

LCFesR 4.5 precíz széles tartományú műszer

Az LCFesR egy **precíz, széles tartományú LC / LCF / LCR / ESR mérő műszer**, azaz induktivitást (L), kapacitást (C), frekvenciát (F), kis értékű ellenállást (R) és áramkörben (**in-circuit**) lévő kondenzátor soros ellenállását (ESR) mérő műszer. Ezek mellett **elemek, akkumulátorok belső ellenállása** is mérhető vele. Könnyen beszerezhető alkatrészekkel, **házilag** elkészíthető egyoldalas vagy kétoldalas nyákkal megépíthető. A műszer lelke egy továbbfejlesztett hagyományos szerelésű AVR ATmega88PA-PU vagy SMD szerelésű ATmega88PA-AU mikroprocesszor. Hagyományos verzióban **előre programozott, tesztelt processzor**, SMD verzióban **megépített, kalibrált mérő a szerelt LCD display-val** együtt hobbi mennyiségben áll rendelkezésre.

Az egyik hobbi projektemnél (kutya/macska-riasztó elkészítése során) szükségem volt egy, az általam tekercselt kis transzformátor induktivitásának értékére, de nem volt ilyen mérő műszerem. Így megpróbáltam egy induktivitást/kapacitást/frekvenciát (röviden LCF) mérő műszert elkészíteni, melyet a kondenzátor áramkörön belüli ESR (Equivalent Series Resistance, azaz egyenértékű soros ellenállás vagy másképpen jósági tényező) mérési lehetőségének a biztosítása követett. Így lett az LCF-ből LCFesR mérő.

Az Interneten megtaláltam a képleteket az L és C számításokra a CMOS IC invertereinek köré megépített LC és RC rezgőkörök segítségével. A számítások elméletével, PIC processzor alapú gyakorlati alkalmazásával John Becker az Everyday Practical Electronics, 2004 February cikkben foglalkozott. Ugyancsak az Interneten található ESR-mérő kapcsolások közül a Z86 processzor alapú Bob Parker-féle kapcsolat tetszett a legjobban. Ezen információk elméletként szolgáltak egy új műszer létrehozásához. A szoftver saját fejlesztés, semmilyen más forrást nem vettem igénybe. A jelenlegi 4.5-s verziójú AVR ATmega88PA-PU vagy AVR ATmega88P-20PU processzor alapú LCFesR műszer kifejlesztése mind a hardver, mind a szoftver vonatkozásában sok hónapos tervezést, fejlesztést, tesztelést, újratervezést, újrafelkészítést igényelt. Különösen ESR mérési módban több kiegészítés is került megvalósításra a nagyobb mérő-védelem, a feltöltött kondenzátor gyorsabb kisütése, és így gyorsabb mérése érdekében. A 4.5-s verzióban a nH tartomány stabilabb mérhetősége érdekében bevezettem a népszerű LM311 közé épített, szintén LC rezonancia alapú kis értékű L-mérést. Ugyanakkor a CMOS IC megmaradt a nagyobb induktivitás méréseért, ugyanis abban a tartományban jobban teljesít!

A műszer mérési tartománya:

Tartomány	Pontosság	Megjegyzés
10nH - 1000nH	<5%	
1uH - 200mH	<2%	
200mH – 4H	<3%	
4H – 30H	<5%	
30H-100H	Tájékoztató	
0pF - 100pF	+1pF	
100pF - 470nF	<1%	
470nF - 4700uF	<2%	
4700uF - 22000uF	<5%	
22000uF - 100000uF	Tájékoztató	
0 - 250mΩ	+5mΩ	ESR / R (in-circuit, azaz áramkörben lévő elkő ESR-je is mérhető, 1 uF-tól)
250mΩ – 1Ω	<2%	
1Ω - 25Ω	<1%	

25Ω - 30 Ω	<4%	
0.01Hz – 6MHz	<0.1%	
6MHz - 8MHz	<2%	

Az L/C-mérés alapja:

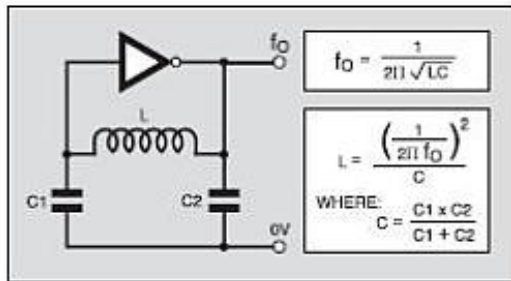


Fig.1. A basic inductance and capacitance (LC) oscillator.

$$F = \frac{1}{2 \times \pi \times \sqrt{L \times C}}$$

where:

F = frequency

$$C = \frac{C1 \times C2}{C1 + C2}$$

L = inductance

$\pi = 22/7$

$$L = \frac{\left(\frac{1}{2 \times \pi \times F}\right)^2}{C}$$

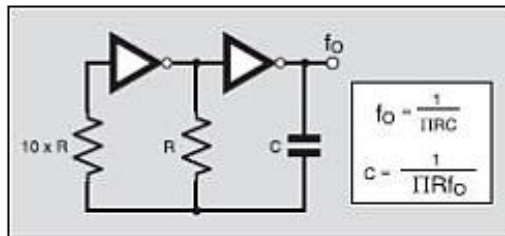


Fig.2. A basic capacitance and resistance (CR) oscillator.

$$F = \frac{1}{\pi \times R \times C}$$

$$C = \frac{1}{\pi \times R \times F}$$

A képletek magukért beszélnek. Az áramkörben lévő mikroprocesszor megméri az LC, illetve az RC rezgőkörök frekvenciáját, ebből számítja ki az induktivitás vagy a kondenzátor értékét.

