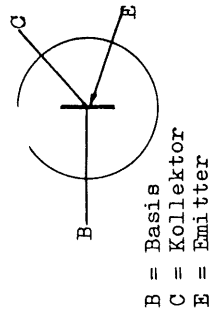


Alle bisher behandelten elektrischen Uhrwerke besitzen eines gemeinsamen: sie haben zum Ein- und Ausschalten des Stromkreises mechanische Kontakte. Jeder mechanisch betätigte Kontakt hat aber seine Probleme hinsichtlich genauer Einstellung, Funktionsicherheit und Abnutzung. Wenn auch durch interessante Lösungen einfache und gut funktionierende Kontaktsysteme gefunden wurden, drängt sich die Anwendung neuer zeitlicher Mittel aus der Elektronik auf, um diesen bisherigen Unsicherheitsfaktor möglichst ganz auszuschliessen. Ein elektronisches Element, im Jahre 1948 erfunden, hat seinen Siegeszug bereits um die ganze Welt angetreten, nämlich der Transistor. Seine Anwendung ist sehr vielfältig und seine Weiterentwicklung noch lange nicht abgeschlossen. In immer neuer Form, immer kleiner und dauernd weitere Gebiete der Elektronik erschliessend, taucht er überall da auf, wo elektronische Mittel eingesetzt werden. Die Erfindung des Transistors darf ohne Übertreibung als eine der grössten und umwälzenden Erfindungen der Menschheit bezeichnet werden.

Dieser Transistor kann unter anderem auch als elektronischer Schalter angewendet werden. Im folgenden sei versucht, diese Funktion des Transistors zu erklären, wobei einige spezielle Kenntnisse über die Bewegung von Elektronen im Material wichtig sind, um die Vorgänge im Transistor zu verstehen. Siehe dazu Band 1 "Elektrische und elektronische Armbanduhren" Seite 117: Etwas Halbleiterphysik, sowie Seiten 246 ff: Die Transistoren.

Das Symbol für den Transistor wird folgendermassen dargestellt:



B = Basis
C = Kollektor
E = Emitter

Fig. 1

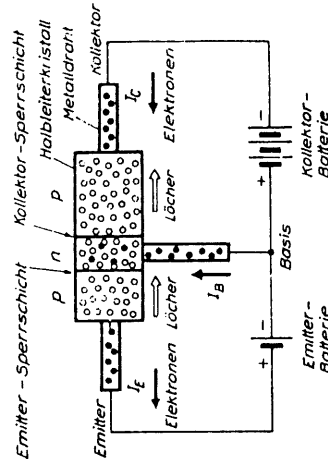


Fig. 2

Prinzipielle Verteilung der beweglichen Ladungen (freie Elektronen und freie Löcher) in den drei Zonen und Zuleitungen eines pnp-Transistors. Kollektorstrom I_C und Basisstrom I_B addieren sich zum Emitterstrom I_E . An den ohmschen Übergängen zwischen den Anschlussdrähten zum Emitter und Kollektor trennen bzw. vereinigen sich Elektronen und Löcher.

Die Anschlüsse entsprechen damit jenen der Fig. 2. Wie wird nun der Transistor als Schaltelement in einer Uhr eingesetzt? Wie wir aus der Fig. 2 entnehmen können, wird mit der Emitterbatterie der Transistor leitend gemacht oder gesperrt, also der Stromkreis geschlossen oder geöffnet. Aus der Elektrizitätslehre ist uns bekannt, dass mit einem Dauermagneten und einer Spule eine Induktionsspannung erzeugt werden kann. Wird ein Dauermagnet in einer Spule hin- und herbewegt, so entsteht in der Spule eine Wechselspannung. Dieser Vorgang ist in Fig. 3 dargestellt. Dabei spielt aber die Bewegungsrichtung des Permanentmagneten eine entscheidende Rolle, indem nämlich je nach Bewegungsrichtung des Letzteren auch die Stromrichtung ändert. Dieser Vorgang ist aber genau das, was wir nun im Transistorkreis als Emitterbatterie einbauen.

