

Ergänzung zum Beitrag in FA 9/17, S. 853 „Millivolt- und Picoampere-Meter für hochohmige Messungen“

■ Farbige LEDs als Lichtsensor

LEDs können auch als Photodiode arbeiten, wenn auch mit sehr geringem Stromwirkungsgrad. Wo das nicht stört, wird gelegentlich von dieser preiswerten Methode Gebrauch gemacht. Im hier beschriebenen Experiment fanden die in der Tabelle 1 aufgeführten LED-Typen Verwendung.

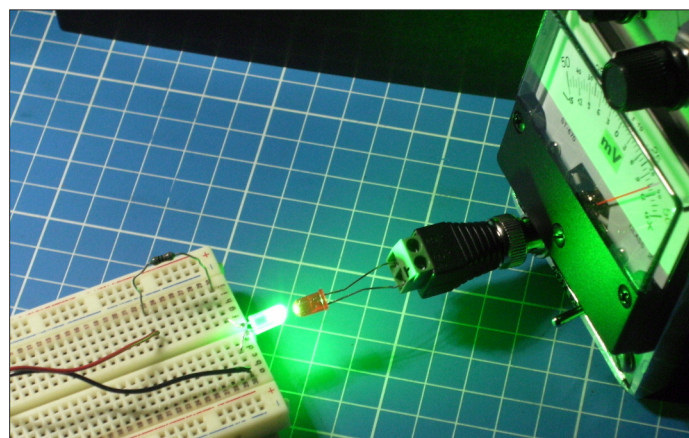


Bild 7:
Messungen an
verschiedenfarbigen
Leuchtdioden, von
violett bis infrarot

Die jeweils als Sender eingesetzte LED wurde mit etwa 10 mA Flussstrom betrieben. Die wie in Bild 7 direkt davor platzierte Empfangs-LED war an das Voltmeter angeschlossen. Ein darübergelegtes schwarzes Tuch und stark gedimmte Raumhelligkeit verhinderten störenden Fremdlichteinfluss. Dabei ließen sich die in Tabelle 2 aufgeführten Spannungen messen.

Die großen Werte entsprechen der jeweiligen Fotodioden-Leerlaufspannung, die vom Bandabstand des Halbleitermaterials der Empfänger-LED abhängt und selbst bei sehr hoher Lichtintensität kaum noch gesteigert werden kann. Ebenso bringt die Zufuhr unnötig energiereicher (kürzerwelliger) Photonen fast keinen Zuwachs an Leerlaufspannung, denn die Überschussenergie jedes dieser Photonen wird im Empfänger in Wärme umgewandelt.

Letzterer Umstand begrenzt auch die Effizienz der Silizium-Fotovoltaik, denn die meisten Spektralanteile des Sonnenlichts sind kürzerwellig als die Grenzwellenlänge von Silizium (etwa 1100 nm). Daher versucht man, mehrere lichtempfindliche Schichten mit abgestufter Grenzwellenlänge übereinander zu legen, von denen jede einen Teil des Sonnenspektrums fast optimal ausnutzt und die längerwelligen Anteile zur tiefer liegenden Schicht passieren lässt.

Ein anderes Forschungsfeld ist die Thermophotovoltaik. Hier arbeitet man daran, spezielle Glühstrümpfe herzustellen, die bei starker Erhitzung möglichst nur in einem engen Spektralbereich intensiv strahlen, bei Verwendung von Silizium-Solarzellen also bei ungefähr 1000 nm Wellenlänge. Der Wirkungsgrad der Zellen (abgegebene elektrische Leistung in Watt

dividiert durch zugeführte Strahlungsleistung in Watt) wäre in diesem Fall deutlich höher als im Sonnenlicht.

Die in der Tabelle 2 links unten stehenden Werte von Null zeigen, dass zu energiearme Photonen trotz großer Anzahl, d. h. hoher Lichtintensität, bei Empfängern mit zu kurzer Grenzwellenlänge nichts ausrichten. Erkennbar ist auch ein Zwischengebiet mit Signalen im Millivoltbereich, wegen des 1-GΩ-Eingangswiderstands hier Fotoströmen mit gleichem Wert in Picoampere entsprechend. Beispiele: Grün leuchtet auf Violett und erzeugt 70 pA. Rot leuchtet auf Grün und erzeugt 0,5 pA.

