

# Passive Telemetrie mit Absorptions-Modulation

Autor(en): **Neukomm, P. A. / Baggenstos, H. / Kündig, H.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **80 (1989)**

Heft 7

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-903666>

## **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.

# Passive Telemetrie mit Absorptions-Modulation

P. A. Neukomm, H. Baggenstos und H. Kündig

**Der Beitrag stellt eine neue Telemetriemethode vor, die sich zur Langzeit-Mehrkanal-Datenübermittlung über kurze Distanzen eignet. Der Messwertsender ist völlig passiv und enthält weder Batterien noch aktive Sender. Der Messwertsender und der Messwertempfänger sind über kleine Schleifenantennen gekoppelt. Der Messwertsender entzieht dem einfallenden HF-Feld einen konstanten Energiebetrag zur Eigenversorgung sowie einen variablen Betrag durch Absorptions-Modulation zur Signalübermittlung.**

**L'article présente une nouvelle méthode de télémetrie qui se prête à la transmission multicanal de données de longue durée. L'émetteur de valeurs de mesure est entièrement passif et ne comporte ni batterie ni un émetteur actif. Emetteur et récepteur sont couplés par l'intermédiaire de petites antennes à cadre. Pour son alimentation, l'émetteur soustrait au champ HF incident une quantité d'énergie constante, et pour la transmission des signaux une quantité variable par le biais de modulation par absorption.**

## Adresse der Autoren

Dr. Peter A. Neukomm, Professur für Elektrotechnische Entwicklungen und Konstruktionen, ETH Zürich, 8092 Zürich; Prof. Heinrich Baggenstos, Institut für Feldtheorie und Höchstfrequenztechnik, ETH Zürich, 8092 Zürich und Dr. Hans Kündig, Institut für Andrologie und Gynäkologie, Universität Zürich, 8057 Zürich.

Unter passiver Telemetrie versteht man eine Fernmessmethode, bei der die Telemetriesender ohne eigene Energiequellen arbeiten, beispielsweise:

- normale Telemetriesender mit induktiver Speisung,
- Responder, die eine Anregungsfrequenz vervielfachen,
- Resonatoren, die mit Dirac-Stößen angeregt werden,
- Resonatoren, deren Resonanzfrequenz durch Modulation verändert wird.

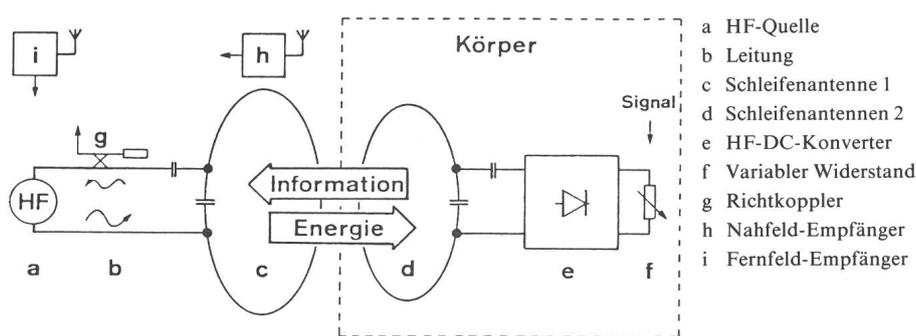
Neu ist das Prinzip der *Absorptions-Modulation*: Einem im Raum vorhandenen elektromagnetischen Feld wird partiell und pulsierend Energie entzogen. Damit wird eine propagierende Feldstörung und eine Energie-Zuflussstörung erzeugt, welche die Nachricht überträgt. Passive Telemetriesysteme eignen sich unter anderem zur kontinuierlichen Langzeitüberwachung von Körperfunktionen (z.B. bei trächtigen Kühen), da die implantierten Messsender von aussen mit Energie versorgt werden.

Das Funktionsprinzip ist in Figur 1 dargestellt: Eine starke HF-Quelle a speist über eine lange Leitung b eine Schleifenantenne c. Durch enge Kopplung mit der messwertsenderseitigen Schleifenantenne d wird HF-Energie übertragen und durch den HF-DC-

Konverter e in Gleichstrom-Energie umgewandelt. Das Messsignal steuert den DC-Energieverbrauch, dargestellt durch den variablen Widerstand f, und bewirkt eine HF-Absorptions-Modulation, die sich vor allem auf die rücklaufenden Wellen auswirkt und mit dem Richtkoppler g detektiert werden kann. Gleichzeitig kann im Nahfeld mit Empfänger h oder im Fernfeld mit Empfänger i eine Amplituden- und Phasenvariation gemessen werden.

Bei kleinen Kopplungsabständen eignen sich beidseitig Schleifenantennen, wobei der Kopplungsabstand nicht grösser sein soll als der halbe Schleifenantennen-Durchmesser, sofern Wert auf einen hohen Energietransfergrad gelegt wird. Bei grossen Abständen soll zumindest die Energiesendeantenne als Richtantenne ausgebildet werden, da die rückgestrahlte Signalleistung mit der vierten Potenz des Kopplungsabstandes abnimmt.

