

MENGANALISIS KEMAMPUAN SUPERKAPASITOR UNTUK MENYIMPAN
VOLTAN ELEKTRIK LEMAH

SEE MEI MEI

DISERTASI YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI
SEBAHAGIAN DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH
SARJANA MUDA SAINS DENGAN KEPUJIAN

PERPUSTAKAAN
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

PROGRAM FIZIK DENGAN ELEKTRONIK
SEKOLAH SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

2007



UMS
UNIVERSITI MALAYSIA SABAH

BORANG PENGESAHAN STATUS TESIS@

JUDUL: Menganalisis Kemampuan Superkapasitor Untuk Menyimpan Voltan Elektrik Lemah

Ijazah: Sarjana Muda Sains dengan Kepujian (HS22 Fizik Dengan Elektronik)

SESI PENGAJIAN: 2004/2005

Saya SEE MEI MEI
(HURUF BESAR)

mengaku membenarkan tesis (LPS/Sarjana/Doktor Falsafah)* ini disimpan di Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dengan syarat-syarat kegunaan seperti berikut:

1. Tesis adalah hakmilik Universiti Malaysia Sabah.
2. Perpustakaan Universiti Malaysia Sabah dibenarkan membuat salinan untuk tujuan pengajian sahaja.
3. Perpustakaan dibenarkan membuat salinan tesis ini sebagai bahan pertukaran antara institusi pengajian tinggi.
4. **Sila tandakan (/)

SULIT

(Mengandungi maklumat yang berdarjah keselamatan atau kepentingan Malaysia seperti yang termaktub di dalam AKTA RAHSIA RASMI 1972)

TERHAD

(Mengandungi maklumat TERHAD yang telah ditentukan oleh organisasi/badan di mana penyelidikan dijalankan)

TIDAK TERHAD

See Mei Mei

(TANDATANGAN PENULIS)

Disahkan oleh

Encik Alvie Lo Sin Voi

(TANDATANGAN PUSTAKAWAN)

Alamat Tetap: 40, Kampung Baru, 28380 Kemayan,

Pahang Darul Makmur 841020-06-5706

Encik Alvie Lo Sin Voi

Nama Penyelia

Tarikh: 24.04.2007

Tarikh: 24.04.2007

CATATAN: * Potong yang tidak berkenaan.

** Jika tesis ini SULIT atau TERHAD, sila lampirkan surat daripada pihak berkuasa/organisasi berkenaan dengan menyatakan sekali sebab dan tempoh tesis ini perlu dikelaskan sebagai SULIT dan TERHAD.

@ Tesis dimaksudkan sebagai tesis bagi Ijazah Doktor Falsafah dan Sarjana secara penyelidikan, atau disertasi bagi pengajian secara kerja kursus dan penyelidikan, atau Laporan Projek Sarjana Muda (LPSM).



PENAKUAN

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah dijelaskan sumbernya.

