

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ  
Ústav elektrotechnologie

LABORATORNÍ CVIČENÍ Z PŘEDMĚTU  
VYBRANÉ PARTIE Z OBNOVITELNÝCH ZDROJŮ A  
UKLÁDÁNÍ ENERGIE (BPC-OZU)

Číslo úlohy: 4

Název úlohy: Superkondenzátory (EDLC)

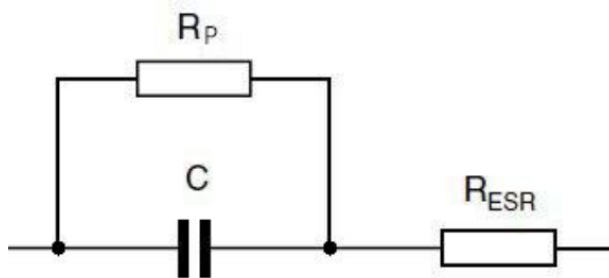
Jméno a příjmení, ID: Tomáš Vavrinec, 240893	Atmosférický tlak: 102.8 hPa	Teplota okolí: 22.7°C	Relativní vlhkost: 29.9%
Měřeno dne: 13.2.2023	Odevzdáno dne:	Ročník, stud. skupina: 2	Kontrola:
Spolupracovali: Kateřina Koudelková			

## Zadání

1. V úloze jsou použity superkondenzátory od tří různých výrobců (Eaton, Maxwell, Nichicon) se stejnou hodnotou nominální kapacity a napětí. Jejich technické listy naleznete v příloze. Vypište z technických listů a porovnejte následující parametry udávané jednotlivým výrobcem:
  - Vnitřní sériový odpor RESR
  - Maximální proud IMAX
  - Unikající proud (tzv. Leakage Current) IL
2. U vybraných superkondenzátorů změřte jejich kapacitu  $C$  pomocí vybíjecí metody a porovnejte s nominální kapacitou udávanou výrobcem.
3. U vybraných superkondenzátorů změřte hodnotu vnitřního sériového odporu RESR a porovnejte s hodnotami běžných kondenzátorů. A porovnejte s hodnotami udávanými výrobcem.
4. Změřte u vybraných superkondenzátorů velikost svodového proudu IL. Vypočtěte a do protokolu uveďte hodnotu energie uložené v superkondenzátoru pro hodnoty napětí 2.5 V, 2 V, 1 V a 0.5 V.

## Teoretický úvod a jednotlivá měření

Pro naše měření budeme předpokládat model Kondenzátoru se dvěma odpory. V ideálním případě tedy  $R_P = \infty$  a  $R_{ESR} = 0$



### Měření $R_{ESR}$

Měření sériového odporu je možné pomocí tzv. vybíjecí metody, u které k nabitému kondenzátoru připojíme zatěžovací rezistor o známém odporu  $R_{SENS}$ , který nám společně s virtuálním odporem  $R_{ESR}$  vytvoří napěťový dělič. Pokud, pak budeme tento rezistor střídavě připojovat a odpojovat, na výstupu se nám ukáže obdélníkový signál, z jehož amplitudy  $U_{AMP}$  a minimálního napětí  $U_{MIN}$  lze určit hodnotu  $R_{ESR}$ .

$$R_{ESR} = \frac{U_{AMP} \cdot R_{SENS}}{U_{MIN}}$$

## Naše měření

Každý z kondenzátoru byl nabit na  $U_{AMP} = 2.2[V]$  a zatěžovací rezistor  $R = 2[\Omega]$

	$U_{MIN}[V]$	$U_{AMP}[mV]$	$R_{ESR}[m\Omega]$	katalogová hodnota $R_{ESR}[m\Omega]$
Maxwell	2.038	162.5	159.5	$R_{ESR} < 75$
Eaton	2.040	160.0	156.9	$R_{ESR} < 34$
Nichicon	2.035	165.0	162.2	$R_{ESR} < 250$

Table 1: Změřené, vypočtené a výrobcem určené hodnoty k úkolu 1

Příklad výpočtu:

$$R_{ESR} = \frac{U_{AMP} \cdot R_{SENS}}{U_{MIN}} = \frac{162.5 \cdot 10^3 \cdot 2}{2.038} [\Omega] = 0.1595 [\Omega] = 159.5 [m\Omega]$$

Naše měření bylo buď zatíženo podstatnou chybou metody nebo je skutečný odpor kondenzátorů  $R_{ESR}$  velmi výrazně nad limity stanovenými výrobcem.