Bei enger Kopplung werden beide Schleifenantennen mittels Kapazitäten auf Resonanz und Impedanzanpassung abgestimmt. Eine geringfügige, durch das Messsignal verursachte variable Verstimmung führt zu einer variablen reflektierten Welle und zu Variationen im Nah- und Fernfeld, so dass die Nachricht an diesen drei Orten wahlweise aufgefangen werden kann.



Figur 1 Funktionsprinzip der Absorptions-Modulation

### Modellierung des Systems

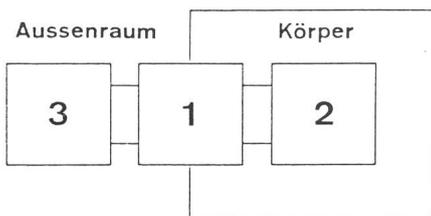
Die feldtheoretische Analyse des in der Einleitung beschriebenen Telemetriesystems soll kurz besprochen werden. Dazu wird eine Aufteilung in Subsysteme nach Figur 2 vorgenommen, wobei vernünftigerweise gleich vorgegangen wird wie bei der Synthese des Systems.

Die beiden Schleifenantennen c und d, die die Felder ausserhalb und innerhalb des Körpers zum Zweck der Energie- und Signalübertragung miteinander koppeln, bilden das Subsystem 1. HF-DC-Konverter, Sensor und Modulator bilden das Subsystem 2 im Körperinnern, während HF-Generator und -Detektor ausserhalb des Körpers das Subsystem 3 darstellen.

Die beiden Schleifen liegen in einem räumlichen Gebiet, dessen grösste Abmessung 10 cm nicht überschreitet. Ausserhalb des Körpers pflanzt sich das elektromagnetische Feld mit der Phasengeschwindigkeit

$$v_a \approx c = 1 / \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \quad (1)$$

fort und innerhalb des Körpers im Muskelgewebe  $\sigma \approx 1000 \text{ mS/m}$ ;  $\epsilon_r \approx 50$ ;  $\mu_r \approx 1$ ) mit  $v_i \approx v_a / 15$ . Bei einer HF-Frequenz von 27 MHz ergeben sich Wellenlängen von etwa 10 m und 60 cm. Da diese Wellenlängen bedeutend grösser sind als die grösste räumliche Abmessung des Subsystems, muss die Retardierung des Feldes in diesem Gebiet nicht berücksichtigt werden (quasistationäre Problembehandlung). Bei vorgegebenen Strömen von beiden Schleifen kann das dadurch erzeugte magnetische Feld statisch bestimmt werden. Es existieren geschlossene analytische Ausdrücke für die Selbst- und Gegeninduktivitäten, wenn die Leitfähigkeit des Körpers nicht berücksichtigt wird. Die Verluste, verursacht durch Körpergewebe und Schleifenmaterial, können durch Einfügen entsprechender ohm-

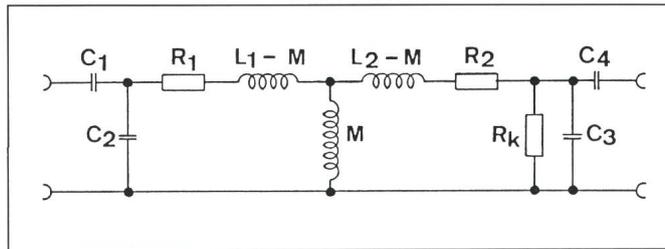


Figur 2 Subsysteme und ihre räumliche Anordnung

Subsystem 1: gekoppelte Schleifen mit Anpassnetzwerken

Subsystem 2: Last: HF-DC-Konverter mit Modulator und Sensor

Subsystem 3: HF-Generator und -Detektor



$L_1, L_2, C_1, \dots, C_4$   
5. Figur 1  
 $R_1, R_2$   
Verluste in den Schleifen  
 $M$   
Aus Tabellen [2; 3]  
 $R_k$   
Verluste in biologischem Material

Figur 3 Ersatzschaltung von Subsystem 1

scher Widerstände in der Ersatzschaltung berücksichtigt werden [1; 2]. Die Ersatzschaltung des Subsystems 1 findet sich in Figur 3. Die Verluste können beträchtlich reduziert werden, wenn die innere Schleife in die Fettschicht mit  $\sigma \approx 30 \text{ mS/m}$  und nicht in das Muskelgewebe mit  $\sigma \approx 1000 \text{ mS/m}$  eingelegt wird. Die Subsysteme 2 und 3 können in gleicher Weise wie das Subsystem 1 je durch eine Ersatzschaltung dargestellt werden.

