

A légtömegáram-mérő

belvilágának rejtelmek - mérés, tisztítás

Sokan olvastak, láttak, hallottak, cseréltek, talán még programoztak is második generációs HFM5 forrófilmes légtömegmérőt. Ismerjük is a működési elvet, de tudjuk, hogy valójában hogyan működik egészen pontosan? A gyártó kiad bizonyos adatlapokat, leegyszerűsített belső kapcsolási vázlattal, mely a részletes áramkörti működésről sajnos nem árul el pontos információt.

A szakirodalomban elmélyülve és a dolgoknak jobban utánaolvasva megállapíthatjuk, hogy nincs olyan, a témával részletesen foglalkozó idegen nyelvű leírás sem, melynek segítségével, a légtömegmérő tényleges belső kapcsolását lépésről lépésre végigkövetve, eljutnánk a légtömeg függvényében a kimenet által szolgáltatott feszültségjel előállításához.

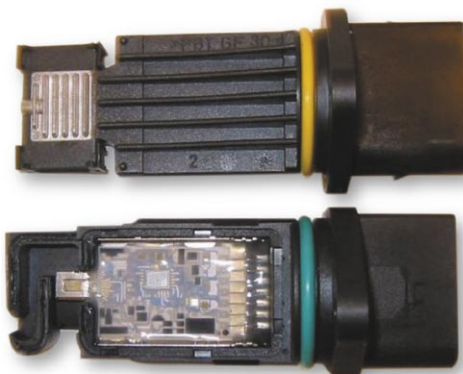
A villamos szakemberek minden villamos gépet (transzformátor, szinkrongép stb.) lemodelleznek egy helyettesítő kapcsolással, melynek segítségével az adott gép működését modellezni, villamos paramétereit számolni lehet, és a számomra legfontosabb tulajdonság, a pontos működési elv, a szűrkeállomány örök birodalmában marad! Így van ez a légtömegmérő esetében is, ahol látni fogjuk, hogy a bonyolult, digitális áramköröket leegyszerűsítve, azokat analóg dolgokra visszavezetve, ugyanazt a tényleges kiértékelő áramkört állítjuk elő, mint teszi azt a nálánál összetettebb felépítésű hibridtechnológia.

Sok más dologhoz hasonlóan, itt is az alapokkal kell egy kicsit megismerkednünk. Az első fontos dolog, a különböző ellenállások

bevezetése. Elsőként említhetjük az UPR ellenállást, mely nevét onnan kapta, hogy ellenállását széles hőmérsékleti tartományban mindig azonos értéken tartja. Sokáig titkolta a gyártó, mely a mai napig páratlan a termék gyártásában, hogy hogyan sikerült ilyen precíziós passzív elemet előállítani, de a technika ma már ismert. Azt ugye tudjuk, ha egy vezetődarabot felmelegítünk, annak fajlagos vezetőképessége ($1/\rho$) csökken, valamint geometriai alakváltozást szenved, megnyúlik. Ellenállása, a $\rho \cdot L/A$ képlet szerint módosul, növekedni fog. Hogy ezt a nyúlást és vezetőképesség-csökkenést kikompenzáljuk, olyan hordozóanyagot kellett keresni, melyre az ellenállást „rágózólva”, annak hő okozta geometriai változását csökkenti. Ez az anyag nem más, mint a kerámia, mely a hő hatására zsugorodik, így az ellenállás a hőmérséklettől függetlenné válik.

A következő fontos passzív elemünk egy platina ellenállás, a Pt1000-es, mely fő jellemzője, hogy széles hőmérsékleti tartományban az értékét lineárisan változtatja. Azt is mondhatnánk, hogy egy lineáris PTC rezisztor, melynek 0 °C-on mért ellenállása 1000 ohm, és 1 °C növekvő hőmérséklet-változásra 3,85 ohm növekvő ellenállás-változással reagál. A gépjárművekben alkalmazott érzékelők legnagyobb része a Wheatstone-híd által épített áramkör jellegzetes tulajdonságát használják fel. Az áramkörbe helyezett ellenállásokkal elérhetjük, hogy azok változása egyszerű módon feszültségjellel alakuljon át. Mivel erről az egyszerű kapcsolásról mostanában sokat hallunk, célszerű közelebbről is megismerkednünk vele (1. ábra).