20 April 2007



SEE MEI MEI

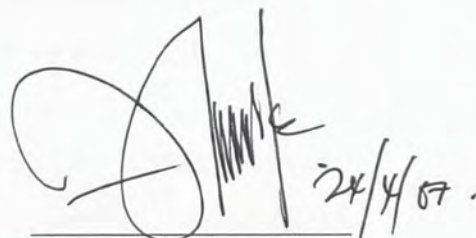
HS 2004-1893



DIPERAKUKAN OLEH

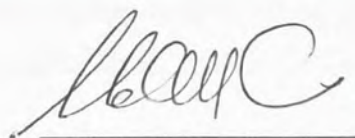
Tandatangan

1. PENYELIA
(En. Alvie Lo Sin Voi)

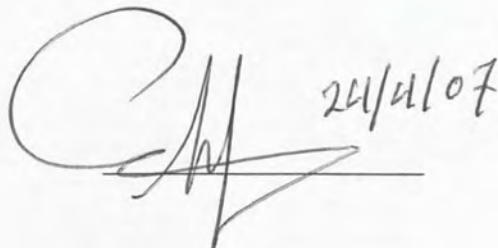


24/4/07

2. PEMERIKSA 1
(Prof. Madya Dr. Abdullah Chik)



3. PEMERIKSA 2
(Dr. Haider F. Abdul Amir)



24/4/07

4. DEKAN
(SUPT./KS. Prof. Madya Dr. Shariff A.K. Omang)



PENGHARGAAN

Di sini saya ingin mengambil kesempatan untuk merakamkan penghargaan dan ucapan terima kasih yang tidak terhingga kepada penyelia projek En. Alvie Lo Sin Voi yang dengan seikhlas hati telah memberikan tunjuk ajar serta bantuan kepada saya dalam menyiapkan projek ini. Terima kasih juga saya ucapkan kepada semua pensyarah Fizik dengan Elektronik yang terlibat secara langsung ataupun tidak.

Penghargaan dan ucapan terima kasih ini juga ditujukan kepada pembantu makmal Sekolah Sains dan Teknologi iaitu En. Abdul Rahim dan En. Ahmad Manik yang telah membantu dari segi penyediaan peralatan ujikaji.

Akhir sekali, saya ingin bersyukur kerana dapat menyiapkan projek ini serta mengucapkan seribu terima kasih kepada ahli keluarga dan kawan yang telah memberi sokongan kepada saya.



ABSTRAK

Kajian ini dilakukan bertujuan untuk menganalisis kemampuan superkapasitor untuk menyimpan voltan elektrik lemah. Dua sumber voltan elektrik lemah yang digunakan untuk mengecas superkapasitor ialah sel suria dan buah-buahan. Empat jenis buah iaitu epal, lemon, oren dan pisang telah digunakan untuk mengecas superkapasitor dalam sambungan litar selari dan bersiri. Julat voltan elektrik lemah yang digunakan ialah 0.5V hingga 3.0V. Jam randik telah digunakan dalam kajian ini untuk mencatatkan masa. Tiga unit berbeza superkapasitor yang telah dikaji dalam projek ini iaitu, 0.47F, 1F dan 3.3F. Selain itu, kapasitor telah dibandingkan dengan superkapasitor. Hasil kajian ialah voltan elektrik yang dihasilkan oleh sel suria adalah lebih kuat berbanding dengan buah-buahan. Kadar pengecasan kapasitor adalah lebih tinggi berbanding superkapasitor tetapi kadar nyahcas superkapasitor adalah lebih rendah berbanding dengan kapasitor. Kesimpulannya, superkapasitor mampu menyimpan voltan elektrik lemah daripada sumber sel suria dan buah-buahan. Kemampuan superkapasitor menyimpan voltan elektrik lemah adalah bergantung kepada jenis sumber voltan.



ANALYZE CAPABILITY SUPERCAPACITOR FOR STORE WEAK ELECTRIC VOLTAGE

ABSTRACT

The purpose of this experiment is to analyze the capability of supercapacitors for store weak electric voltage. Two source of weak electric voltage were used to charge the supercapacitors. The two source of weak electric voltage are solar cell and fruits. The range of weak voltage has been used is between 0.5V until 3.0V. Stopwatch has been used for this experiment to measure the time. This experiment involves three types unit of supercapacitor 0.47F, 1F and 3.3F. In addition, capacitors have been compared with supercapacitor. As a result, the voltage produce by solar cell is stronger than fruits voltage. The charging rate of capacitor is higher than the charging rate of supercapacitor but the discharging rate of supercapacitors are lower than discharging rate of capacitors. As a conclusion, supercapacitors have capability to store weak electric voltage from solar cell and fruits. Capabilities of supercapacitors for store the weak electric voltage are depend to the type of voltage electric source.



