

# Kapacitás- és induktivitásmérés

dr. Tolnai János okl. villamosmérnök, HA5LQ@freemail.hu

A Rádió Technika 1943 márciusi számában jelent meg (valószínűleg először Magyarországon) közvetlenül mutató ellenállásmérő kapcsolása. Az idők változnak és érthető igény merült fel olyan műszerekre is, amelyek a kondenzátorok kapacitásának, a tekercsek induktivitásának egyszerű (és az eredményt közvetlenül mutató) mérését teszik lehetővé. Ez a cikk ilyen mérésekkel kapcsolatos kérdésekkel foglalkozik, valamint néhány kapacitás- és induktivitásmérő műszert mutat be.

## Egyszerű kapacitás- és induktivitásmérő

Kapacitás és induktivitás értékét korábban viszonylag körülményesen, különféle mérőhidakkal lehetett meghatározni. Közvetlenül mutató (még analóg kijelzésű) egyszerű mérőműszert építeni azonban amatőr szinten is, már több évtizeddel ezelőtt is lehetett. A Rádiótechnika 1981 decemberi száma pl. olyan LC-

mérőt ismertetett, amely az alpműszeren kívül egyetlen CMOS integrált áramköri tokból, egy tranzisztorból, két diódából, néhány ellenállásból és kondenzátorból áll. Az egyszerűsége ellenére jól használható kapcsolást az **1. ábra** mutatja.

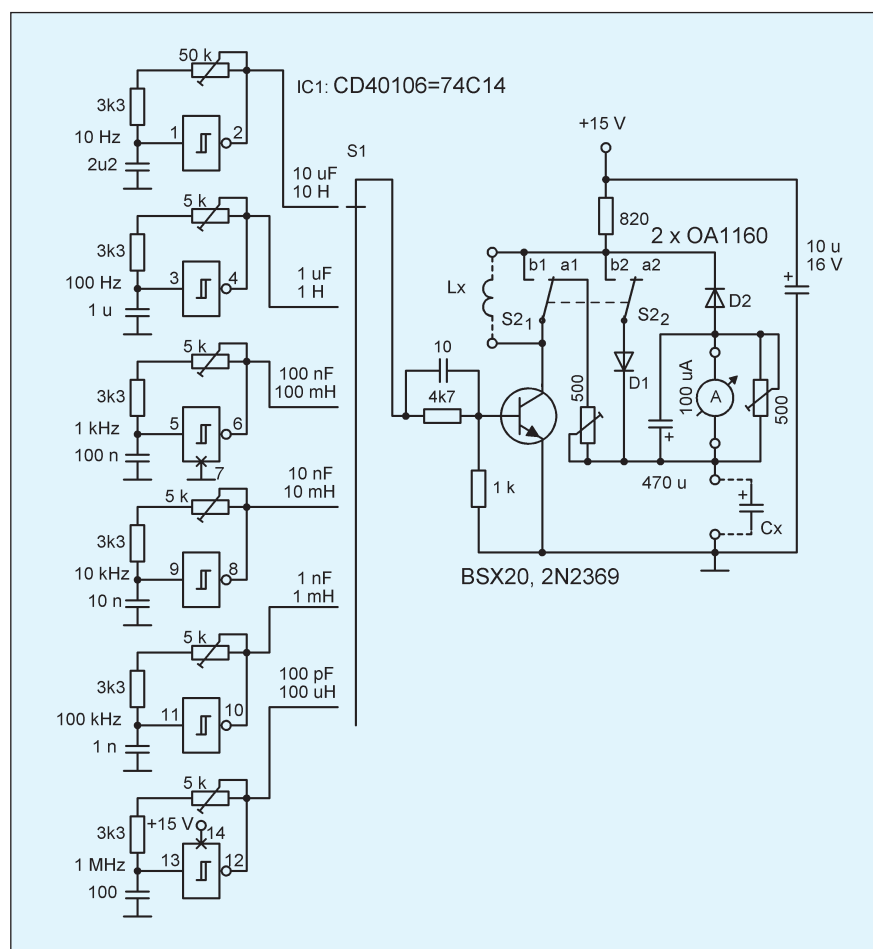
A 40106 CMOS tok Schmitt-triggerrel épített 6 oszcillátor frekvenciáját a trimmer-potenciométerekkel 10 Hz, 100 Hz, 1 kHz, 10 kHz, 100 kHz, 1 MHz

frekvenciákra kell beállítani. A méréshatár váltása az S1 kapcsolóval, a megfelelő oszcillátor kiválasztásával történik.