A mérőhidat az R1, R2, R3 és R4 ellenállások alkotják, értékeik jelen kapcsolás esetén azonosak, melyet meg tápláljuk az U bemeneti 12 V feszültséggel. A kimeneti feszültséget a



két ellenálláspár között vezetjük ki. A kimenet értékét megkapjuk, ha a két ág áramát külön-külön megszorozzuk az R2 és R4 ellenállás értékével, és az azokon eső feszültséget kivonjuk egymásból (2. ábra):

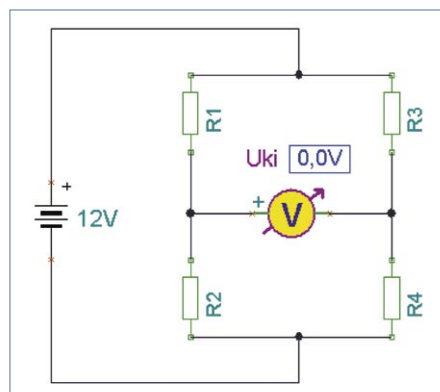
$$U_{ki} = U_{be} \times (R2/(R1+R2) - R4/(R3+R4))$$

(3. ábra)

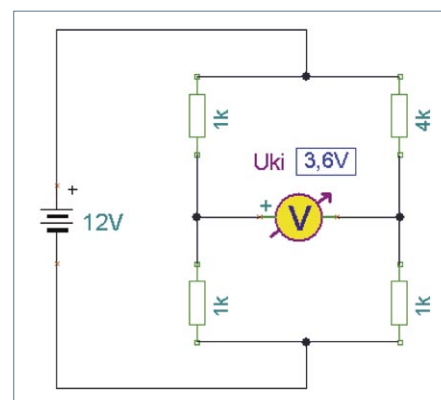
Nézzük a dolgot egy példán keresztül, ahol az R1, R2 és R4 ellenállások 1 kOhm értékűek, és az R3-as ellenállás 1 kOhm értékről 4 kOhm értékre növekszik:

$$U_{ki} = 12 \text{ V} \times (1/(1+1) - 1/(1+4)) = 3,6 \text{ V}$$

Az egyenletből látható, hogy ha a Wheatstone-híd minden ellenállása változik, akkor egy négyváltozós függvényt kapunk, melynek alkalmazása óriási felhasználási lehetőséget rejt magában!



1. ábra

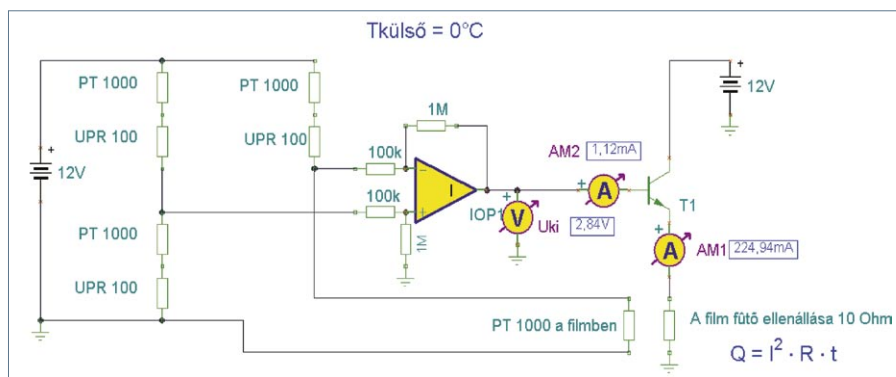


2. ábra

Nem titok, hogy így működnek a common rail rendszerek közös nyomócsövében elhelyezett nyomásérzékelők is. Ha ügyesen helyezzük el az adott hidakon a megfelelő ellenállásokat, akkor első lépésben előállítunk egy olyan fűtő hidrendszert, mely a „forró film” hőmérsékletét a környezeti hőmérséklettől függetlenül, mindig egy állandó delta értékkel túlmelegíti (3. ábra).