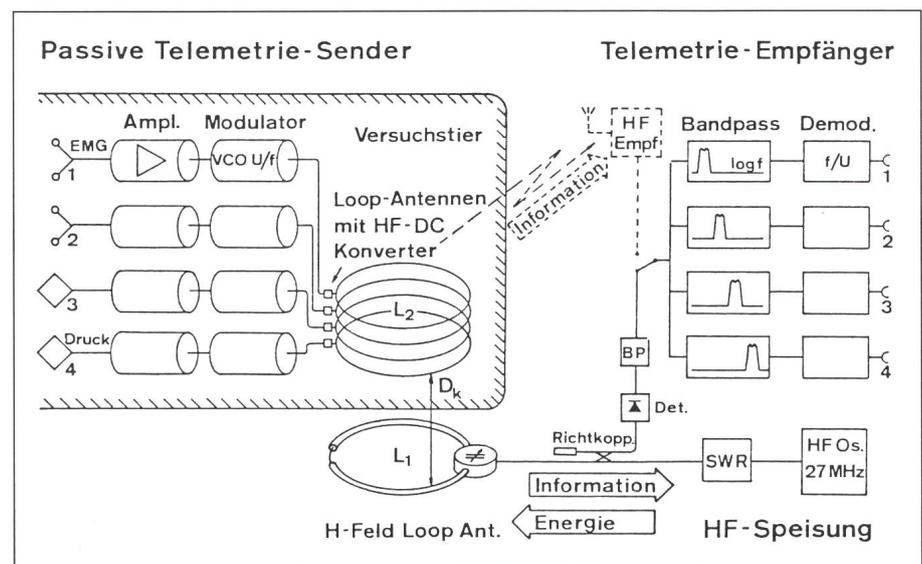
Eine überzeugendere Bestimmung der Parameter der Ersatzschaltung der gekoppelten Leiterschleifen wäre natürlich durch eine numerische Feldberechnung z.B. mittels der in der Fachgruppe Feldtheorie des Instituts für Feldtheorie und Höchstfrequenztechnik entwickelten Multiple-Multipol-Methode möglich. In der Praxis wird auf eine Feldberechnung verzichtet, und die Parameter werden durch Messungen bestimmt. Das elektromagnetische Feld der gekoppelten Schleifen (Subsystem 1) kann bei geeigneter Modellierung des Körpers und Reduzierung der Subsysteme 2 und 3 auf ideale

Stromquellen numerisch gerechnet werden [4]. Messungen dieses elektromagnetischen Feldes haben gezeigt, dass die Streustrahlung ausreicht, um das Signal in einem Abstand von 30 m gut zu empfangen (Fig. 6).

### Prinzipieller Aufbau der implantierbaren Telemetrieanlage

Das passive Telemetriesystem (Fig. 4) bezieht die Feldenergie über ein Loop-Antennensystem. Ein Teil der Energie wird zur Speisung der implantierten Messsysteme benötigt, ein Teil wird im Takt der signalaufprägenden Modulation vernichtet. Damit erhalten die Streustrahlung und die reflektierte Welle ein amplitudenmoduliertes Signal.

Die passiven Telemetriesender lassen sich einzeln implantieren, wobei die Loop-Antennen am Schluss zusammengefasst werden. Zur Energieversorgung und Messdatenerfassung wird eine kleine und leichte H-Feld-Loop-Antenne auf der Haut fixiert.



Figur 4 Passives 4-Kanal-Telemetriesystem mit Absorptions-Modulation

Links: 4 galvanisch getrennte passive Telemetrie-Sender für Elektromyographie (1, 2) und Druck (3, 4).