KANDUNGAN

	Muka Surat
PENGAKUAN	ii
PENGESAHAN	iii
PENGHARGAAN	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KANDUNGAN	vii
SENARAI JADUAL	ix
SENARAI RAJAH	x
SENARAI FOTO	xi
SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 SUPERKAPASITOR	1
1.2 OBJEKTIF KAJIAN	4
1.3 SKOP KAJIAN	4
BAB 2 KAJIAN PERPUSTAKAAN	6
2.1 SUPERKAPASITOR DAN CIRI-CIRINYA	6
2.2 APLIKASI SUPERKAPASITOR	9
2.3 KONSEP OPERASI SUPERKAPASITOR	12
2.4 CAS DAN NYAHCAS SUPERKAPATOR	15
2.4.1 Mengecas	15
2.4.2 Nyahecas	17
2.5 MODEL SUPERKAPASITOR	18
2.6 VOLTAN ELEKTRIK LEMAH	19
BAB 3 METODOLOGI KAJIAN	20
3.1 Pengenalan	20
3.2 PERALATAN KAJIAN	20
3.3 KAEDAH KAJIAN	22



3.3.1	Langkah-langkah semasa kajian pertama dijalankan	25
3.3.2	Langkah-langkah semasa kajian kedua dijalankan	26
3.3.3	Langkah-langkah semasa kajian ketiga dijalankan	28
BAB 4	DATA DAN PERBINCANGAN	31
4.1	PENGENALAN	31
4.2	ANALISIS DATA DAN PERBINCANGAN PERINGKAT PERTAMA	32
4.3	ANALISIS DATA DAN PERBINCANGAN PERINGKAT KEDUA	33
4.4	ANALISIS DATA DAN PERBINCANGAN PERINGKAT KETIGA	37
4.5	ANALISIS DATA DAN PERBINCANGAN PERINGKAT KEEMPAT	39
4.5.1	Menentukan nilai pemalar masa melalui graf dan teori	39
4.5.2	Perbincangan	41
BAB 5	KESIMPULAN DAN CADANGAN	42
5.1	KESIMPULAN	42
5.2	CADANGAN	44
	RUJUKAN	45
	LAMPIRAN	
	Lampiran A: Jadual bagi litar pengecasan dan penyahcasan kapasitor dan superkapasitor	47
	Lampiran B: Graf bagi litar pengecasan litar kapasitor dan superkapasitor pada nilai perintang yang berbeza	60



SENARAI JADUAL

No. Jadual		Muka Surat
2.1	Perbandingan antara superkapasitor, kapasitor biasa dan bateri	8
2.2	Ciri-ciri superkapasitor	9
4.1	Nilai pemalar masa yang dikira daripada graf Lampiran B dan daripada teori	40

SENARAI RAJAH

No. Rajah	Muka Surat	
1.1	Bentuk ciptaan superkapasitor oleh General Electric	2
1.2	Suatu alat menyimpan tenaga elektrolit yang dicipta oleh SOHIO	3
2.1	Densiti tenaga melawan densiti kuasa	8
2.2	Kenderaan elektrik keretaapi yang menggunakan fuel sel dan superkapasitor	10
2.1	Mekanisme proses mengecas superkapasitor	13
2.2	Arus dan voltan apabila superkapasitor dicaskan	15
2.3	Arus dan voltan apabila superkapasitor dinyahcaskan	17
2.4	Model pertama superkapasitor	18
2.5	Model pertama apabila R_p dan L diabaikan	19
3.1	Lakaran litar penyambungan sel suria dengan superkapasitor	25
3.2	Lakaran litar penyambungan 3 biji lemon secara selari untuk mengecas superkapasitor	27
3.3	Lakaran litar penyambungan 3 biji pisang secara bersiri untuk mengecas superkapasitor	28
3.4	Lakaran ringkas penyambungan litar kapasitor dengan osiloskop dan penjana fungsi	29
4.1	Graf voltan melawan masa bagi superkapasitor 0.47F, 1F dan 3.3F	32
4.2	Graf pengecasan superkapasitor oleh empat jenis buah litar selari	33
4.3	Graf pengecasan kapasitor oleh empat jenis buah litar selari	34
4.4	Graf pengecasan superkapasitor oleh empat jenis buah litar bersiri	35
4.5	Graf pengecasan kapasitor oleh empat jenis buah litar bersiri	36
4.6	Graf penyahcasan superkapasitor	37
4.7	Graf penyahcasan kapasitor	38
4.8	Contoh graf voltan melawan masa bagi litar pengecasan kapasitor	39