## Měření kapacity $C$

Kapacitu kondenzátoru lze změřit pomocí měření průběhu jeho napětí při jeho vybíjení známým proudem. Pro jednoduchost tedy použijeme zdroj konstantního proudu o hodnotě  $I = 1[A]$  a následně na změřeném průběhu vybereme lineární část vybíjení (tedy tu kde se kondenzátor skutečně vybíjel požadovaným proudem). Kapacitu kondenzátoru můžeme následně určit jako:

$$C = \frac{t \cdot \Delta U}{I}$$

## Naše měření

Pro všechny kondenzátory byl vybíjecí proud  $I = 1[A]$

	$\Delta U[V]$	$t[s]$	$C[F]$	katalogová hodnota $C$
Maxwell	1.00	9.48	9.48	$8 \leq C \leq 10$
Eaton	1.00	8.36	8.36	$9 \leq C \leq 13$
Nichicon	1.00	8.4	8.4	$8 \leq C \leq 12$

Table 2: Změřené, vypočtené a výrobcem určené hodnoty k úkolu 2

Příklad výpočtu:

$$C = \frac{t \cdot \Delta U}{I} = \frac{9.48 \cdot 1}{1} [F] = 9.48 [\Omega]$$

Z našeho měření kapacity plyne, že kapacita kondenzátorů je v toleranci určené výrobcem u kondenzátorů Maxwell a Nichicon, zatím co kondenzátor Eaton pravděpodobně vlivem stáří svojí kapacitu snížil pod úroveň výrobcem určeného intervalu.

## Měření paralelního odporu $R_P$

Paralelní odpor způsobuje vybíjení kondenzátoru proudem  $I_L$ . Hodnotu  $I_L$  můžeme určit z poklesu napětí na odporu, ze kterého není odebírán žádný proud za čas  $t$ .  $I_L$  tak můžeme určit jako:

$$I_L = \frac{C \cdot \Delta U}{t}$$

### Naše měření

Každý z kondenzátorů byl nabit na  $U_{AMP} = 2.2[V]$  a ponechán v nepřípojeném stavu po dobu 15 minut

	$U[V]$	$I_L[mA]$	katalogová hodnota $I_L[mA]$
Maxwell	2.144	0.590	0.030
Eaton	2.067	1.235	0.023
Nichicon	2.072	1.195	5

Table 3: Změřené, vypočtené a výrobcem určené hodnoty k úkolu 3

Příklad výpočtu:

$$I_L = \frac{C \cdot \Delta U}{t} = \frac{9.48 \cdot 0.56}{15 \cdot 60} [A] = 0.0005899 [A] = 0.5899 [mA]$$

Z našeho měření plyne, že jen kondenzátor Nichicon má hodnotu  $I_L$  v toleranci určené výrobcem zatím co u kondenzátorů Maxwell a Eaton jsme naměřili svodový proud řádově vyšší. Vzhledem k velké odchylce od katalogové hodnoty je pravděpodobné, že došlo k chybě měření.

### Závěr

	$R_{ESR}[m\Omega]$	$C[F]$	$I_L[mA]$
Maxwell	159.5	9.48	0.590
Eaton	156.9	8.36	1.235
Nichicon	162.2	8.4	1.195

Table 4: Výsledky měření

### Měření $R_{ESR}$

Naše měření bylo buď zatíženo podstatnou chybou metody nebo je skutečný odpor kondenzátorů  $R_{ESR}$  velmi výrazně nad limity stanovenými výrobcem.

### Měření kapacity $C$

Z našeho měření kapacity plyne, že kapacita kondenzátorů je v toleranci určené výrobcem u kondenzátorů Maxwell a Nichicon, zatím co kondenzátor Eaton pravděpodobně vlivem stáří svojí kapacitu snížil pod úroveň výrobcem určeného intervalu.

### Měření paralelního odporu $R_P$

Z našeho měření plyne že jen kondenzátor Nichicon má hodnotu  $I_L$  v toleranci určené výrobcem zatím co u kondenzátorů Maxwell a Eaton jsme naměřili svodový proud řádově vyšší. Vzhledem k velké odchylce od katalogové hodnoty je pravděpodobné, že došlo k chybě měření.