In einer Pendeluhr geschieht dies auf folgende Weise:

Zur Selbststeuerung des Transistors benötigen wir eine Basis-Spannung U_b , die durch die Bewegung des Pendels selbst erzeugt wird. Diese Spannung entnehmen wir gemäss Fig. 4 der Steuerspule. Beim Einschwingen des gebeugten Permanentmagneten NS in diese Spule (nach links ausgezogener Pfeil) wird in der Steuerspule eine negative Spannung U_b erzeugt, die den Transistor leitend macht und einen Arbeitsstrom (Kollektorstrom I_C) vom Pluspol der Batterie durch die Arbeitsspule über den Emitter E durch den Transistor zum Kollektor C und von da zum Minuspol der Batterie ermöglicht. Durch diesen Strom entsteht in der Arbeitsspule ein Magnetfeld mit den Polen nn und ss. Sie stossen den Südpol S des Stabmagneten ab und ertönen dadurch dem Pendel einen Stoss nach links. Dem Pendel wird dadurch so viel Energie zugeführt, als es durch Energieverlust verlor.

Siehe Abbildung A70 folgende Seite.

Beim Rückschwingen entsteht in der Steuerspule eine positive Spannung, durch die jedoch der Transistor gesperrt bleibt. Die Wirkung der an die Basis gelegten Steuerspannung U_b ist also so, wie wenn bei negativer Basis-Spannung der Schalter zwischen Emitter E und Kollektor C geschlossen wird, ohne Spannung oder positiver Spannung jedoch geöffnet bleibt.

Der Dämpfungsring DR auf der linken Seite der Fig. 4 dient der Amplitudenstabilisierung, indem bei einer neuen Batterie die etwas grössere Schwingungsweite des Pendels leicht abgebremst wird. Bei einer teilweise verbrauchten Batterie schwingt das Pendel weniger weit; damit taucht aber der Permanentmagnet mit seinem Nordpol auch weniger in den Dämpfungsring ein, sein Einfluss auf die Schwingungsweite des Pendels bleibt kleiner.

Für eine Uhr mit Unruh wird das Problem folgendermassen gelöst:

Eine Unruh trägt auf ihrer Achse a zwei Scheiben b und c aus einem unmagnetischen Metall, z.B. Aluminium, in einer bestimmten Distanz. Jede dieser Scheiben besitzt an ihrer Innenseite je einen Permanentmagneten d und e und genau gegenüber je ein Gegengewicht f und g.

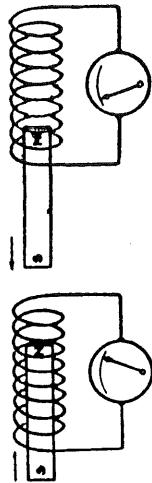


Fig. 3

Im Luftspalt dieser Magnete sind zwei Spulen h und i ohne Kern angeordnet. Die eine Spule h nennt man Steuerspule, die andere Spule i die Arbeitsspule. Die ganze Anordnung ist in der Fig. 5 dargestellt. Dabei sehen wir, wie der Transistor mit den beiden Spulen verbunden ist. Die Steuerspule ist mit der Basis des Transistors verbunden und steuert so den Transistor. Schwingt nun die Uhr mit ihren Permanentmagneten über die beiden Spulen, so wird in der Steuerspule ein Strom induziert. Je nach Richtung dieses Stromes, der ja beim Zurrückschwingen der Uhr seine Richtung wieder wechselt, wird nun über die Basis der Transistor leitend oder gesperrt. Im Moment, wo der Transistor eine negative Spannung erhält und so den Transistor leitend macht, erhält die Arbeitsspule über die Batterie und den Kollektor einen Stromimpuls. Dabei ist die Spule zu den Permanentmagneten so montiert, dass sich gegenüber dem Nordpol des Permanentmagneten ebenfalls ein Nordpol der Spule befindet und sinngemäss beim Südpol des Magneten ein Südpol der Spule. Da sich aber gleichnamige Pole abstossen, so erhalten wir auf die Uhr einen Antriebsimpuls in Form einer Abstossung. Da bei der Rückschwingung der Uhr die Steuerspule ein umgekehrtes Strompotential erhält, bleibt der Transistor geschlossen, und die Arbeitsspule erhält keinen Strom, liefert daher auch keinen Impuls auf die Uhr. In der Fig. 6 ist nochmals der gleiche Transistorkreis als Schema dargestellt. Links ist die Steuerspule S im Basis-Emitterkreis und rechts die Arbeitsspule A im Kollektor-Emitterkreis dargestellt. Würde man nun nach Fig. 4 in der Steuerspule einen Stabmagneten so bewegen, dass am Basisanschluss der Steuerspule ein Induktionsstrom mit negativem Vorzeichen entsteht, dann wird die Basis-Emitterstrecke des Transistors leitend, und der Strom kann von der Batterie B durch die Spule A und über die Kollektor-Emitterstrecke wieder zur Batterie zurückfliessen. Der zwischen Basis und Kollektor angeschlossene Kondensator K verhindert, dass der Schaltkreis mit seiner Eigenfrequenz aufgrund der Kopplung von S und A zu schwingen beginnt.