S2 kapcsoló „b” állásában a műszer kapacitást mér. A tranzistor kollektorán keletkező négyesögjel magas szintje alatt D1 diódán keresztül közel a tápfeszültségre töltődik fel a mért  $C_X$  kondenzátor, amely a négyesögjel alacsony szintjénél a műszeren és D2 diódán keresztül sül ki. A kisülés időtartama  $C_X$  értékétől függ. A mérő négyesögjel frekvenciája úgy van megválasztva, hogy az a kisülési idő mindig rövidebb, mint az adott méréshatárhoz tartozó négyesögjel alacsony szintje. Minél nagyobb értékű a kondenzátor, annál hosszabb ideig folyik rajta a kisütő áram, így annak kitöltési tényezője (és az átlagértéke) annál nagyobb. A műszer ezzel az átlagértékkel arányos kitérése a mért kapacitással egyenesen arányos, a skála lineáris.

A kalibrálást egy pontosan ismert kapacitású kondenzátor mérésével, a műszerrel párhuzamos trimmer-potenciométer beállításával lehet elvégezni.

S2 kapcsoló (az ábrán is látható) „a” állásában a tranzistor nyitásakor az  $L_X$  induktivitáson rövid idő alatt a tápfeszültség és a 820 ohmos ellenállás által meghatározott áram alakul ki. A tranzistor zárásakor az önindukció miatt az induktivitással arányos feszültségimpulzus keletkezik, melynek hatására a műszeren (az 500 ohmos soros trimmer-potenciométeren és D2 diódán keresztül) a feszültségimpulzussal arányos áram indul



1. ábra

meg. A műszer kitérése a mért induktivitással itt is egyenesen arányos. A kalibráció (miután már a kapacitásmérés kalibrációja megtörtént) a soros 500 ohmos trimmer potenciométer beállításával történik.

Az ismertett műszer előnye a kevés alkatrészből álló, nagyon egyszerű kapcsolás és a lineáris műszerskala. Hátránya viszont, hogy (elvileg is) csak ideális kondenzátor vagy induktivitás értékét mutatja helyesen. Ténylegesen ezeknek az alkatrészeknek veszteségük is van, amely (ha nem elhanyagolható) meghamisítja a mérést. A műszer e veszteség nagyságáról sem ad tájékoztatást.

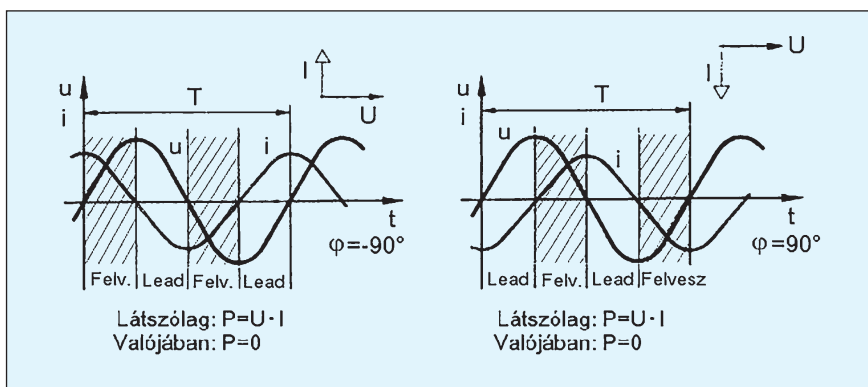
### A kondenzátor és a tekercs veszteségei

A valós teljesítmény az áram és a feszültség szorzata. Az ideális kondenzátoron, ill. tekercsen szinuszos meghajtás esetén az átfolyó áram a feszültséghez képest 90 fokkal siet, ill. késik. A **2. ábrán** látható, hogy ilyen esetben egy negyed periódusideig az áram és a feszültség azonos irányú, tehát szorzatuk pozitív, a következő negyed periódusideig pedig ellentétes irányú, tehát szorzatuk negatív. Ez azt jelenti, hogy a tisztán reaktáns elem az egyik negyed periódusidő alatt felvett teljesítményt a következő negyed periódusidő alatt leadja. Ilyen formán összességében valós teljesítményt nem vesz fel, nincs vesztesége.

