der Abgleichung Ausschläge von der gleichen Grösse, wie man sie erhalten würde, wenn man an  $R_5$  den Verstärkungsgrad des Zweiges  $G—A$  bei 1000  $\sim$  um  $\pm 0,6\%$ , bei 5000  $\sim$  um  $\pm 3\%$  usw. ändern würde. Die Stellung von  $C$  ist für alle Frequenzen dieselbe, wird aber durch konstruktive Änderungen im Verstärker leicht beeinflusst.

Eine einfache Art der Einregulierung des  $DVV$  erfolgt durch Verbinden beider Gitter, Anlegen derselben über einen nicht zu niederohmigen Teiler an eine Spannung gegen Erde und periodisches Erden der Gitter mittelst eines improvisierten Unterbrechers, der aus einem geerdeten schweren Zahnrad und aus einer auf den Zähnen desselben schleifenden, mit den Gittern verbundenen Feder besteht. Setzt man das Rad in Schwung und lässt es auslaufen, so werden die Gitter mit allen nötigen Frequenzen angestossen. Als Indikator kann ein Telephon zwischen  $A_2$  und Erde dienen.

*Prüfung mit sinusförmigem Wechselstrom.* Die Abgleichung ist schwach frequenzabhängig. An den Enden des Arbeitsspektralbereiches muss man an  $R_5$  im Sinne der Erniedrigung des Ver-

stärkungsfaktors des Zweiges  $G—A$  regulieren, und zwar um  $\frac{1}{3}\%$  bei ca. 30 und 7000  $\sim$  und um  $1\%$  bei 10 und 10000  $\sim$ . Bei  $C_5$  ist ein und dieselbe Einstellung für alle Frequenzen die beste. Meistens wird man  $R_5$  auf der zwischen 100 und 3000  $\sim$  bestimmten Stellung stehen lassen und kann dann damit rechnen, dass den beiden Gittern gemeinsam aufgeprägte sinusförmige Spannungsschwankungen zwischen 10 und 10000  $\sim$  auf unter  $1\%$ , zwischen 30 und 7000  $\sim$  auf unter  $\frac{1}{2}\%$  (verglichen mit der Wirkung einer eingangsseitig gleichgrossen Spannungsdifferenz zwischen den Gittern) herabgedrückt werden.

*Prüfung mit einzelnen Impulsen.* Nach FOURIER ist eine Kondensatorentladung mit der Zeitkonstante  $CR = T$  gleichwertig einem gewissen Frequenzgemisch, in welchem die Frequenzen um  $\approx 1/T$  herum überwiegend vertreten sind. Dementsprechend ist für  $T = 0,01$  bis  $0,001$  s, welche Zeitkonstanten in der Physiologie am wichtigsten sind, eine fast vollkommene Neutralisierung möglich. Die Form der restlichen, weniger als  $\frac{1}{2}\%$  ausmachenden Impulse ist recht komplex; erwartungsgemäss enthalten sie im wesentlichen einen rasch verlaufenden Anteil mit  $T < 0,0002$  s (entsprechend der Unvollkommenheit der Kompensation bei hohen Periodenzahlen), einen nichtlinear (s. unten) verzerrten Anteil mit einem mittleren  $CR \approx$  demjenigen des Primärimpulses, und einem langsamen, stark gedämpft ausklingenden Ausgleichsvorgang mit den Hauptfrequenzen 10 bis 50  $\sim$ . Dass für alle  $T$  eine Neutralisierung auf  $1\%$  gewährleistet ist, wurde bereits erwähnt.

*Nichtlinearität.* Bei grösseren Eingangsspannungen macht sich die Ungleichheit der Krümmung der Spannung-Strom-Charakteristik der beiden Zweige  $G—A$  und  $G'—A$  störend bemerkbar. Die obigen Angaben beziehen sich auf Wechselspannungen unter  $0,1$  V effektiv bzw. Impulse vom Scheitelwert unter  $0,3$  V.

Der Nachverstärker kann bei  $A_1$  oder  $A_2$  angeschlossen werden. Die Spannungsverstärkung des  $DVV$  vom Eingang bis  $A_1$  beträgt etwa 6, vom Eingang bis  $A_2$  etwa 50; bei 10  $\sim$  ist sie  $15\%$  und bei  $10^4$   $\sim$  ist sie  $10\%$  kleiner als im mittleren Frequenzbereich.

Bei Verwendung des  $DVV$  zusammen mit Hauptverstärker und Vibrationsgalvanometer in einer gut geschützten Brücke bei 50  $\sim$  zeigt sich, dass durch Ersatz des Übertragers durch den  $DVV$  relativ (d. h. unter Nicht-Berücksichtigung der zusätzlichen Verstärkung durch den  $DVV$ ) die Störungen etwa auf  $\frac{1}{10}$  herabgedrückt werden. Manchmal dringt irgendwoher eine 50-periodige Störung in das Nullinstrument, welche durch Regulieren an  $R_5$  nicht mehr

beseitigt werden kann. In diesem Fall hilft folgender Kunstgriff: Die Erdleitung des *DVV* wird über eine ebenfalls 50-periodige Spannung von etwa  $\frac{1}{2}$  Millivolt an die Brückenerde gelegt. Diese Hilfsspannung wirkt als eine beiden Gittern gemeinsam aufgeprägte Spannung, und da sie erheblich grösser ist als die zu untersuchende Spannung zwischen den Brückenpunkten, ist der Einfluss einer Änderung von  $R_5$  entsprechend grösser.

Bei elektrophysiologischen Versuchen hat sich der *DVV* bewährt. Prof. ASHER wird hierüber an anderer Stelle berichten.

---