Vizsgáljuk meg a kapcsolásunkat először 0 °C külső hőmérséklet esetén. Ekkor a PT ellenállások értéke pontosan 1 kOhm, a vele sorban elhelyezkedő UPR-ellenállások értéke a hőmérséklettől függetlenül mindig 100 ohm értékű. A hídellenállásokat úgy választjuk meg, hogy ebből három ellenállás egyforma legyen, a negyedik pedig csak egy 1000 ohmos PT ellenállást tartalmazzon a fűtőegységbe beépítve. A gyújtás bekapcsolása után a híd közvetlen kimenete

$12 \text{ V} \times (1,1 / (1,1 + 1,1) - 1 / (1 + 1,1)) = 0,285 \text{ V}$ feszültségértékű lesz, melyet egy differencia erősítő bemenetére vezetve $1 \text{ M} / 100 \text{ k} = 10$ -szeresre növel, ekkor $U_{ki} = 2,84 \text{ V}$. Itt látszik, hogy a tízszeres erősítés minimálisan hibázik, ami abból adódik, hogy a differencia erősítő pozitív bemeneti lába előtt elhelyezkedő 1,1 Mohm ellenállás a híd bal alsó ellenállásaival párhuzamosan kapcsolódik. Így, hogy a differencia



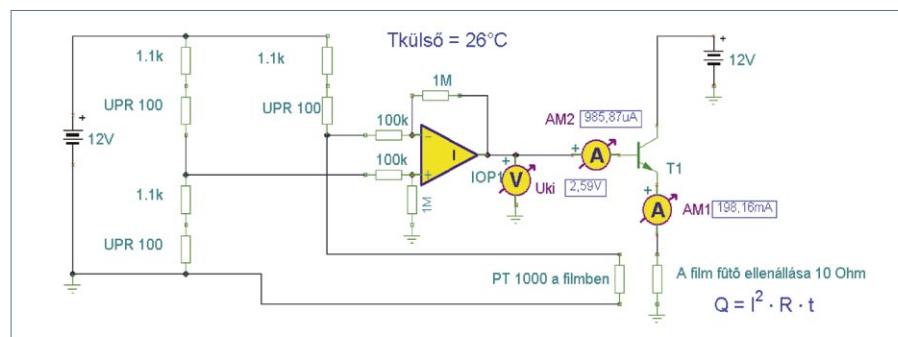
3. ábra

helyezett fűtött PT ellenállás értéke 1077 ohm közeli értékre áll be, mely a kimeneten erősítés után 0,6 V bázisfeszültséget szolgáltat. A tranzisztor ezt a külső feszültségértéket kevesellni fogja, és szépen elzárja a fűtőellenállás emitter

és kis idő után a hőmérséklete közel állandó értékű lesz, beáll az egyensúlyi állapot. Igen, de mi történik, ha a külső hőmérséklet nem nulla, hanem + 26 °C? (4. ábra).

A magasabb külső hőmérséklet hatására a négy PT ellenállás értéke $1000 + 26 \text{ °C} \times 3,85 \text{ ohm/°C} = 1,1 \text{ kOhm}$ értékre növekszik. A gyújtás bekapcsolása-kor a híd kimeneti feszültsége: $U_{ki} = 12 \text{ V} \times (1,2 / (1,2 + 1,2) - 1,1 / (1,1 + 1,2)) \times 9,97 = 2,59 \text{ V}$