SENARAI FOTO

No. Foto	Muka Surat
2.1 Pelbagai bentuk dan saiz sel superkapasitor di pasaran	6
3.1 Sebahagian daripada peralatan yang digunakan: (a) osiloskop (b) penjana fungsi (c) superkapasitor (d) sel suria (e) lemon yang dicucuk kuprum dan zink	21
3.2 Penyambungan sel suria dengan superkapasitor semasa kajian pertama dijalankan	23
3.3 Penyambungan litar selari buah-buahan dengan superkapasitor semasa kajian kedua dijalankan	24
3.4 Penyambungan litar bersiri buah-buahan dengan kapasitor semasa kajian kedua dijalankan	24
3.5 Penyambungan peralatan dengan litar kapasitor sewaktu kajian ketiga dijalankan	25



SENARAI SIMBOL DAN SINGKATAN

C	kapasitans
Q	cas
V	keupayaan elektrik
I	arus
R	rintangan
F	Farad
D	jarak pemisahan di antara dua plat selari
A	luas permukaan plat
d.g.e	daya gerak elektrik
Φ	fluks
ϵ	ketelusan ruang relatif
ϵ_0	ketelusan ruang vakum
m	meter
Ω	ohm
τ	pemalar masa
π	3.142
S	suis
U	tenaga keupayaan
t	masa
J	joule
W	watt
δ	jarak di antara dua lapisan



BAB 1

PENDAHULUAN

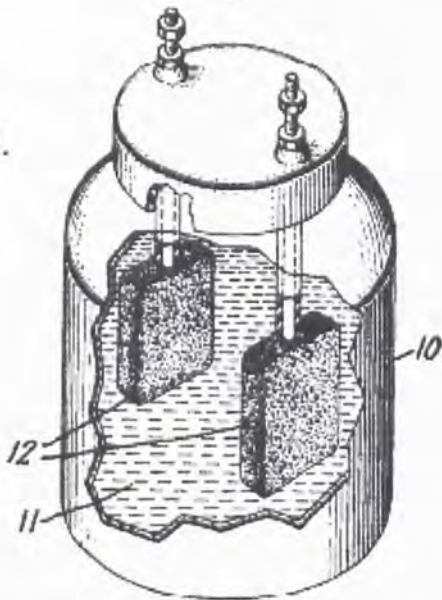
1.1 SUPERKAPASITOR

Superkapasitor juga dikenali sebagai ultrakapasitor, elektrokimia kapasitor dan kapasitor palsu (pseudocapacitor). Superkapasitor merupakan suatu kapasitor yang boleh menyimpan jumlah cas yang banyak dibandingkan dengan saiznya apabila dibandingkan dengan kapasitor yang biasa. Superkapasitor tidak mengalirkan arus sebaliknya menyimpan arus elektrik seperti kapasitor biasa. Tetapi, terdapat perbezaan di antara superkapasitor dengan kapasitor dari pelbagai segi yang lain. Bentuk superkapasitor biasanya adalah lebih besar berbanding dengan kapasitor. Walaubagaimanapun, terdapat berbagai jenis superkapasitor yang boleh diperolehi di pasaran dalam beraneka bentuk. Superkapasitor mempunyai nilai kapasitans dalam unit Farad manakala kapasitans untuk kapasitor biasanya dalam bentuk unit mikrofrad sahaja.

Superkapasitor pertama yang berdasarkan mekanisme dua lapisan diperkenalkan oleh General Electronics pada tahun 1957 dengan menggunakan elektrod karbon ditunjukkan oleh Rajah 1.1.