Rechts: Telemetrieempfänger nach Irig-Standard

Unten: HF-Speisung, H-Feld-Loop-Antenne und Richtkoppler als Signaldetektor

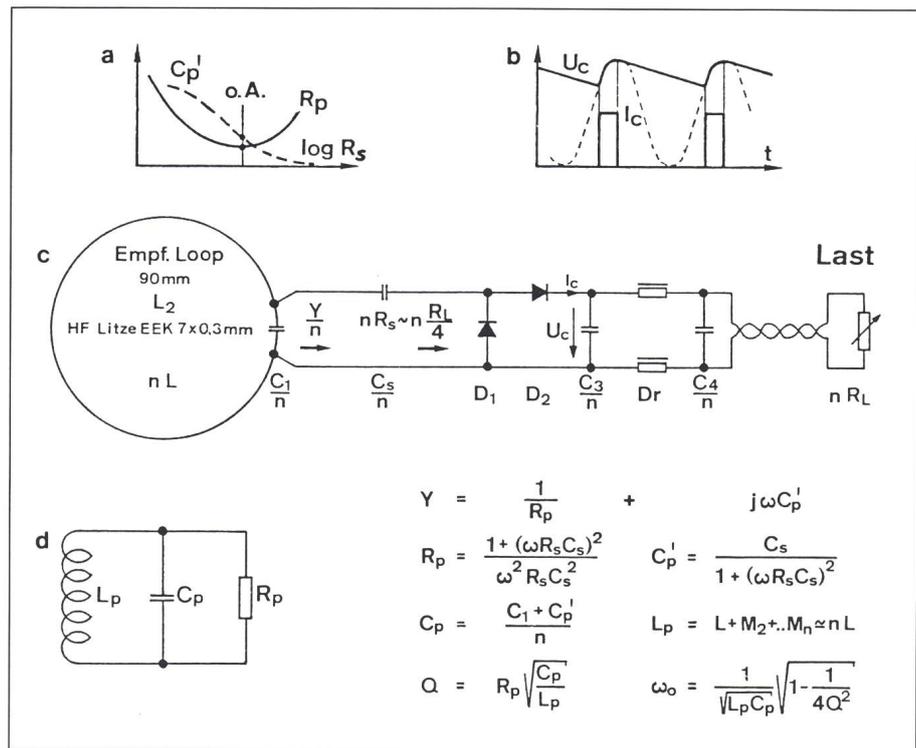
Die H-Feld-Loop-Antenne ist über ein langes Koaxialkabel mit einer HF-Speisung verbunden. Die HF-Energie gelangt über die implantierten Loop-Antennen zu den HF-DC-Konvertern und versorgt die Messsysteme. Die Signale der Messwertgeber werden von den Verstärkermodulen verarbeitet. Die Modulator-Module erzeugen über VCO (Voltage Controlled Oscillators) frequenzmodulierte, nach Irig-Normen<sup>1</sup> gestaffelte Unterträger. Die FM-Signale belasten durch Stromsteuerung die HF-DC-Konverter zusätzlich und bewirken so eine Absorptions-Modulation. Damit entsteht eine FM-AM-reflektierte Welle, die mit einem Richtkoppler detektiert wird und dem Telemetrieempfänger zur Demodulation übergeben wird.

### HF-Speisung und HF-DC-Konversion

Induktive Speisungen werden z.B. in [1; 2] beschrieben. Oft wird mit Frequenzen unter 5 MHz, kurzen Spulen und Serieresonanz gearbeitet, mit dem Ziel, einen hohen Wirkungsgrad mit geringer Kopplungs- und Belastungsabhängigkeit zu erhalten. Bei 27 MHz spielen die Verluste im biologischen Material nach [5] bereits eine Rolle; dafür können Loop-Antennen, d.h. Spulen mit nur einer Windung, sowie preisgünstige CB-Funk-Baugruppen verwendet werden. Anzustreben sind:

- möglichst lineare Arbeitskennlinien für die Absorptions-Modulation,
- gleichmässige Energieverteilung auf mehrere implantierte Systeme,
- geringe Berührungsempfindlichkeit und grosse Betriebsbandbreite,
- leichte, abstimmbare Speiseantenne mit langem Zuleitungskabel.

In einer Semesterarbeit [6] wurden verschiedene HF-DC-Konverter untersucht. Zur Speisung wurde eine berührungsunempfindliche H-Feld-Loop-Antenne verwendet, die in Parallelresonanz arbeitet. Der HF-DC-Konverter (Fig. 5) besteht aus einem Loop von  $\varnothing 90$  mm, den Abstimmgliedern  $C_1$  und  $C_s$ , dem Gleichrichter und der Last. Es werden gleichzeitig  $n$  Systeme parallel betrieben. Die Seriekapazität  $C_s$  dient zur Impedanz-Transformation von  $R_L$ . Wie das Diagramm der Figur 5a zeigt, erhöht sich der äquivalente Parallelwiderstand  $R_p$  bei Leerlauf und Kurzschluss, so dass bei einem Defekt die anderen  $(n-1)$  Kon-



Figur 5 HF-DC-Konverter für  $n$  getrennte Messsysteme

- a Parallel-Impedanz  $C_p'$  und  $R_p$  in Funktion der Belastung  $R_s$ , maximale Dämpfung und Energieentzug beim oberen Arbeitspunkt (o.A.)
- b Spannung  $U_c$  und Ladestrom  $I_c$ ; geringe Oberschwingungen bei grossem Rippel
- c Einer von  $n$  gekoppelten HF-DC-Konvertern mit Last  $nR_L$
- d Parallel-Ersatzschaltbild für  $n$  gekoppelte HF-DC-Konverter

verter kaum beeinflusst werden. Der Spannungsverdoppler bewirkt ein  $R_s$  von etwa  $R_L/4$ . Der Ladekondensator  $C_3$  soll etwa  $2/R_L f_0$  betragen. Damit bleiben die Ladestromimpulse (Fig. 5b) klein, und die Oberschwingungen liegen unter  $-15$  dB. Die verbleibenden Rippel von  $U_c$  werden durch ein LC-Filter ( $D_r$ ,  $C_4$ ) geglättet. Bei einer HF-Leistung von 1 W beträgt der DC-Gewinnungs-Wirkungsgrad  $\eta$  30–68% (Fig. 6), bei  $R_L$  von 100 bis 1000  $\Omega$ , einer Koppeldistanz  $D_k$  von 12 bis 45 mm, sofern auf Empfangs- und Sendeseite  $C_1$  und  $C_s$  abgeglichen werden. Die Strahlung ins Fernfeld ist mit ungefähr 25 mW ERP (Effective Radiated Power) relativ gering.