Induktivitás mérésekor a mérő az LC rezgőkör rezonancia-frekvenciáját is megjeleníti, ezáltal lehetőség nyílik az induktivitás Q jósági tényezőjének kiszámításához: $Q = 2 \times \pi \times f \times L / R$, ahol a f és L értékeket a mérő megadja; az R viszont a tekercs DC ellenállása, mely egyszerű multiméterrel megmérhető.

Az LCFesR 4.5 mérő képes a 0.2H és 4H közötti induktivitású tekercsek mérésére 2 mérési móddal: „L>!” és „L<!” (ld. később). A 2 mérési mód közötti különbség a rezonancia-frekvencia mértékében nyilvánul meg (néhány 100 Hz és néhány KHz). Mint ismeretes, bizonyos tekercsek permeabilitása erősen függ a használandó (használt mérési) frekvenciától, így e tulajdonság ellenőrizhető az említett 2 mérési móddal történő mérések eredményeinek összehasonlításával: minél kevésbé tér el a 2 érték egymástól, annál kevésbé függ a tekercs permeabilitása a frekvenciától!

Az F-mérés alapja:

A műszer 8 Mhz-ig 5V-os logikai jelt képes megmérni. Amennyiben ennél nagyobb jelet szándékozunk mérni, a **mérendő jel áramát korlátozni kell 1-10 mA-re** valamilyen

áramkorlátozó ellenállás segítségével (mértem 30 V-os jelet 10 K Ω -os soros ellenálláson keresztül). A processzor rendelkezik jelfeldolgozó egységekkel (mintavevő, él-detektor, stb.), ezért elérhető a 0.1-1% pontosság.

Az ESR-mérés alapja:

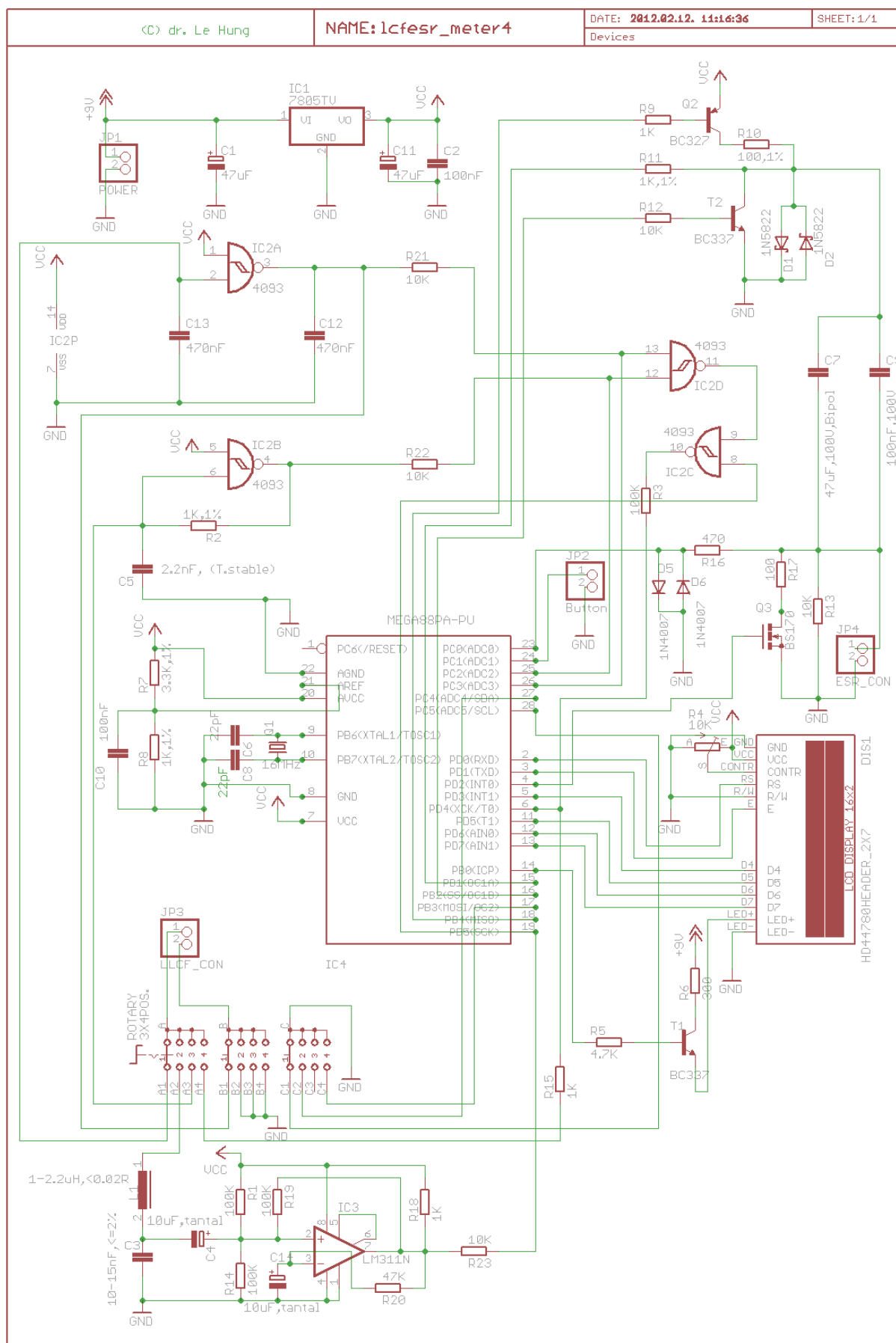
Az elektrolit kondenzátorok használata során magas hőmérséklettől vagy nagy áram-impulzusoktól kiszáradnak vagy kilyukadnak, ezáltal nem töltik be a funkciójukat. Ilyenkor megnő az egyenértékű soros ellenállásuk. Ezt megmérve megállapítható, hogy használható-e még a kondenzátor vagy cserélni kell.