Bild 8:
Aufbau während
der Messungen
von Isolations-
widerständen,
siehe Beitrag
Fotos: Franke



Tabelle 1: Emittierte Spektren λ verschiedener LEDs laut Herstellerangabe und zugehörige Photonenenergie E^*

LED-Farbe	Bezugsquelle Bestell-Nr.	Spektrum (Photonenenergie E^*)		
		λ_{\min}	λ_{typ}	λ_{\max}
violett	Roithner Lasertechnik LED405-35M32	370 nm (3,35 eV)	405 nm (3,06 eV)	450 nm (2,76 eV)
blau	Distrelec 17503627	415 nm (2,99 eV)	470 nm (2,64 eV)	530 nm (2,34 eV)
grün	Farnell 1897153	460 nm (2,70 eV)	518 nm (2,39 eV)	600 nm (2,07 eV)
orange	Farnell 1003419	500 nm (2,48 eV)	600 nm (2,07 eV)	700 nm (1,77 eV)
rot	Distrelec 17506664	615 nm (2,02 eV)	660 nm (1,88 eV)	710 nm (1,75 eV)
infrarot	Farnell 1495548	810 nm (1,53 eV)	870 nm (1,43 eV)	910 nm (1,36 eV)

*gemäß $E = \frac{1240}{\lambda}$ mit E [eV] und λ [nm]

Tabelle 2: Spannungen an den verschiedenfarbigen Empfänger-LEDs bei unterschiedlichen Sende-LEDs

Sende-LED	Spannungen an den Empfänger-LEDs					
	violett	blau	grün	orange	rot	infrarot
violett	2,25 V	2,25 V	2,0 V	1,4 V	0,9 V	0,75 V
blau	12 mV	2,2 V	2,0 V	1,4 V	0,85 V	0,8 V
grün	70 mV	1,4 V	1,8 V	1,4 V	1,05 V	0,9 V
orange	0 mV	0 mV	4 mV	1,3 V	1,05 V	0,75 V
rot	0 mV	0 mV	0,5 mV	0,6 V	1,2 V	0,9 V
infrarot	0 mV	0 mV	0 mV	0,3 mV	50 mV	1,0 V

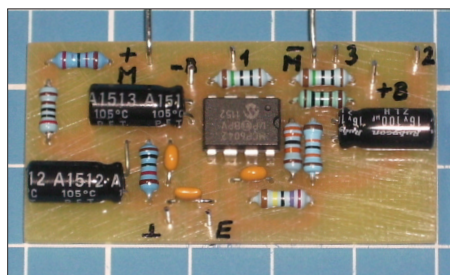


Bild 9: Ansicht der vollständig bestückten Leiterplatte

Ursache für dieses scheinbar regelwidrige Verhalten sind minimale Überlappungen der jeweiligen LED-Spektren: Die energiereichsten Photonen aus der jeweils „rteren“ Sende-LED passen gerade noch zu dem langwelligeren spektralen Ausläufer der jeweils „blauerer“ Empfangs-LED.

■ Mikrofonie auf Koaxialkabeln

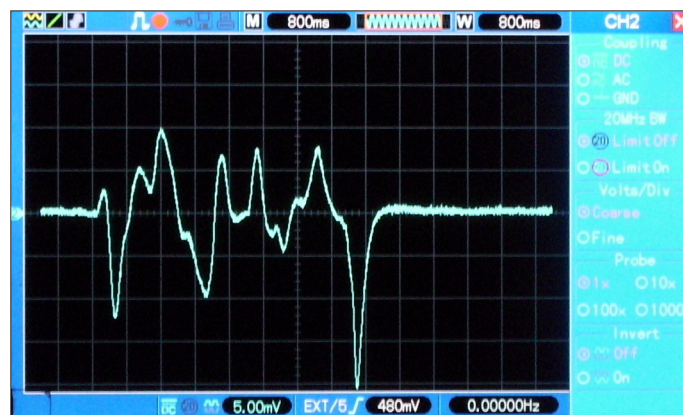
Wird ein Koaxialkabel RG58 (1 m lang, mit BNC-Steckern) an den Eingang des Voltmeters angeschlossen und ein empfindlicher Messbereich, z.B. 15 mV, gewählt, so nimmt der Zeiger schnell die Nulllage ein. Jedes Bewegen und Biegen des Kabels erzeugt transiente Spannungen bis zu einigen Millivolt, mit wechselnder Polarität. Mit einem an das offene Kabelende angeschlossenen 1-k Ω -Widerstand ist bei Bewegung keine Spannung mehr erkennbar, denn sie wird vom Widerstand nahezu kurzgeschlossen.