### Kenndaten der Absorptions-Modulation

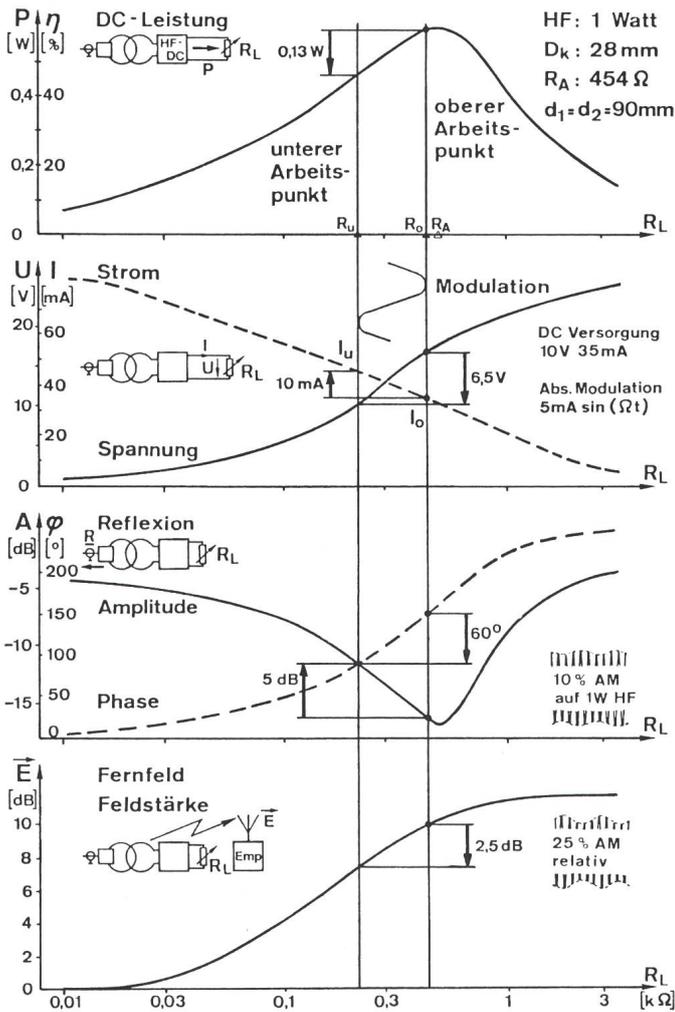
Die Figur 6 zeigt die Arbeitskennlinien für einen einzigen passiven Sender. Grundsätzlich stellen das Loop-System und die Last  $R_L$  eine Fehlanpassung am Ende des 50- $\Omega$ -Speisekabels dar, wobei die Anpassungsveränderung eine veränderte rücklaufende Welle und eine veränderte Streustrahlung bewirkt. Es wird eine einmalige

Abstimmung für  $f_0 = 27$  MHz,  $R_L = R_A = 454 \Omega$  und  $D_k = 28$  mm durchgeführt, indem  $C_1$  und  $C_s$  bei beiden Loop-Anpassungen iterativ so eingestellt werden, dass die SWR (Standing Wave Ratio) minimal und die gewonnene DC-Spannung maximal wird.

Der obere Arbeitspunkt  $R_0$  muss etwas kleiner als  $R_A$  sein und entspricht dem Eigenstromverbrauch eines spannungstabilisierten Messverstärkers, in unserem Fall  $R_0 = 450 \Omega$  und  $I_0 = 35$  mA. Der untere Arbeitspunkt  $R_u$  entspricht dem totalen Spitzenstrom bei voller Aussteuerung der Absorptions-Modulation von 10 mA; er beträgt  $R_u = 280 \Omega$  und  $I_u = 45$  mA. Bei digital codierten Mehrkanalsystemen darf ein noch tiefer liegender unterer Arbeitspunkt gewählt werden, für unsere Anwendung müssen die Arbeitskennlinien von  $R_0$  zu  $R_u$  möglichst linear sein, um Unterträger-Oberschwingungen (Fig. 7) zu vermeiden. Im vorliegenden Fall bewirkt eine 5-mA-Sinusmodulation des Gleichstroms:

- 10% Amplituden-Modulation (AM) auf dem Speisekabel, erfassbar mit einem Richtkoppler mit Detektor, oder allein mit einem Detektor,

<sup>1</sup> Inter-Range-Instrumentation Group



**Figur 6**  
Arbeitskennlinien für variable Lasten  $R_L$  bei fester Abstimmung und einem einzelnen passiven Sender

- HF Hochfrequenzleistung
- $D_K$  Koppeldistanz
- $R_A$  Lastwiderstand bei Anpassung
- $d_1$  Durchmesser der äusseren H-Feld-Loop-Antenne
- $d_2$  Durchmesser der inneren Empfangs-Loop-Antenne

kann fast die volle Informationskapazität eines Koaxialkabels ausgenutzt werden, und es können fast beliebige Modulationsverfahren verwendet werden. Für mehr als 4 Messkanäle eignet sich z.B. ein 10-Bit-PCM-PM-Verfahren mit einem Phasendiskriminator (siehe Phasenverlauf in Fig. 6) als PM-Demodulator.