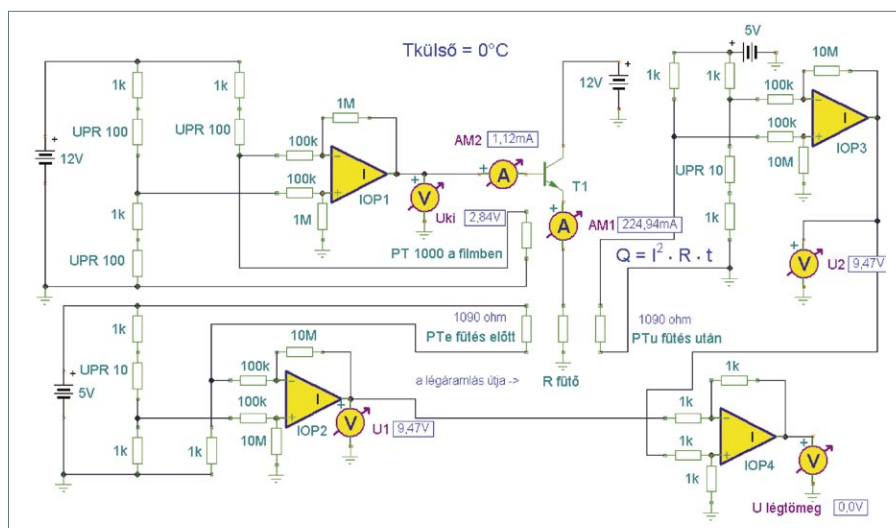
Vagyis a bázisfeszültség kisebb értékű lesz, ami azt eredményezi, hogy a fűtőellenálláson is kisebb áram fog folyni az előző nulla fokok állapothoz képest. Hogy a film hőmérséklete a változó külső hőmérséklethez képest mindig csak egy állandó delta hőmérsékleti értékkel legyen túlmelegítve, ahhoz az kellene, hogy a fűtőellenállásunk ellenállása a hőmérséklet növekedésével enyhén csökkenjen, mert így a nagyobb emitteráram a kisebb ellenálláson a Joule-törvény értelmében ugyanazt a hőmennyiséget fogja eldisszipálni, mint alacsonyabb hőfok esetén, és így biztosítjuk a film állandó túlmelegített hőmérsékletét az éppen aktuális külső levegő-hőmérséklethez



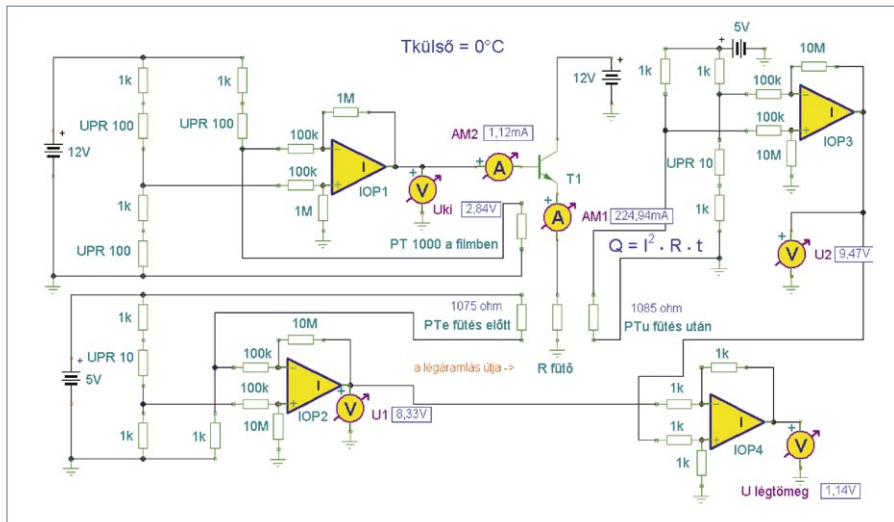
4. ábra

erősítő bemeneti ellenállásait két nagyságrendileg nagyobbra választottuk, mint a hídellenállást, az elkövetett hibát elhanyagolhatónak tekinthetjük. A műveleti erősítőnk kimenetét egy földelt kollektoros tranzisztoros kapcsolás bázisára vezetjük. E kapcsolás jellegzetessége, hogy csak áramerősítési tulajdonsága jelentős és számolása egyszerűsödik. Azt kell tudnunk, hogy a tranzisztor akkor nyit, ha a bázis emitter közti feszültségkülönbség ~0,6 V. Ez bőven megvan, vagyis ezt a 0,6 V-ot le kell vonnunk a 2,84 V-ból, ekkor a nullapont és az emitter között elhelyezkedő 10 ohm értékű fűtőellenállásra éppen 2,24 V jut, a rajta keresztül folyó áram értéke pedig $I = 2,24 \text{ V} / 10 \text{ ohm} = 0,224 \text{ A}$. A műveleti erősítő kimeneti terhelése ekkor a tranzisztor bázisárama, mely a fűtőellenálláson átfolyó emitteráram bétád része. A béta értéke tranzisztorfüggő, jelen esetünkben 200. A fűtőellenálláson átfolyó áram Joule-törvénye szerint $I^2 \times R \times t$ mennyiségű hőt termel, mely a beépített PT ellenállásunkat szintén melegíteni fogja. Ha a PT ellenállásunk melegszik, akkor annak értéke fokként 3,85 ohm értékkel emelkedni fog, majd egy kis idő után, $20 \text{ °C} \times 3,85 \text{ ohm/°C} = 77 \text{ ohm}$ értékkel növekszik. Ekkor a híd