Az ESR mérési funkció kialakításánál a cél az volt, hogy nem csak az egyedül álló kondenzátornak, hanem az áramtalanított **ÁRAMKÖRBEN lévőnek az ESR-je is mérhető legyen**. Az áramkörön belüli mérést úgy lehet a legegyszerűbben szimulálni, ha a mérendő kondenzátorhoz vagy ellenálláshoz párhuzamosan kössünk 1-1 darab diódát (még jobb, ha Schottky diódát), és mérjük a műszerünkkel. Ha ezen eredmény és az egyedül álló kondenzátor ESR-értéke megegyezik, akkor a műszer erre fel lett készítve. Az áramkörön belüli méréshez egyrészt **a mérő feszültséget annyira kell csökkenteni**, hogy az áramkörben lévő félvezetők a mérés során ne vezessenek, azaz ne befolyásolják a mérést (LCFesR esetében az oszcilloszkópon a csúcs-csúcs feszültség kb. 300 mV). Másrészt **polaritás-független mérés biztosításához és a mérendő áramkör, illetve a mérő védelme miatt** a mérőjelből az egyenáram-komponenst le kell választani. Viszont kis mérő-feszültség (300 mV-ig) és leválasztó kondenzátor alkalmazásával áramkörön belüli ESR-mérés során a kondenzátor kapacitása pontosan nem mérhető. Emiatt az LCFesR műszer ESR mérő funkcióját úgy kellett megtervezni, hogy a mérés külön módban történik, és további alkatrészek is kerültek felhasználásra.

A műszer minden mérés előtt fél mp alatt próbálja kisütnetni a mérő áramkörben lévő kondenzátorokat, utána 50 mA-s vagy 5 mA-s rövid ideig tartó áram-impulzussal (100 kHz mérő frekvenciának megfelelően) méri a kondenzátorra (vagy a mérendő ellenállásra) eső feszültséget. Ebből számítja ki az ESR értéket. Minthogy ezen áramimpulzus olyan rövid, hogy a μ F nagyságú mérendő kondenzátor feltöltődése nagyon csekély mértékű, így elhanyagolható az ESR mellett.