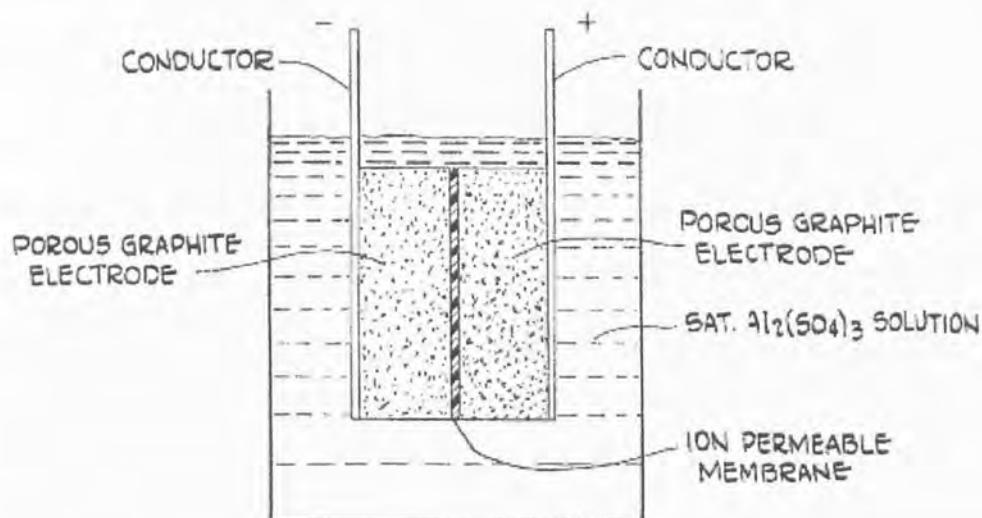


Fig. 1.



Rajah 1.1 Bentuk ciptaan superkapasitor oleh General Electric

Pada masa itu, superkapasitor dikenali sebagai kapasitor elektrolit voltan rendah. Mereka percaya bahawa tenaga adalah disimpan dalam liang karbon dan ia akan menghasilkan kapasitans luar biasa tinggi walaupun pada masa itu mekanisme superkapasitor masih tidak diketahui. Pada tahun 1969, The Standard Oil Company, Cleveland, Ohio (SOHIO) mencipta suatu alat yang menyimpan tenaga di permukaan dua lapisan. Pada masa itu, SOHIO mengakui bahawa “the double layer” di permukaan bertindak laku seperti kapasitor dengan mempunyai spesifik kapasiti yang tinggi. Pada tahun 1970, SOHIO mencipta lagi kapasitor yang berbentuk disk dengan menggunakan perekat karbon yang direndam di dalam elektrolit dan ditunjukkan oleh Rajah 1.2.



Rajah 1.2 Suatu alat menyimpan tenaga elektrolit yang dicipta oleh SOHIO

Walaupun bagaimanapun, SOHIO telah memberikan lesen dan perkembangan teknologi ini pada masa hadapan kepada NEC pada tahun 1971. Seterusnya, NEC telah berjaya menghasilkan kapasitor dua lapisan komersil yang pertama dengan nama “supercapacitor”.

Pada tahun 1971, Transatti dan Buzzanca menyatakan bahawa sifat mengemas secara elektrokimia bagi filem ruthenium dioksida adalah serupa kapasitor. Maka pada tahun 1975-1980, mereka telah mengkaji asas dan perkembangan kerja secara luas ke atas jenis kapasitor elektrokimia jenis ruthenium oksida di bawah kontrak dengan Continental Group Inc. Pada tahun 1980 pula, terdapat beberapa syarikat telah menghasilkan kapasitor elektrokimia. Sejak 1978, Matsushita Electric Industrial Co juga dikenali sebagai Panasonic telah mengembangkan “Gold capacitor”. Pada tahun 1987, ELNA telah mula menghasilkan kapasitor jenis dua lapis di bawah nama Dynacap.

Superkapasitor berkuasa tinggi yang pertama diperkenalkan oleh PRI. “PRI Ultracapacitor” ini telah berkembang sejak 1982, dengan elektrod metal oksida dan dicipta untuk aplikasi tentera seperti senjata jenis laser dan system peluru berpandu bimbingan. Ini menyebabkan tercetus penggunaan superkapasitor oleh United States Department of Energy (DoE) dalam kenderaan elektrik hybrid. Seterusnya dikembangkan oleh DoE Ultracapacitor Development Program di Maxwell Laboratories pada tahun 1992.