áramát. A hőtehetetlenség miatt a PT még egy darabig tovább melegszik, de a híd kimenete ekkor teljesen kinullázódik és a tranzisztor emitter árama teljesen megszűnik. A film fűtés nélkül marad, hűlni kezd, majd a műveleti erősítő kimeneten ismét megjelenik a bázisfeszültség



5. ábra



6. ábra

viszonyítva. Ez a fűtőellenállással sorba kapcsolt vagy külön NTC-ellenállással is kompenzálható, de látni fogjuk a későbbiek folyamán, hogy nem követünk el hibát, ha megengedjük, hogy a növekvő külsőlevegő-hőmérséklet hatására, a túlhevített film hőmérséklete minimálisan ugyan, de csökken a környezethez viszonyítva.

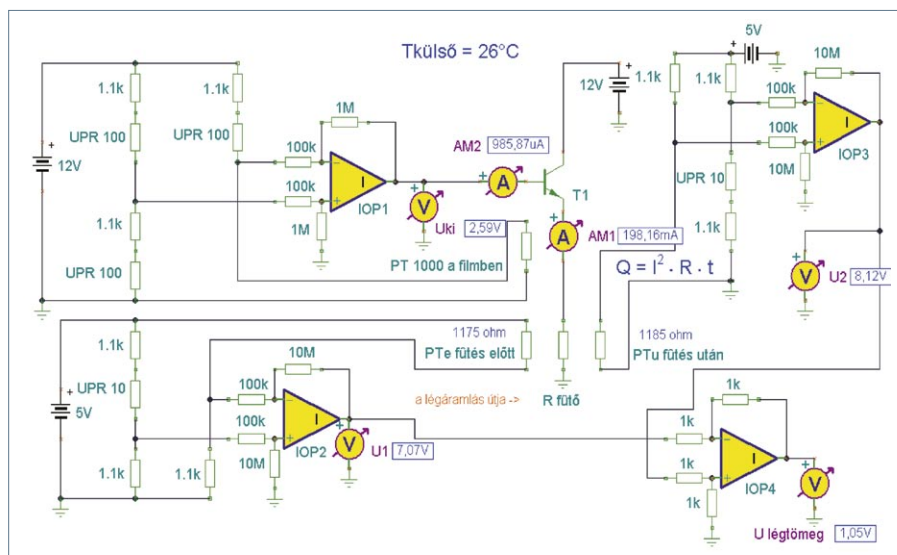
Ha idáig sikerült értelmeznünk a kapcsolást, akkor tekintsük át egy kicsit elméleti szinten a légtömegmérő elvi működését. Ugye azt tanultuk, hogy áramláshelyesen a forró film fűtő ellenállása elé és mögé elhelyeznek szintén egy-egy hőfokérzékelőt. A fűtőellenállás ezt a két hőérzékelőt nulla légáram esetén azonos hőmérsékletre fogja felmelegíteni. Mivel köztük lévő hőmérsékleti különbség nincs, ezért a két értéket egymásból kivonva nulla „légtömegértéket” kapunk. Most tegyük fel, hogy a forró filmet üzemszerű légáramlás környezetébe helyeztük. Ekkor a légszűrő felől érkező levegő az első hőfokérzékelőt lehűti, majd a tovább áramló levegő felveszi a forró film kis részének termikus energiáját és elhaladva a második hőfokérzékelő felett azt már csak kisebb mértékben hűti le. Vagyis a két hőfokmérő között hőmérsékleti különbség lesz, melyet egymásból kivonva már arányos lesz az adott keresztmetszeten átáramlott levegő tömegével. A levegő tovább áramlik a szívószelep felé, de tételezzük fel, hogy a motor fordulatszáma alapjárat közelében üzemel és az éppen aktuális hengerben mozgó dugattyú sűrítési ütemében a szívócsatornában visszarámlás indul meg. A hengerből kifelé áramló levegő – adott esetben már keverék – a forró film fűtőellenállása mögé elhelyezett hőfokmérőt fogja először meghűteni, majd áthaladva a fűtőellenálláson az első hőfokmérőtől kevesebb hőt von el. Mondhatnánk, hogy a