A valóságos kondenzátorok és tekercsek azonban veszteségesek, nem ideális alkatrészek.

#### A kondenzátor veszteségei

**Polarizációs veszteség.** Amikor a kondenzátor feltöltődik, ha a dielektrikum molekulái villamosan semlegesek, töltéseik súlypontja eltolódik, ha pedig a dielektrikum (rendezetlen) kis dipólusokból áll, azok a tér irányába fordulnak be. A súrlódás mindkét átrendeződést akadályozza, így e folyamat valós teljesítmény befektetését igényli (polarizációs veszteség). Minél na-



2. ábra

gyobb a működési frekvencia, időegységként annál több át-polarizálódás történik, így a polarizációs veszteség a frekvenciával nő. Mértéke a dielektrikum anyagától függ.

**Véges szigetelési ellenállás.** A dielektrikum anyaga nem tökéletes szigetelő, ezért a feltöltött kondenzátor magára hagyva is kisül. A dielektrikumon így átfolyó áram szintén valós teljesítményvesztéseget jelent.

**Elektrolitkondenzátoroknál** az elektrolit soros ellenállása (equivalent series resistance = ESR, részletesen ld. az RT 2012/5. számában) is veszteséget okoz.

#### A tekercsek veszteségei

**Tekercsvesztések:**

- a tekercs anyagának ohmos ellenállása,
- a tekercselés szigetelési vesztesége,
- a tekercselés örvényáramú veszteségei, melyeket a tekercsben folyó áram saját erőtere és az egyes menetek kölcsönös egymásra hatása okoz.

**Magvesztések:**

- a magban keletkező örvényáramú veszteség,
- a mag hiszterézisvesztése,
- utóhatás veszteség: ha ferromágneses magban ugrásszerűen változik a térerősség, az indukció rövid idő alatt egy kezdeti értékre ugrik, majd csak lassan növekedve éri el végleges értékét. Változó erőter esetén az utóhatás az indukció és a térerősség között fáziseltolást és ezzel veszteséget okoz.

### Veszteséges reaktáns elem vektorábrája

A kondenzátor vagy a tekercs összes veszteségét egyetlen, sorba vagy párhuzamosan kapcsolt ellenállással szokás modellezni.

A veszteségek miatt az átfolyó áram és a feszültség közötti fáziskülönbség kisebb, mint 90 fok. A **3. ábra** egy párhuzamos veszteségi ellenállással modellezett valóságos tekercs feszültség-áram viszonyait mutatja.

Jelölések:

U = a tekercsre kapcsolt feszültség,

$I_L$  = az induktív reaktancia (U feszültséghez képest 90 fokkal késő) árama,

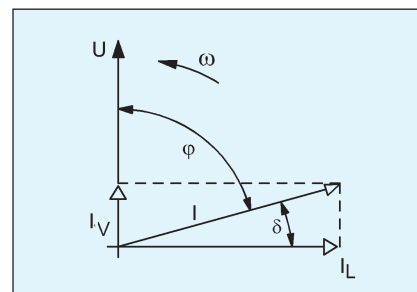
$I_V$  = a veszteségi ellenálláson átfolyó, a feszültséggel fázisban lévő áram,

I = a veszteséges tekercsen átfolyó áram ( $I_L$  és  $I_V$  eredője),

$\phi$  = az U feszültség és I áram közötti fázisszög,

$\delta$  = az ún. veszteségi szög (ugyan ezt szokás  $\Theta$ -val is jelölni).

Egy alkatrész veszteségét a következő adatok valamelyikével szokás megadni:



3. ábra