1.1 OBJEKTIF KAJIAN

Superkapasitor sentiasa dianggap mempunyai ciri-ciri di antara kapasitor dan bateri. Bateri tidak dapat dicaskan dengan sumber voltan yang lemah. Kapasitor boleh dicas dengan sumber voltan elektrik lemah tetapi kadar nyahcas ia adalah cepat. Objektif kajian ini adalah mengkaji pengecasan superkapasitor dengan sumber voltan elektrik lemah iaitu sel suria dan buah-buahan. Julat voltan yang dihasilkan oleh sumber voltan lemah untuk mengecas superkapasitor ialah 0.5V-3.0V. Perbandingan penyahcasan superkapasitor dengan kapasitor serta memperolehi nilai pemalar masa pengecasan superkapasitor dan kapasitor.

1.2 SKOP KAJIAN

Kajian ini telah memilih tiga jenis unit superkapasitor iaitu 0.47F-5.5V, 1F-5.5V dan 3.3F-2.3V serta tiga jenis unit kapasitor iaitu 10 μ F, 220 μ F dan 470 μ F untuk dikaji.



Sumber voltan elektrik lemah yang digunakan dalam kajian ini adalah sel suria dan buah-buahan. Empat jenis buah-buahan yang digunakan ialah epal, lemon, oren dan pisang. Julat voltan elektrik lemah yang digunakan untuk mengecas superkapasitor dan kapasitor ialah 0.5V-3.0V.

BAB 2

KAJIAN PERPUSTAKAAN

2.1 SUPERKAPASITOR DAN CIRI-CIRINYA

Superkapasitor boleh diperolehi di pasaran dalam bentuk sel ataupun elektrolisis. Terdapat pelbagai jenis dan bentuk superkapasitor yang dijual di pasaran dengan saiz yang berbeza-beza dan bergantung kepada nilai kapasitansnya. Foto 2.1 di bawah menunjukkan sebahagian daripada bentuk dan saiz bagi sel superkapasitor.



Foto 2.1 Pelbagai saiz dan bentuk sel superkapasitor di pasaran

Superkapasitor mempunyai nilai kapasitans dalam julat 0.05F kepada 5000F. Saiz bagi superkapasitor boleh dikategorikan kepada dua iaitu: bawah 100F dan atas 100F. Bagi superkapasitor di bawah nilai 100F digunakan penting oleh pengguna elektronik. Kapasitor jenis ini telah diketahui sejak 20 tahun yang lalu. Bagi kapasitor yang mempunyai nilai kapasitans lebih 100F adalah jenis kapasitor yang terbaru. Superkapasitor adalah suatu alat menyimpan tenaga yang mempunyai ciri bagi bateri dan kapasitor biasa. Superkapasitor mempunyai nilai voltan yang tinggi iaitu melebihi 100V. Superkapasitor boleh menghasilkan 20-200 kali nilai kapasitans berbanding dengan kapasitor biasa. Superkapasitor boleh membekalkan kuasa semasa pecutan kenderaan dan menangkap tenaga semasa menjanakan brek. Jika berbanding dengan bateri, superkapasitor mencapai densiti kuasa yang tinggi tetapi densiti tenaga yang rendah. Didapati, densiti kuasa bagi superkapasitor adalah 6 kali banyak daripada bateri. Manakala tenaga densiti superkapasitor boleh kurang sebanyak 30 kali berbanding dengan bateri. Salah satu ciri superkapasitor adalah mempunyai jangka hayat yang lama dan boleh digunakan secara berulang. Superkapasitor mempunyai impedans yang rendah apabila disambung secara selari dengan bateri. Cara mengecap superkapasitor adalah ringkas dan tidak membahayakan apabila dicas berlebihan. Jika superkapasitor dicas berlebihan ia hanya akan memendekkan jangka hayatnya sahaja. Suhu operasi superkapasitor adalah dalam julat -20°C hingga 70°C . Rajah 2.1 menunjukkan densiti tenaga melawan densiti kuasa bagi superkapasitor, kapasitor dan bateri.