légszűrőhöz közelebbi film hőfokmérő hőmérséklete ekkor magasabb lesz, de nem mondjuk, mert többhengeres motort feltételezve az egyik páratlan hengerben éppen szívó ütem kezdődik, mely a sokkal erősebb áramlás miatt dominánsabb. Mivel az új domináns hengerbe áramló légtömeg a sűrítési ütem elején szintén eljuttassa a visszarámlást, ezért a fő áramlás és a visszarámlás összevonódik, így az aktuális ténylegesen kevesebb beszívott légtömeggel arányos feszültségjelet vehetjük le a forró film két hőmérője közötti különbségből. Ezek után nincs más hátra, mint a logikának megfelelő kapcsolás elkészítése. Nézzünk rá néhány példát (5. ábra).

Első ránézésre próbáljuk meg megkeresni a film fűtő ellenállása előtt és mögött elhelyezett PTe és PTu jelzésű PT1000-es ellenállásokat. Az adott kapcsolásban, nulla légáram esetén

a hőfokmérő ellenállásokat a fűtő áramkör azonos, 23 °C hőmérsékletre melegíti. Ekkor mindkét Pt értéke $1000 + 23 \times 3,85 = 1090$ ohm értéket vesz fel, mely ellenállásokat a fűtő áramkörhöz hasonlóan további két hídkapcsolásba kapcsolunk. Figyeljük meg, hogy itt a Wheatstone-híd ellenállásértékei nagyon közel esnek egymáshoz és a várható kis PTe és PTu változás miatt a kimeneti feszültségérték nagyon minimális értékben változik. Hogy érzékenyebb tegyük a mérést, a híd feszültségeket százszorosára erősítjük, ekkor az erősített kimeneti feszültségek – U_1 és U_2 – azonosak lesznek, melyeket az IOP4 műveleti erősítővel egymásból kivonva nulla feszültségértéket kapunk. Most helyezzük a „filmet” a légáramlás útjába (6. ábra).

A légszűrő felől áramló külső levegő először meghűti a PTe ellenállást, de csak kis mértékben, $1090 - 1075 = 15 / 3,85 = 4$ °C-kal, mert a fűtéshez közeli elhelyezés gondoskodik arról, hogy az ellenállás hőmérséklete mindig az állandó delta túlhevített hőfok közelében maradjon. Ezt követően a levegő tovább áramlik és felvesz valamennyi hőmennyiséget a fűtőellenállástól, majd meghűti a PTu ellenállást is. A PTu ellenállás azonban nem tud a PTe ellenálláshoz képest azonos hőfokú hőmérsékletre csökkenni, mert az áramló levegő közben kis mértékben felmelegedett. PTu hőmérséklete $1090 - 1085 = 5 / 3,85 = 1,29$ °C-kal csökken. A két híd feszültség különbsége $U_2 - U_1 = 9,47 \text{ V} - 8,33 \text{ V} = 1,14 \text{ V}$ feszültség, mely közvetlenül a légtömegmérő kimeneti feszültségét adja. A kapott feszültségértékünk jó közelítéssel az alapjáraton beszívott levegő tömegét tükrözi. Most nézzünk példát arra, hogy mi történik változatlan légáramlás esetén, ha a külső levegő hőmérséklete 26 °C-ra emelkedik (7. ábra).