Im hier beschriebenen Fall mit 4 galvanisch getrennten Messkanälen sind die Freiräume kleiner, und es empfiehlt sich, eine FM-AM nach Irig-Standard zu verwenden. Wie die Figur 8 zeigt, moduliert jedes der 4 Messsysteme den Hauptträger (HF-Speisung) mit 2% AM. Die verwendeten Irig-Unterträger werden standardgemäss mit 7,5% FM moduliert. Obwohl die dabei relevanten Nichtlinearitäten der Arbeitskennlinien gemäss Figur 6 gering sind, ist – wie in Figur 7 gezeigt wird – mit Oberschwingungen der Irig-Unterträger zu rechnen. Wie im mittleren Diagramm dargestellt, können nur drei aufeinanderfolgende Irig-Kanäle problemlos untergebracht werden, der vierte Kanal CH 10 kann durch die zweite Harmonische  $2 \cdot f_8$  des zweiten Kanals CH 8 gestört werden. Bei mehr als 4 Irig-Kanälen können weitere Oberschwingungen stören.

Im praktischen Einsatz sind leichte mechanische Schwingungen der Loop-Antennen und damit dynamische Kopplungs-Veränderungen unvermeidbar. Obwohl durch mechanische Dämpfung diese Schwingfrequenzen und -amplituden reduziert werden können, sollen keine Irig-Kanäle mit Unterträger-Frequenzen unter 1 kHz eingesetzt werden; nur so können diese Störeinflüsse gut ausgefiltert werden. Bei der vorliegenden 4-Kanal-Anlage

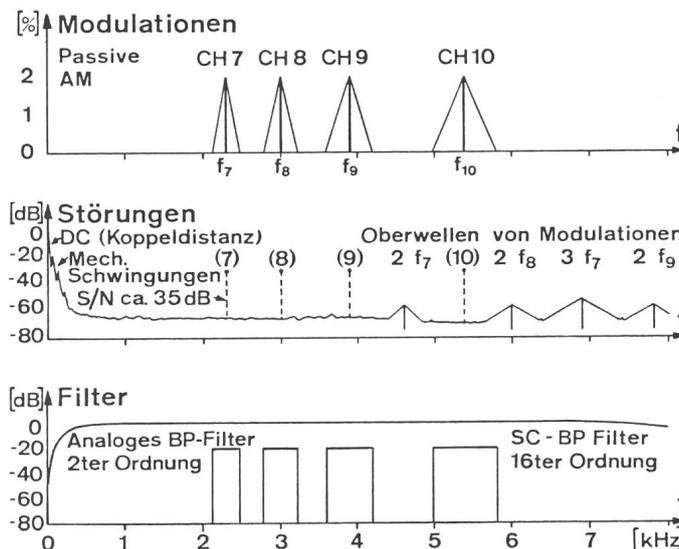
- 25% AM in Fernfeld, erfassbar mit einem normalen AM-Funkempfänger,
- 30% Phasen-Modulation (PM) auf der rücklaufenden Welle, erkennbar mit einem Richtkoppler mit Phasendiskriminator.

Loop-Systeme können so konzipiert werden, dass bei Distanzveränderungen und seitlichen Verschiebungen (um einige Zentimeter) die Wirkungsgradeinbussen weniger als 50% betragen [2]. Das System verhält sich gutmütig, und grössere Geometrie- und Betriebsveränderungen können von aussen kompensiert werden.

### Geegnete Modulationsverfahren

Bei fast allen aktiven Telemetrie-konzepten steht aus technischen und gesetzgeberischen Gründen nur eine stark begrenzte Informationskapazität zur Verfügung. Normalerweise müssen die Kanalanzahl, die Signalbandbreite und die Signalaufösung sehr stark eingeschränkt werden. Bei der

passiven Telemetrie mit Absorptions-Modulation besteht mehr Spielraum, weil genügend Energie vorhanden ist und, von der Streustrahlung abgesehen, ein geschlossenes System vorliegt. Bei einem passiven Telemetriesystem mit nur einem HF-DC-Konverter