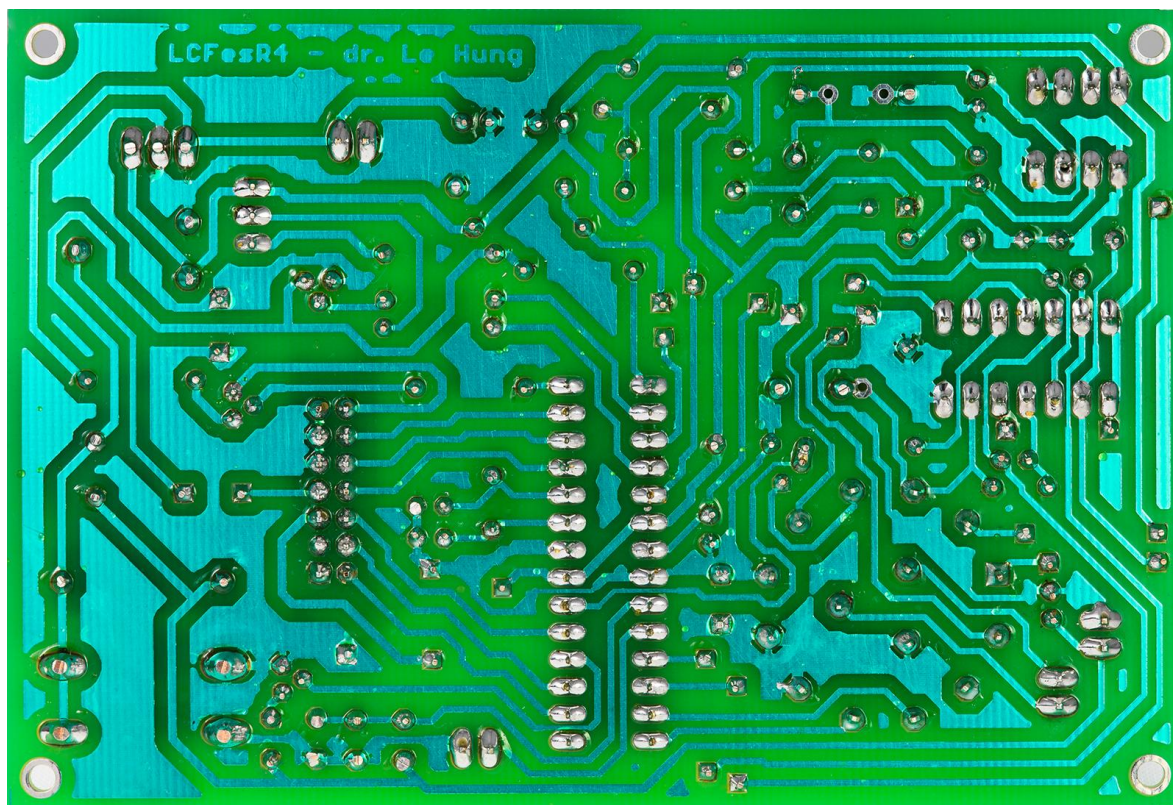
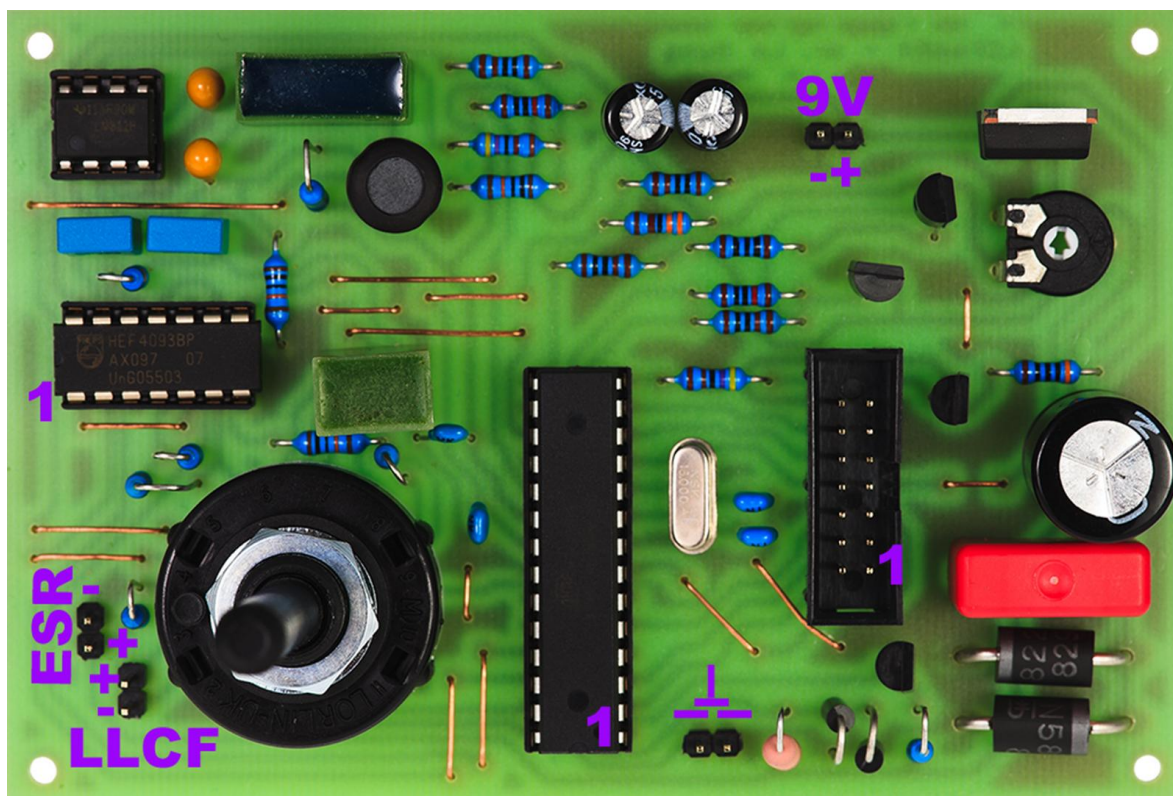
Az áram-impulzust követi a 500 μ s kisütés, mely biztosítja a kondenzátor kisütését. Ha a kondenzátor nem süt ki teljesen, az eredmény hamis lesz, mivel a mérő az ESR-re és a töltött kondenzátorra eső feszültségeket összegezve méri. Feltöltött kondenzátor mérésekor tapasztalható, hogy a kezdeti magas ESR érték folyamatosan csökken, egy kis idő múlva stabilan megáll. A stabilan olvasható ESR a valós érték, ekkor ugyanis a feltöltődött kondenzátor kisütni és már nem zavarja a mérést. **Ezért tanácsos minden kondenzátort mérés előtt kisütnetni.** Megjegyzendő, hogy a kondenzátor frekvencia-függése miatt különböző mérők valamelyest különböző ESR mérési eredményt adhatnak, mivel ezek különböző frekvenciával mérnek. Véleményem szerint nem az abszolút megegyezés, hanem a kondenzátor jóságának a megállapítása a fontos. ESR méréssel az azonos típusú, de nagyságrendben rosszabb jósági tényezőjű kondenzátorok könnyen kiszűrhetők. Ugyanígy az Interneten található különböző ESR táblázatok csak tájékoztató jelleggel szabad használni, mivel az ESR értékek gyártótól, mérési technikától függenek. Attól, hogy a műszerek némileg különböző ESR értéket mutatnak, mindegyik jó lehet a rossz kondenzátorok kiszűrésére.