Zur Veranschaulichung erfolgte auch eine oszilloskopische Messung: Dafür wird 1 m Koaxialkabel mit einem 1-G Ω -Parallelwiderstand beschaltet und ein Spannungsfolger mit TL061 angeschlossen, dessen Ausgangssignal über zwei Tiefpässe mit je 0,1 s Zeitkonstante geleitet werden. Das Signal wird mittels eines Digitaloszilloskops beobachtet.

Einen abgespeicherten typischen Spannungsverlauf bei Biegung und Bewegung des Kabels zeigt Bild 10. Auch hier verschwindet das Signal, wenn der 1-G Ω -Widerstand durch einen mit 1 k Ω oder 50 Ω ersetzt wird. Diese auf Triboelektrizität des Kabeldielektrikums beruhenden Signale kann man für Erschtterungssensoren, Einbruchmelder und dergleichen auswerten.

Bei der meist niederohmigen Beschaltung von Koaxialkabeln zum Zweck der Signalübertragung lässt sich der Effekt fast immer vernachlässigen. Anders ist es, wenn hochohmige Quellen wie Kondensator- oder Elektretmikrophone, Piezosensoren oder Fotodioden an hochohmige Verstrkereingnge über ein Kabel angeschlossen werden müssen. Für empfindliche und rauscharme Messungen ist es dann oft nötig, spezielles (und teures) mikrofoniearmes Kabel einzusetzen.

Bild 10: Oszilloskopdarstellung der Mikrofonie auf einem Koaxialkabel RG58



■ Änderungen des elektrostatischen Feldes

Wird in die BNC-Buchse des Voltmeters ein etwa 10 cm langes Stück Draht gesteckt und der Messbereich 5 mV gewählt, so beruhigt sich der Zeigerausschlag innerhalb einiger Zehn Sekunden und strebt dem Wert Null zu. Jetzt reagiert das Voltmeter ziemlich empfindlich auf Änderungen des elektrischen Feldes in der Umgebung. Bewegungen des Experimentators, auch das Schwenken eines an der Kleidung geriebenen Isolierstoffgegenstandes in 1 m

bis 2 m Entfernung, bewirken lebhaftes Zeigerausschlge. Diese Sensitivität machte es auch nötig, die Elektronik des Voltmeters in ein geschlossenes und mit Masse verbundenes metallisches Gehäuse einzubauen und bei einigen Experimenten eine Metallfolie unterzulegen. Das Gerät registriert nur Änderungen des elektrischen Feldes, nicht dieses selbst, denn durch die kapazitive Kopplung über die Luft und das Vorhandensein des 1-G Ω -Eingangswiderstands liegt ein Hochpass und damit eine Wechselspannungskopplung vor.