**Figur 7**  
FM-AM-Verfahren für vier mechanisch getrennte passive Telemetriesender

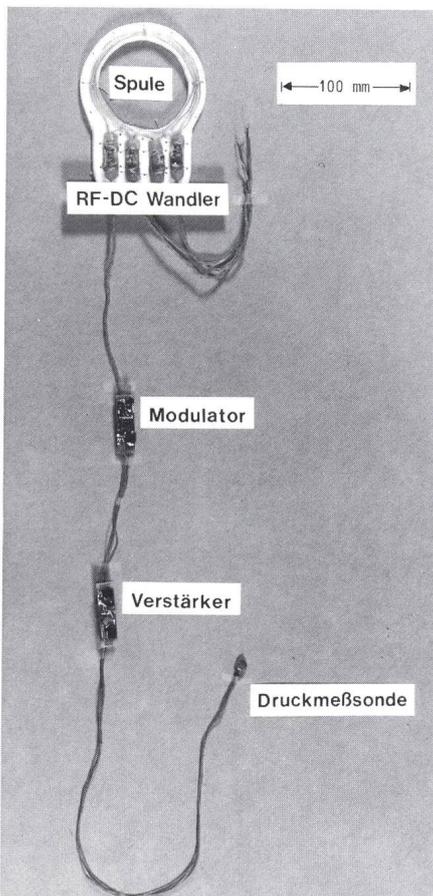
Die Kanäle entsprechen dem Irig-Standard, CH7 ... CH10 mit  $\pm 7,5\%$  FM

wurde mit den Irig-Kanälen CH 7... CH 10 und mit den in Figur 7 gezeigten Filtern ein  $S/N$ -Verhältnis von 35 dB erzielt.

## Einsatz in der Veterinärmedizin

Die Figur 8 zeigt einen der vier passiven Sender mit bereits an einen Teflonring fixierten Loop-Antennen. Sichtbar sind die Druckmesssonde ( $\varnothing 8$  mm), der Verstärker und der Modulator ( $\varnothing 16 \times 20$  mm), der HF-DC-Konverter ( $\varnothing 7 \times 20$  mm) sowie die Loop-Antennen ( $\varnothing 80$  mm). Vor der Implantierung werden diese Module in Silikonschläuche (Silastic) verpackt und mit 2-Komponenten-Silikon (Dow Corning, MDX-4-4210) vergossen. Sterilisiert wird während 24 Stunden mit 70% Alkohol und mit Breitpektrum-Antibiotikum. Während der Implantierung sind die Messsysteme noch voneinander getrennt, erst gegen Ende der Operation werden die 4 Loop-Antennen auf den Teflonring geschnürt und an der Bauchwand fixiert.

Die Figur 9 zeigt die Empfangsanlage mit Koaxialkabel, Abstimmbox



Figur 8 Einer von 4 passiven Telemetriesendern mit gemeinsamem Teflonring

und H-Feld-Loop. Auf der linken Seite der Empfangsanlage befinden sich unter der Blindplatte die zur einmaligen Justierung notwendigen Elemente. Im zweiten Einschub befinden sich die Stromversorgungen und die Datenkontroll-Leuchte. Der dritte Einschub enthält HF-Generator, HF-Leistungsverstärker, SWR-Meter, HF-AM-Detektor und die Modulation-Pegel-Anzeigen der einzelnen Messkanäle. Die vier weiteren Einschübe sind Irig-Kanal-Diskriminatoren. Sie enthalten Kanal-Bandpassfilter, PLL-FM-De-modulatoren und Ausgangsverstärker.

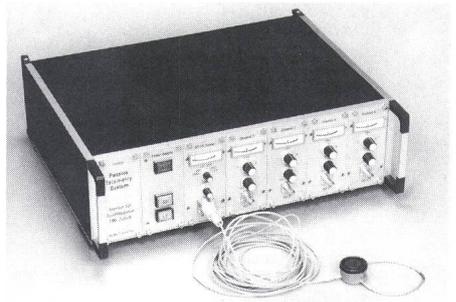
Die Sendermodule sind mit HC-MOS und Linear-CMOS-SMD-ICs ausgerüstet. Der Modulator besteht aus VCO, Teiler, Switched-Capacitor-Tiefpass und einem temperaturkompensierten Bipolartransistor als Spannungs-Stromwandler für die Absorptions-Modulation. Dank getaktetem Dehn-Messstreifen-Verstärker beträgt der Stromverbrauch trotz niederohmigem DMS-Drucksensor weniger als 3 mA für die Versorgung und 5 mA für die Modulation.

Für den Empfänger wurden preisgünstige 27-MHz-Module aus dem CB-Funk eingesetzt. Das Koaxialkabel zur H-Feld-Loop-Antenne ist 5 m lang. Bei viel längeren Kabeln kann der effektive Modulationsgrad abnehmen. Die Irig-Diskriminatoren sind mit Switched-Capacitor-Filtern (Butterworth-Bandpässe 16. Ordnung) ausgerüstet, die mit der Clockfrequenz auf die betreffenden Mittenfrequenzen eingestellt werden können.

## Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde eine neue Telemetrie-Methode entwickelt, die nach dem Prinzip der Absorptions-Modulation funktioniert. Die implantierten Messsysteme arbeiten ohne Batterien und ohne aktive Sender und sind galvanisch voneinander getrennt. Die neue Telemetrimethode zeichnet sich aus durch Langzeit-Zuverlässigkeit sowie durch grosse Informationskapazität und geringe Energieversorgungsprobleme bei den implantierten Messsystemen. Weiter können die implantierten Messverstärker und Modulatoren relativ einfach und mit geringen Kosten hergestellt werden.