Az áramköri kapcsolási terv:

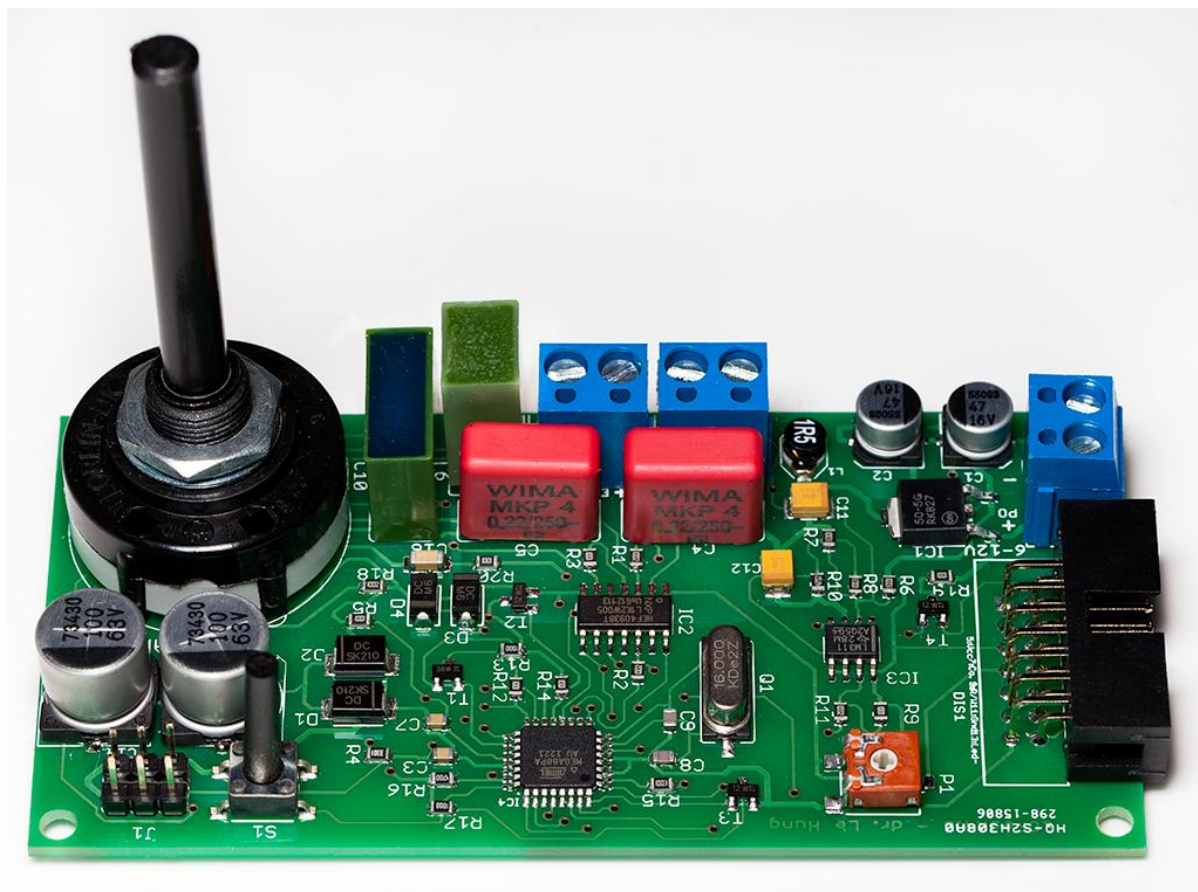


A műszer megépítése

A műszer 1 vagy 2 oldalas nyákkal megépíthető. Az egy oldalas nyákkal megépített műszer alkatrész oldala, illetve az alja a következő 2 fényképen látható:



A mérő SMD verziója is elkészült, melynek a fényképe a következőben látható:



A kapcsolási tervben a **C3** kritikus kondenzátor 2%-os pontosságúra lett megadva, azonban ha rendelkezésre áll **0.5-1%-os pontosságú, hő-stabil** kondenzátor (a **legjobb a polisztirol**, de a polipropilén típus még használható), azt beépítve, a műszer kalibrációja egyszerűsödik, vagy kalibráció nélkül is pontos és stabil. 5-10 %-os kondenzátorok is használhatók, azonban ez esetben kalibrálni kell a műszert. Nem hő-stabil alkatrészek esetén elképzelhető, hogy az 5-100 nH tartományban a ZÉRÓ érték és / vagy a mérés nem stabil. Stabilitás szempontjából szintén segít, ha az **L1 inductivitás jó Q jóságú tényezővel, kis ellenállással** rendelkezik (viszont nem kell pontosnak lennie). A C mérésnél ugyancsak 1%-osra lett megadva az **R2** ellenállás, azonban ha helyette **0.1%-os hő-stabil** ellenállást építünk be, várható, hogy a műszer C-mérése az 1-100 pF mérési tartományban még **stabilabb** lesz. Ugyanígy a **C5** kondenzátor helyén hő-stabil típust használjunk! (Nem kell pontosnak lennie).

A szoftver minden esetben lehetőséget ad a referencia értékek utólagos módosítására, így megadásuk után a műszer pontosabb lesz. **Figyelem: ha lehetőség van, a referencia alkatrészek értékét jegyezzük fel, vagy mérjük meg a beépítés előtt a későbbi kalibrációhoz (C12, C13 értékét is mérjük meg)!**

Az alkatrészek forrasztásánál két dologra kell figyelniünk: **ha axiális fojtótekercset építünk be, jobb azt függőleges helyzetben forrasztani**, mert vízszintes helyzetben a nyák vezetősávjai a tekercstől való közelség miatt zavarhatnak a rezonancia-frekvencia stabil megtartásában. Tapasztalatok mutatják, hogy stabil **ESR-mérés érdekében a mérő vezetékeket a nyákon lévő ESR_CON csatlakozó tűskékre kell forrasztani!** Ugyanígy járunk el az **LLCF_CON** csatlakozó kivezetésével!