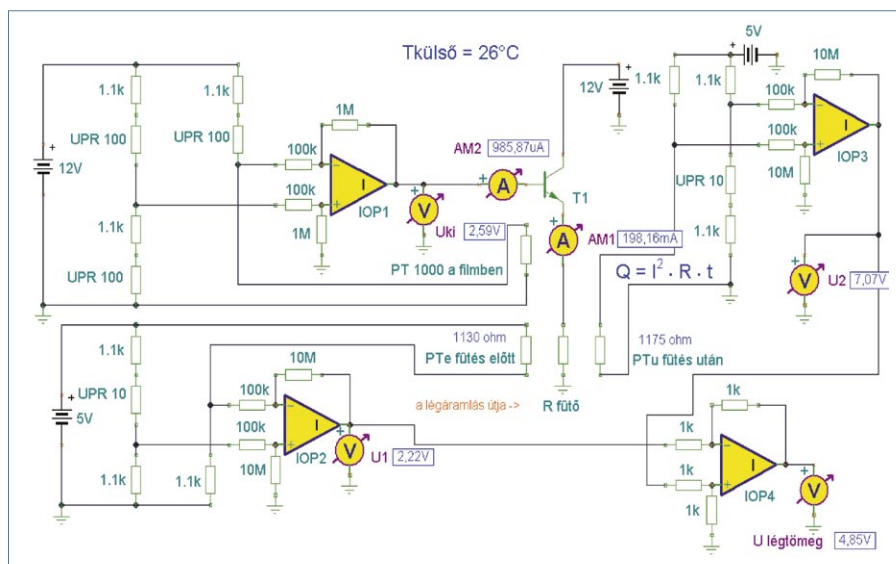


7. ábra

Látható, hogy minden PT ellenállás értéke $26\text{ }^{\circ}\text{C} \times 3,85\text{ ohm}/^{\circ}\text{C} = 100\text{ ohm}$ értékkel növekszik. Jelen esetben megengedtük, hogy a növekvő külső hőmérséklet hatására a film áramfűtését szabályzó bázisfeszültség minimálisan ugyan, de kisebb filmhőmérsékletet állítson be. Az áramló melegebb levegőnek ekkor a vele arányosan kevésbé fűtött melegebb filmhőmérsékletet kell hűtenie, melyek ekkor kevesebb légmolekulát tartalmaznak, így megközelítőleg ugyanannyi hőelvonással bír, mint az előző alacsonyabb hőfokú állapot. Ez azt jelenti, hogy az adott hídkapcsolásainkban a kimeneti feszültségek értékeinek - U_1 és U_2 - azonosnak kellene maradnia, de a híd többi PT ellenállásainak változására a feszültségek csökkenni fognak. A két kimenet különbségét összegezve - IOP4 - kiderül, hogy az U légtömeg értéke a növekvő hőmérséklet hatására automatikusan 1,05 V értéket vesz fel, mert a meleg levegő kitágul és a térfogategységre eső tömege csökken. A hő okozta kompenzációt jelen esetben nem a film hajtotta végre egyedül, hanem közösen a híd ellenállásainak változásával került kiértékelésre.

Most a következőkben nézzünk arra példát, mikor a motort megterheljük és szabad áramlást biztosítunk a fojtószelep teljes nyitásával (8. ábra).

Látható, hogy a megnövekedett légtömeg áramlása nagyobb hőmérsékleti különbséget hoz létre a filmen elhelyezett ellenállások között, melyek hídba kapcsolt feszültségkülönbsége 4,85 V kimeneti feszültséget hoz létre. A következő pillanatban a motorunk egy szívószelepének tömítő élszalagja lecsökken, az éppen aktuális henger sűrítési ütemében a szívócsőben visszarámlás következik be (9. ábra).