Weil genügend Energie und Informationskapazität zur Verfügung stehen, bieten sich für die Zukunft eine Reihe von Anwendungen an:



Figur 9 Empfangsanlage mit Koaxialkabel, Abstimmbox und H-Feld-Loop-Antenne

- Mehrkanal-Temperatur-Telemetrie mit sehr geringem Aufwand,
- Mehrkanal-EMG-Telemetrie mit grosser EMG-Signalbandbreite,
- Betrieb von beliebigen Messwertgebern, besonders von solchen mit hohem Energiebedarf,
- Fernsteuern und Überwachen von Aktoren und Stimulatoren, z.B. implantierte Ventile und Mehrfach-Reizelektroden,
- Einsatz dieses Telemetrieprinzips zur periodischen Langzeitprüfung von Bauteilen, Maschinen und Konsumgütern.

Bei der vorliegenden Telemetrieanlage beträgt die Reichweite der modulierten Streustrahlung nur einige Dutzend Meter, und die Energieeinspeisung findet mit gekoppelten Loop-Antennen statt. Die Reichweite kann auf verschiedene Arten vergrössert werden, z.B. durch eine Back-Pack-HF-Versorgung direkt auf dem Versuchstier oder durch Fernspeisung mit Richtstrahlantennen.

## Literatur

- [1] J. C. Schuder, J. H. Gold and H. E. Stephenson: An inductively coupled RF system for the transmission of 1 kW of power through the skin. IEEE Trans. BME 18(1971) p. 265...273.
- [2] N. de N. Donaldson and T. A. Perkins: Analysis of resonant coupled coils in the design of radio frequency transcutaneous links. Medical and Biological Engineering and Computing 21(1983)5, p. 612...627.
- [3] E. Philippow: Taschenbuch Elektrotechnik in sechs Bänden. Band 1: Allgemeine Grundlagen. München/Wien, Carl Hanser-Verlag, 1976, p. 101...102.
- [4] N. Kuster and R. Ballisti: MMP method simulation of antennae with scattering objects in the closer near field. IEEE Trans. MAG-25(1989)4.
- [5] C. C. Johnson and A. W. Guy: Nonionizing electromagnetic wave effects in biological materials and systems. Proc. IEEE 60(1972)6, p. 692...718.
- [6] T. Gipser: HF-DC-Konverter-Schaltungen in der passiven Telemetrie. Semesterarbeit an der Professur für elektrotechnische Entwicklungen und Konstruktionen. Zürich, ETH, 26. Februar 1988.
- [7] P. A. Neukomm: Passives Telemetriegerät mit Absorptions-Modulation. Schweizerisches Patentgesuch Nr. 02 004/88-2 vom 28. Mai 1988.

# SIEMENS



## Auf Zukunft schalten mit SF<sub>6</sub>-Leistungsschaltern von Siemens

Tausende von Siemens-Hochspannungsschaltern stehen weltweit unter den verschiedensten Klimabedingungen im Einsatz.

Auch bei uns in der Schweiz sprechen sehr gute Referenzen für deren sicheren und problemlosen Einsatz.

### mit Sicherheit

Im SF<sub>6</sub>-Leistungsschalter von Siemens wird der Lichtbogen durch Blaskolbenprinzip und Doppeldüsen-Löschsystem innerhalb weniger Millisekunden gelöscht. Sichere Abschaltung mit hoher Leistung, lange Lebensdauer und konstante Kontaktwerte sind dadurch gewährleistet.

### mit Leistung

Der elektrohydraulische Antrieb wird bei immer mehr Herstellern eingesetzt und erfüllt die hohen Ansprüche der heutigen Leistungsschalter. Die Siemens-Hydraulik bietet jedoch zusätzlich einige Betriebsvorteile bezüglich Dämpfung, Mechanik und Druckkontrolle.

Siemens setzt diesen Antrieb einheitlich für alle Blaskolben-Schalter ein — auch für gekapselte Schaltanlagen.

### mit langer Lebensdauer

Die erste Revision wird erst nach 20 Jahren oder nach 3000 Schaltspielen fällig. Ein Vorteil, mit dem Sie eine hohe Verfügbarkeit Ihrer Anlage erzielen.

### mit dem richtigen Partner

Wir bieten umfassende Beratung — von der Projektierung bis zur Inbetriebsetzung der Schaltanlagen. Auch bei unvorhersehbaren Ereignissen während des Betriebs genügt Ihr Anruf nach Zürich, Renens oder Lugano. Wir sind für Sie da.

**Siemens-Albis AG**  
Energieversorgung  
Freilagerstrasse 28  
8047 Zürich  
Tel. 01/495 44 51

1020 Renens  
Tél. 021/631 31 11

6934 Bioggio  
Tel. 091/50 51 15