A kapcsolási rajzon az ESR mérésnél látható, hogy a **C7** egy **bipoláris** kondenzátor, mely nem cserélhető poláris kondenzátorral. Ugyanis ha véletlenül a mérendő kondenzátor fel van töltve, akkor **gond nélkül feltöltődik a C7 (D1/D2 segít ebben)**. Bipoláris tulajdonsága révén

fordított polaritású mérés esetén **sem megy tönkre**. A **D5/D6** szintén **védi** a processzor **ADC bemenetét** a feltöltött kondenzátortól. Mindezek ellenére **FONTOS megjegyezni**, hogy csak **áramtalanított áramkörben**, és lehetőleg **kisütött kondenzátornál** mérjünk ESR-t (100 V-nál nagyobb feszültségre feltöltődött kondenzátor tönkre teheti a műszert).

A műszer használata, kalibrálása, nullázása

A pontos méréshez egyrészt be kell állítani az áramkörben %-kal megjelölt „referencia” alkatrészeknek az értékét – a folyamat, amivel ezen értékeket állítjuk be, a kalibráció. Másrészt a mérőműszert a környezeti változás hatásának kiküszöbölése érdekében időnként nullázni szükséges – e folyamat a nullázás.

Szemben néhány másik mérő műszerrel, ahol követelmény a precíz alkatrészek használata – az LCFesR nem követeli meg ezek alkalmazását, mivel a szoftvere lehetőséget ad a referencia értékek utólagos bevitelére, minden egyéb hardver használata nélkül. Ezen lehetőséggel a műszer két módon kalibrálható: beállítjuk a beépítendő alkatrészek ismert értékeit, vagy úgy beállítjuk a referencia értékeket, hogy a műszer egy-két ismert értékű alkatrész mérésénél ugyanazon értéket mérje. A kalibrálás szempontjából az utóbbi technika az egyszerűbb, jobb és bármikor elvégezhető.

Véleményem szerint fontosabb az alkatrészek működés közbeni stabilitása, azaz a hőmérséklet-változástól kevésbé változzon az értéke, mint, hogy pl. 1%-os pontos legyen. Természetesen, ha az alkatrész pontos és stabil, az a legjobb. Kevésbé stabil alkatrész esetén, de minden esetben nagyon kis értékű alkatrész mérésénél a műszer gyors nullázása segít a hőmérséklet változásának hatásának kiküszöbölésében.

A mérő műszer használata egyszerű. A 4 pozíciós forgó kapcsoló állásának megfelelően a műszer automatikusan vált a megfelelő mérési módra: **L> / L< / C (ESR) / F**. Ezek jelentése a következők:

- **L> : 200mH – 30H** induktivitás mérése. A mérő akár 100 H mérésére is képes, de pontossága romolhat. Kis (<0.2H) induktivitás mérésekor kiírja, hogy „**L<0.2H**” – ekkor kapcsolni kell az „**L<**” mérési módra! Ha nincs mérés, vagy ha a mérő kis frekvenciát érzékel (nagyon nagy H értékű induktivitás mérésekor), a „**Cyc.T?**” és a „**L>!**” szövegeket váltakozva jeleníti meg. Ekkor vagy **mérjünk** valamilyen induktivitást, vagy nagy induktivitás mérésekor a **nyomógombot egyszer nyomjuk** meg a periódusidő mérésének elindításához!
- **L< : 10nH – 4H** induktivitás mérése. Nagy (>4H) induktivitás mérésekor kiírja, hogy „**L>4H**” – ekkor kapcsolni kell az „**L>**” mérési módra! Ha nincs mérés, vagy ha a mérő kis frekvenciát érzékel (nagyon nagy H értékű induktivitás esetében), a „**Cyc.T?**” és a „**L<!**” szövegeket váltakozva jeleníti meg. Ekkor vagy **mérjünk** valamilyen induktivitást, vagy nagy induktivitás mérésekor a **nyomógombot egyszer nyomjuk** meg a periódusidő mérésének elindításához!
- **C vagy ESR** : Alap módban **1 pF-100000 uF** kondenzátor (C) mérése. Az ESR mérési mód (**0-30 Ω**) úgy aktiválható, hogy a nyomógombot nyomva tartjuk 2-3 mp-re. A C mérési mód visszakapcsolásához szintén a nyomógombot kell nyomva tartanunk újabb 2-3 mp-re.
- **F : 0.01 Hz – 8 MHz** frekvencia mérése. Ha nincs mérés, vagy ha a mérő kis frekvenciát érzékel (<40 Hz), a „**Cyc.T?**” és a „**F!**” szövegeket váltakozva jeleníti meg. Ekkor vagy **mérjünk** valamilyen frekvenciát, vagy kis frekvencia mérésekor a **nyomógombot egyszer nyomjuk** meg a periódusidő mérésének elindításához!