Jadual 2.2 Ciri-ciri superkapasitor

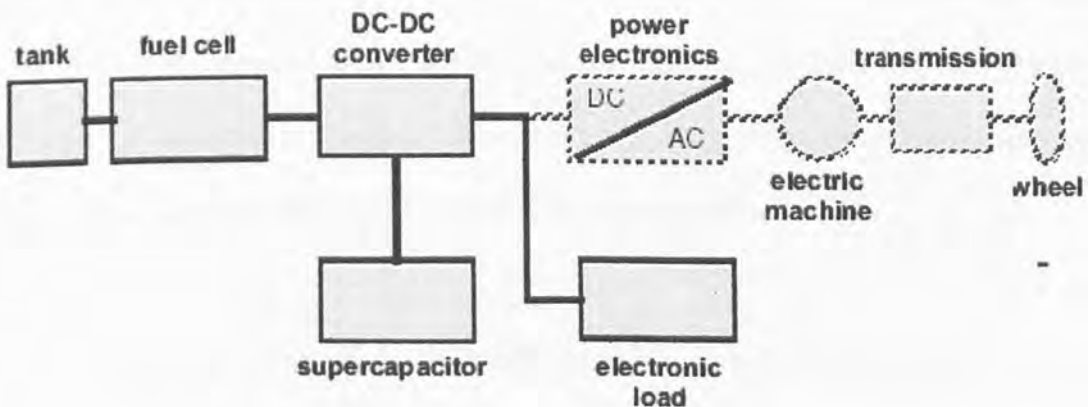
Ciri	Julat
Tahap voltan (V)	50-100V
Arus (I)	100-300A
Tempoh denyutan (Δt)	1.0ms-saat
Kapasitans	1-10F
Densiti kuasa (KW/L)	5-180
Densiti tenaga(KJ/L)	0.5-0.6
ESR	20-30
Suhu	-20°C hingga +60°C

2.2 APLIKASI SUPERKAPASITOR

Superkapasitor merupakan alat elektrik baru dan masih tidak digunakan secara meluas. Sejak akhir ini, aplikasi superkapasitor telah dikembangkan disebabkan kemajuan yang terdapat dalam superkapasitor berdasarkan kepada densiti tenaga dan kuasa. Aplikasi utama superkapasitor ialah memori “backup”. Superkapasitor telah lama digunakan sebagai alat bekalan “backup” dalam jangka masa yang pendek. Banyak peralatan sekarang mengabungkan komponen digital dengan memori. Ini adalah untuk mengelakkan kehilangan maklumat simpanan apabila berlakunya gangguan bekalan kuasa. Dalam situasi ini, superkapasitor boleh berperanan sebagai bekalan kuasa untuk

tempoh yang pendek dengan menyimpan maklumat tersebut. Alternatif biasa dalam aplikasi ini ialah bateri. Bateri biasanya tidak mempunyai jangka hayat yang panjang dan perlu diganti baru secara tetap. Dalam aplikasi ini, kos untuk peralatan telah direndahkan.

Salah satu aplikasi superkapasitor digunakan dalam kenderaan elektrik. Penyelidikan penggunaan superkapasitor untuk kenderaan elektrik telah mendapat tumpuan yang banyak di bidang teknologi. Kenderaan elektrik mengalami masalah efisien tenaga semasa berbrek. Banyak sumber kuasa telah dipertimbangkan untuk mengatasi masalah ini tetapi masih tidak memenuhi keperluan kuasa semasa memecut. Masalah ini diatasi dengan teknologi gabungan fuel sel dan superkapasitor ditunjukkan Rajah 2.2.



Rajah 2.2 Kenderaan eletrik keretaapi yang menggunakan fuel sel dan superkapasitor

Selain itu, superkapasitor juga digunakan dalam aplikasi kualiti kuasa. Superkapasitor digunakan sebagai alat menyimpan tenaga suatu sistem untuk meningkatkan kualiti dan

kebolehan pengagihan kuasa. Pemeluwap statik (Statcons) dan pemulih voltan dinamik (DVR) adalah sistem yang bertujuan untuk menyerap kuasa daripada litar pengagihan dengan mengantirugikan voltan turun naik. Oleh itu, terdapat sistem yang memerlukan suatu alat menyimpan tenaga DC jenis untuk menyimpan dan mengguna tenaga. Kesan lama gangguan voltan bergantung kepada tenaga densti alat menyimpan tenaga DC. Superkapasitor bertindak balas pantas terhadap gangguan voltan kerana mempunyai masa menyahcas yang cepat. Didapati bateri adalah tidak sesuai dalam aplikasi tersebut.