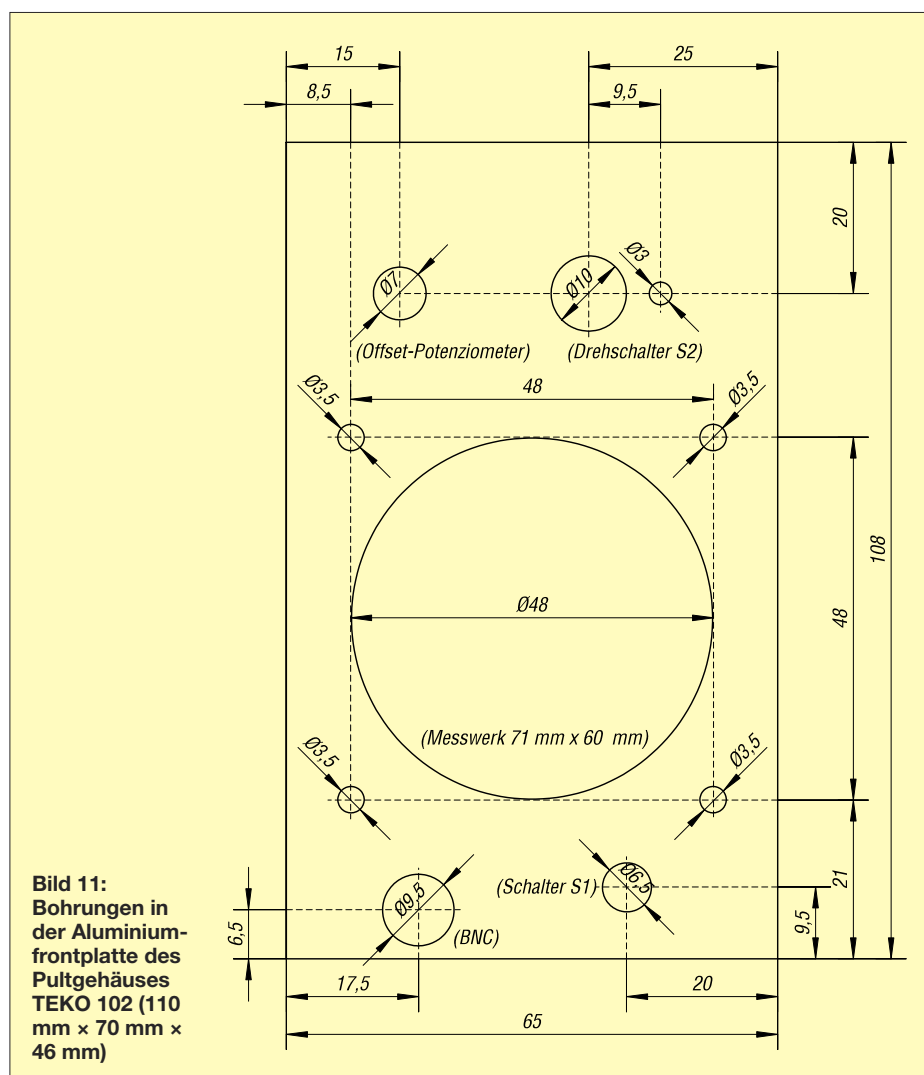


Bild 11: Bohrungen in der Aluminiumfrontplatte des Pultgehuses TEK0 102 (110 mm x 70 mm x 46 mm)

Vorrichtungen, die auf solche Abtastungen von Feldänderungen spezialisiert sind, bestehen meist aus einer MOSFET- oder JFET-Eingangsstufe mit hochohmigem Gate-Widerstand nach Masse. Mit JFETs lassen sich besonders niedrige Rauschwerte erzielen, sodass entsprechende Schaltungen die Grundlage für leistungsfähige Aktivantennen bilden, z.B. in [4] und [5]. Wie anhand des vorigen Abschnitts plausibel wird, sind dabei die kur-

ze Stabantenne und die Eingangsstufe ohne zwischengeschaltetes Kabel direkt miteinander verbunden. emmmmf@gmx.de

Literatur

- [4] Becker, J., DJ8IL: Aktiv/Passiv-Antennensystem für 0,01 Hz bis 146 MHz. FUNKAMATEUR 58 (2009) H. 12, S. 1281 ff und Folgeheft
 [5] Wensauer, U., DK1KQ: Mini-Aktivantenne nach PAORDT. FUNKAMATEUR 59 (2010) H. 8, S. 845

Tabelle 3:
Bezugsquellen ausgewählter Bauteile

Bez.	Typ/Wert	Bezugsquelle Bestell-Nr.
R1	1 G Ω , 1 %, 5 kV	[1] 1550765
IC1	MCP 6042	[2] MCP 6042-I/P
EB1	Lithiumbatterie 3,6 V/2400 mAh	[3] 16932076 [2] LS 14500 CNA
		[1] 1187261
S2	Drehschalter 2 \times 6 Stellungen	[2] DS 2 [1] 1123688
VM	ST-670, Einbau- messinstrument $\pm 50 \mu\text{A}$	[3] 17686398
R4	Potenzimeter, 2,2 M Ω lin.	[2] P 04M-Lin2,2 M
	Pultgehäuse 110 mm \times 70 mm \times 46 mm	[2] TEKO 102 [3] 15027115

[1] Farnell, www.farnell.de

[3] Reichelt Elektronik, www.reichelt.de

[4] Distrelec, www.distrelec.de