A műszer automatikusan és folyamatosan mér. Azonban ha 40 Hz-nél kisebb frekvenciát észlel, a mérő automatikusan vált át a periódus-időmérési módra, mely valamivel több időt

vesz igénybe, de pontosabb frekvenciát ad. *Ilyen esetekben az L/C mérés esetén csak egy mérési eredmény látható* (ekkor újabb mérés kezdeményezhető a gomb nyomásával vagy az alkatrész csere után), illetve F méréskor mindenképpen várakozik a gomb nyomására.

A mérő az első bekapcsolásnál figyelmezteti a felhasználót, hogy a műszert nullázni kell (mind addig, amíg ez meg nem történt, figyelmeztet). **A műszer nullázása a következő szerint történik: C módban** a mérő vezetékeket **nyitva hagyva**, **L< és ESR módban** viszont **összezárva 4-6 mp-ig** lenyomva kell tartani a gombot. Ha sikeres a nullázás, a műszer üzeni, hogy a nullázás OK! A nullázás bármikor megtörténhet, különösen, ha nagyon kis értékű alkatrész értékét kell mérni, vagy ha egy másik környezetben (hidegebb vagy melegebb helyen) mérünk. A nullázáskor mért értékeket szintén az EEPROMBAN tárolja.

Ha a referencia alkatrészek 1%-osak voltak, akkor nem kell elvégezni a kalibrációt, azaz nem szükséges az alap referencia-értéket módosítani. Ha más értékűek lettek beépítve, vagy nem elég pontosak, vagy még pontosabb eredményeket szeretnénk, akkor a következőt kell megtenni a kalibrációhoz: a nyomógombot **7-11 másodpercig** benyomva tartjuk. A műszer az aktuális módnak megfelelően kiírja az aktuális referencia értéket. Több paraméter esetén, kis várakozás után a következő értéket megjeleníti. A nyomó-gombot **nyomkodva** vagy **nyomva-tartással** megváltoztatható az aktuális érték. Nyomkodás nélkül néhány mp múlva a műszer rögzíti a bevitt értéket a nem felejtő memóriájába. Ezután vagy kiírja a következő referencia értéket annak beállítására várva, vagy kilép a kalibrációs módból. A korábbi verzióval szemben, ahol az értéket csak növelni lehetett (amikor a változtatás során a felső értékhez érünk, a mérő megjelenítette az alsó értéket, biztosítva a kisebb érték beállítását), az LCFesR 4.5 verzióban már van lehetőség arra, hogy **az aktuális értéket növeljük vagy csökkentjük**. Ehhez minden érték beállítása előtt a szoftver 2 mp-ig vár arra, hogy változtassuk a következő művelet irányát: legelőször megjeleníti a „++>” szöveget (ez azt jelenti, hogy az érték-növelés következik); ha azonnal nyomunk egy gombot, akkor a szöveg megváltozik a „--<” szövegre (érték-csökkenés következik). Ha 2 mp-ig nem nyomunk gombot, akkor a szoftver megjeleníti az aktuális paraméter értékét. Ekkor az elfogadott (növelő vagy csökkentő) művelettel tudjuk növelni vagy csökkenteni az értékét. Az új lehetőséggel gyorsabban végezhető el a referencia-értékek beállítása (azaz a mérő kalibrációja).

A kis induktivitások mérésénél (LM311 IC + LC rezonancia) használt **C3** referencia értéke, **REF_C = 10-15 nF** között lehet. A nagy induktivitások mérésénél (4093 IC + LC rezonancia) használt **C12, C13** kondenzátorok eredőjének az értékét kell beállítani a **REF_C+** paraméterben, amely alaphoz kb. a 470nF a fele, azaz kb. **235 nF**.

A C méréshez használt R referencia érték (röviden: REF_R) a 900-1100 Ω között változtatható. Alap esetben ez **997 Ω** .

Az L/C vagy a ESR mód kalibrálását követően, a műszert mindig nullázzuk, mely a nyomó-gomb 4-6 mp-es nyomva tartását jelenti!

ESR mérés kalibrációjánál az árambeállító R10 (100 Ω), R11 (1000 Ω) ellenállások értékeinek módosításával kompenzálni tudjuk a mérő áramkörben lévő különböző alkatrészek, vezetősávok, ADC pontatlan referencia-érték hatásait.

Az ESR mérésnél a kalibráció a következők szerint történik: Először a nyomó-gomb **4-6 mp-es nyomva tartásával nullázzuk a mérővezetékeket**. Utána egymás után az **1 Ω 1%-os**, illetve **5.1 Ω 1%-os** külső ellenállást befogva, nézzük meg mennyire tér el a műszer által mutatott érték ezekről. Ha eltérés nem tapasztalható, nem szükséges elvégezni a kalibrációt. Ellenkező esetben a műszer kalibrálandó. Az **1 Ω 1%** ellenállás a kisebb értékű (0-2.5 Ω) ESR méréseknek, az **5.1 Ω 1%-os** ellenállás viszont a nagyobb (2.5-30 Ω) értékűeknek a