Banyak alat elektronik mudah alih seperti mikrokomputer riba dan telefon bimbit mengabungkan bateri sebagai pembekal kuasa. Alat ini banyak menggunakan kuasa dan arus tinggi dan merendahkan kecekpan bateri. Masalah ini diatasi dengan gabungan bateri da superkapasitor. Superkapasitor boleh menggantikan bateri untuk memenuhi keperluan kuasa puncak. Ini dapat memanjangkan jangka hayat bateri. Banyak alat elektronik mempunyai litar pramasa tutup untuk mencegah kehilangan kuasa. Suatu pembekal voltan bising boleh mencetuskan litar tutup tersebut. Superkapasitor boleh mencegah pramasa tutup dengan mengurangkan kehadiran voltan tidak tetap.

Superkapasitor juga digunakan untuk mengasingkan kuasa daripada sumber boleh diperbaharui. Pembekal kuasa terasing diperolehi tenaga simpanan daripada sumber sela seperti angin dan solar. Pembekal kuasa solar sel dikitar setiap hari, dan kitaran berterusan ini membawa kesan buruk kepada bateri oleh itu, bateri hendak digantikan setiap 3-7 tahun. Manakala, superkapasitor boleh menahan kitaran cas dan nyahcas yang banyak tanpa hilang kecekapan penting dan hanya digantikan setiap 20 tahun iaitu



RUJUKAN

- Conway, B. E., 1999. *Electrochemical Supercapacitors: Scientific Fundamental and Technologies Applications*. Kluwer Academic/ Plenum Publishers.
- Schuler, C. A., Fowler, R. J. dan Helsel, J.D., 1993. *Electric Circuit Analysis*. McGraw-Hill International.
- Meade, R. L., 1994. *Foundation of Electronics Circuits and Devices*. Delmar Publishers, Inc.
- Floyd, T. L., 1996. *Electronic Devices Electron Flow Version*. Ed. ke-2. Prentice Hall.
- Horn, D. T., 1993. *Basic Electricity and Electronic*. McGraw-Hill International Editions.
- Doebelin, E.O., 1990. *Measurement Systems : Application and Design*. Ed. ke-4. McGraw-Hill, New York.
- Halliday, D., Resnick, R. dan Walker, J., 2001. *Fundamentals of Physics*. Ed. ke-6. John Wiley & Sons, New York.
- Fowler, R. J., 1994. *Electricity Principle and Applications*. Ed. ke-4. McGraw-Hill.
- Bentley, P.B., 1995. *Principle of Measurement Systems*. Ed. ke-3. Longman Scientific & Technical, Essex, England.
- Hill, J. W. dan Petrucci, R. H., 2002. *General Chemistry An Integrated Approach*. Ed. ke-3. Prentice Hall.
- Spencer, J. N., Bodner, G. M. dan Rickard, L. H., 2003. *Chemistry Structure and*



Dynamics. Ed. ke-2. John Wiley & Sons.

Rujukan internet 1. *A Survey of Electrochemical Supercapacitor Technology*.

http://services.eng.uts.edu.au/cempe/subject_JGZ/eet/capstone%20thesis_AN.pdf

Rujukan internet 2. *Storage Technology*.

<http://www.supercaps.pdf>

Rujukan internet 3. *Transient Analysis of Pulsed Charging in Supercapacitor*.

<http://ieeexplore.iee.org/iel5/7129/19251/00892249.pdf>

Rujukan internet 4. *Batteries or Supercapacitor as energy storage in HEVs*.

http://www.iea.lth.se/publications/MS-Thesis/5194_full_document.pdf

Rujukan internet 5. *Electrochemistry*.

<http://inc2.umeche.maine.edu/electrochem2.htm>

Rujukan internet 6. *Charging and Discharging Capacitor*.

http://www.iop.org/our_Activities/Schools_and_colleges/Teaching_Resources/Teaching_Resources/Teaching%20Advanced%20Physics/Electricity/Capacitor/file_3305.doc

<http://en.wikipedia.org/wiki/Supercapacitor>