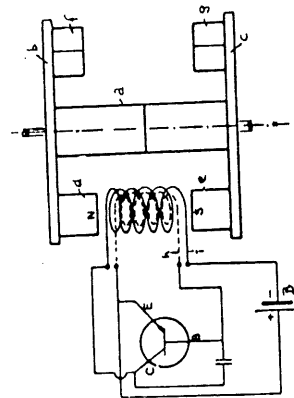


Fig. 5

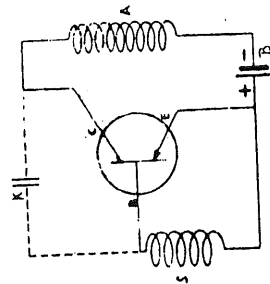
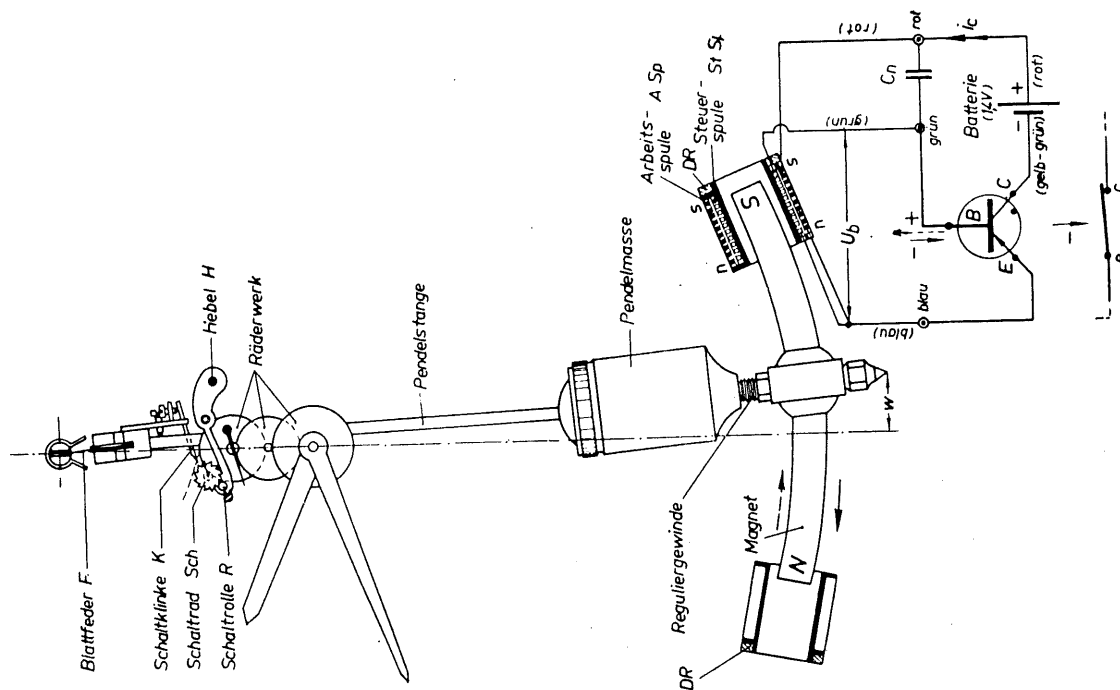


Fig. 6

Schaltkreise wie der oben beschriebene werden vorab bei transistorisierten Pendulettenwerken verwendet. Für Uhrmotoren, die in Armbanduhr verwendet werden, wird meist ein sogenannter N-P-N - Transistor eingebaut. Der Transistor in den Fig. 4, 5 und 6 ist aber ein normaler P-N-P-Transistor. Der Unterschied wird in der folgenden Fig. 7 gezeigt.



ATO-Pendeluhr mit Transistorsteuerung. Der Transistor wird bei dieser Batterie-Einzeluhr an Stelle eines Kontaktes als elektronisches Schaltelement verwendet. (Werkbild Uhrenfabriken Gebrüder Junghans)