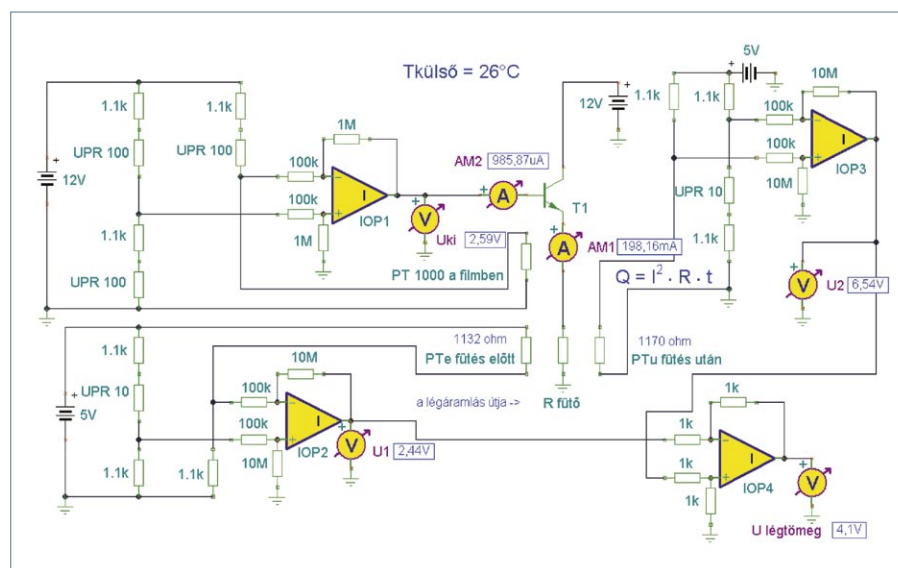
8. ábra

Látható, hogy a PTu ellenállás értéke csökken és a PTe pedig nő, de szerepet nem cserélnek, mert a páratlan domináns henger „hűtő” hatása sokkal erősebb.

Sajnos a gyakorlati tapasztalatok azt mutatják, hogy a légtömegmérők néhány tízen ezer km után elkoszolódnak, és hamis mérést valósítanak meg. Direkt sportlégyszűrők hátányban. Ekkor lehetőség van annak megtisztítására, és nem kell mindjárt azonnal cserélni. Indítsuk be a motort, járassuk alapijraton és mérjük meg a kimenet feszültségét, majd jegyezzük fel. Szereljük ki a légtömegmérőt a házból és helyezzük félig elmerült állapotban brigécioalba. Végezzünk olyan mozdulatokat, hogy a tisztító közeg a filmet mossa, de semmi esetre se próbálkozzunk ecsettel vagy más

külső segédeszköz alkalmazásával. Egy perc mosogatás után látni fogjuk, hogy tisztítószerrünk elszíneződött. Ekkor mossuk át lassan folyó vízzel is, majd szárítsuk meg. A szárításhoz használhatunk sűrített levegőt is, kárt nem okozunk vele. Egy fontos szabály azonban van, hogy a légtömegmérőt teljesen ki kell szárítanunk, és csak ilyen állapotban szabad visszaszerelnünk, hogy a fűtő áramkör ne terhelődjön túl, ne végezzen „szárítást”. Autómosóban ne végeztessünk motormosást, mert a meleg motort lehűtő hideg víz pára-képződéssel jár anélkül, hogy a légtömegmérő közvetlenül vizet kapott volna!!! Építsük vissza a helyére, indítsunk, majd mérjük meg újból a légtömegmérő kimeneti feszültségét. Ha a mért feszültségek között különbséget tapasztalunk, akkor jó esélyünk van rá, hogy a jármű menetdinamikáját a „mosogatás” pozitívan befolyásolja.

Találkozhattunk olyan esettel is, hogy a mosogatás nem használ, és a diagnosztika a „kell” értékhez képest kevesebb légáramot mutat. Ilyenkor mindenképpen győződjünk meg arról, hogy valóban az előírt légtömegmérő került beépítésre. A külső jelleg még nem minden, a szám szerinti beazonosításnak is egyeznie kell, mert ahány szám, annyiféle kimeneti feszültség karakterisztika. Ekkor jönnek a „szigszalagos” kompenzálások, melyekkel többet ártunk, mint használunk. Fontos azt is megemlítenünk, hogy kevés „kell” érték esetén meg kell vizsgálni az EGR-kör helyes működését is, hiszen kis mértékben nyitott EGR-szelep esetén a motor nemcsak a légtömegmérőn keresztül szív, hanem a méretlen visszavezetett kipufogógáz-csatornából is, ekkor az előírt légmennyiség hibádzik.



9. ábra

CZUNI ÁKOS