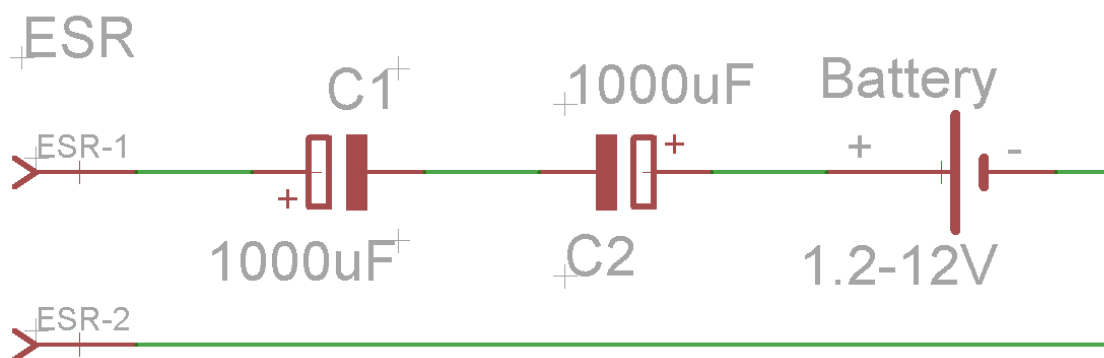
kalibrációjához szükséges. Először befogjuk az 1 Ω , 1% ellenállást, utána lenyomjuk **7-11 mp**-re a gombot, belépünk a kalibrációs módba. Itt változtassuk meg a szoftver által mutatott **100 Ω** értéket a gomb nyomkodásával, vagy a nyomva-tartással. Az eltéréstől függően állítsunk be néhány +- Ω -ot, és várjunk néhány mp-ig, amíg a program kilép a kalibrációs módból, és el kezd mérni. Nullázzuk a mérőt és nézzük újra az 1 Ω -tól való eltérést. Valószínű, hogy 1-2 beállítás után a mérés jó lesz. Az 5.1 Ω értékű ESR mérés beállításához a **1000 Ω** alapértéket kell módosítani. Ehhez a beállítási módba belépve, az elsőre ajánlott, előzőleg módosított értéket ne változtassuk, várjunk néhány mp-ig, míg a szoftver az **1000 Ω -ot** ajánlja fel a módosításra. Ekkor jöhet ezen érték változtatása. Ha ezzel készen vagyunk, nullázzuk és ellenőrizzük az 5.1 Ω -tól való eltérést!

A kalibráció során találkozunk még egy harmadik, az ún. ESR_Cal paraméterrel, mely lehetőséget ad arra, hogy az ESR mérésnél alkalmazott mérő-impulzus idejét kissé pontosítsuk (az alkatrészek gyártási szórása miatt), hogy az megfeleljen 100 kHz-es mérő frekvenciának. Nagyobb értékre történő beállításával a mérő frekvencia növelhető - ez egy lehetőség, hátha valaki élni szeretne vele.

Kalibráció és nullázás után a műszer kész a mérésekre. L/ESR méréseknél a mérővezetékek összekeverhetők, azonban az **C/F méréseknél fontos a korrekt pólus-használat!!!**

Alap állapotban a műszer LCD háttér világít. Az LCD háttér megvilágítása azonban kikapcsolható, ha a nyomógombot **12-15 mp**-re nyomjuk (erre szintén emlékszik a műszer a kikapcsolása után is). Természetesen, ha a gombot lenyomva tartjuk **12-15 mp**-re, újra aktiválható az LCD háttér megvilágítása.

Az LCFesR mérő az **ESR mérési módban** mérni tudja az **elemek, a tölthető akkumulátorok belső ellenállását**. Ehhez szükségünk van 2 db 1000 uF 16V (nagyobb feszültségű áramforrás belső ellenállás-mérése esetén inkább 25V) kondenzátorra, hogy le tudjuk választani a DC áramot a mérőtől – ugyanis az elemek, akkumulátorok áramforrások. A következő szerint kell mérnünk (tulajdonképpen az egyik mérő kábelben sorban, szemtől-szembe van beforrasztva a 2 db kondenzátor):



Az új kábel elkészítése után, az új mérőkábelt NULLÁZNI kell, azaz rövidre zárjuk őket és nullázzuk el egyszer! Ezután a mérőkábel kész a belső ellenállás mérésére. Általában itt is mondható, hogy ha az elem (akkumulátor) belső ellenállása az új darab értékének a kétszerese vagy többszöröse, akkor az már elhasználódott.

A műszer L/C/F/ESR méréseiről néhány perces videó-anyagokat készítettem, melyek a honlapomon találhatók:

<http://lcfesr.atwebpages.com>

A műszerben lévő AVR mikroprocesszorba programot kell égetni. A műszer kipróbálásához egy DEMO verzió áll mindenki rendelkezésére. A DEMO program teljes értékű, azonban bekapcsolás után enged kb. 5 percig mérni. Újból méréshez ki kell kapcsolni, majd bekapcsolni a mérőt. Ilyen módon a műszer kipróbálható.

Aki nem tud AVR EPROM-ot égetni, e-mail-t írhat a hutale@gmail.com címre, az égetésben tudok segíteni. Szívesen égetek és küldök teljes értékű programot egy AVR ATMEGA88PA-PU-ban.

A műszer fejlesztése sok energiával, munkával járt (több hónapos munka), így a teljes verziójú szoftvert nem tudom közé tenni.

Figyelem: mindkét HEX file-t (Flash-be a programot, EEPROM-ba az adatokat) kell égetni.

Az égetéshez eszközök, leírások találhatók az Interneten. Nagyon egyszerű LPT-s és bonyolultabb USB-s égetők is elkészíthetők, beszerezhetők.

Hungary, 2018. október 21.

dr. Le Hung, hutale@gmail.com