

電気二重層コンデンサを用いたモータ電力回生蓄電システム

Regenerated Power Storage System using Electric Double Layer Capacitors

阿部 茂 (大学院理工学研究科 教授)

Shigeru Abe (Graduate School of Science and Engineering)

1 まえがき

地球温暖化防止のための省エネ技術の中でも、ハイブリッド自動車のように、減速時に運動エネルギーをモータで回生し蓄電装置に蓄え、再び加速時に利用する省エネ技術は応用分野が広い。現在は二次電池を用いる方式が主流である。本研究ではエレベータのように頻繁に力行回生を繰り返す用途では、電気二重層コンデンサ(EDLC)を用いる新方式の方が省エネ率、長寿命など点で優れていることを示す。新方式の特長は、(1)DCDC コンバータと充放電制御が不要で、高効率かつ簡素な主回路構成、(2)低内部抵抗 EDLC 採用による従来比約 2 倍の省エネ性能、(3)分圧抵抗による安価な EDLC 電圧バランス回路である。

2 電力回生蓄電システム

システム構成を図 1 に示す。主回路の特長は、EDLC を直接直流母線に接続し、充放電で電圧 V が変化する特性を逆に利用して充放電制御を行う点にある。回生運転時は EDLC の電圧 V が最大電圧 V_H 以下の間は EDLC が充電され、 V_H 以上では従来通り制動抵抗を動作させる。力行運転時は電圧 V が交流電源の整流電圧 (最低電圧) V_L 以上の間は EDLC から電力を供給し、 V_L 以下になれば、交流電源から電力が供給される。

従来の二次電池蓄電方式では、直流母線と二次電池間に DCDC コンバータを入れて充放電制御を行っていたが、新方式ではコンバータも制御も不要となる。

3 必要な EDLC 容量

一般的な 9 人乗り住宅用エレベータが空車で 12m 上昇 (回生)、下降 (力行) した時の電力特性を図 2 の P に示す。空車のかごが 1 階と最上階との間を往復する間の位置エネルギー変化と同じ容量の EDLC を設置すれば、使用電力の平準化が可能となる。7 階建てのビルで EDLC の最低電圧 $V_L=270V$ 、最大電圧 $V_H=380V$ とすれば、必要容量は約 $C=1F$ となる。

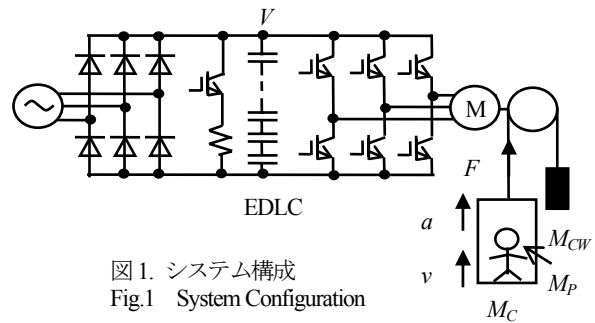
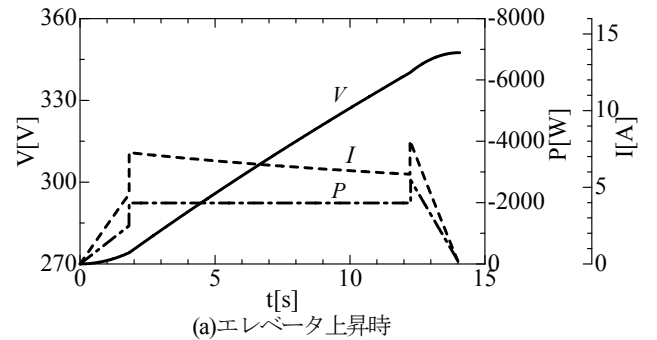
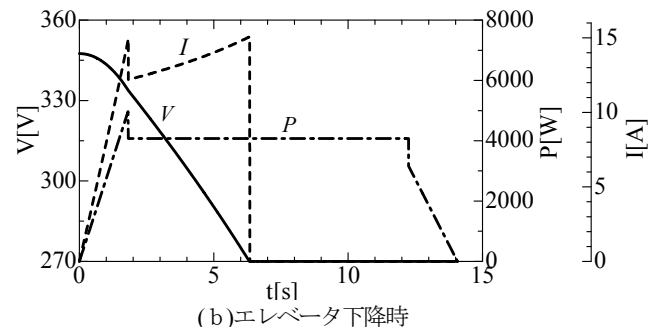


図 1 システム構成
Fig.1 System Configuration



(a)エレベータ上昇時



(b)エレベータ下降時

図 2 EDLC の電圧変化
Fig.2 EDLC voltage change

4 EDLC の充放電効率

新方式は EDLC の大出力特性を利用するため、充放電電流が大きく、EDLC の内部抵抗に注意を要する。エレベータが空車で 12m 上昇、下降した場合の EDLC の電圧変化を図 2 の V に示す。低内部抵抗 (1 Ω F) の EDLC を用いれば充放電効率 $\eta=94\%$ となり、従来の NiMH 電池の 84% に比べ大幅な省エネが可能であることが分かった。しかし一般的な内部抵抗 (3 Ω F) の EDLC では $\eta=80\%$ となり、EDLC 容量を増やす必要のあることが分かった (容量を 3 倍にすれば $\eta=94\%$ となる)。

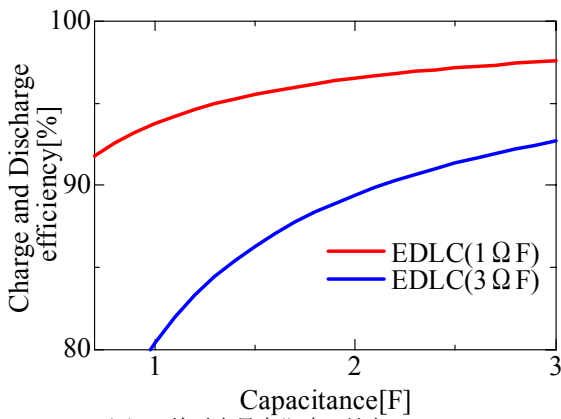


図3 静電容量変化時の効率
Fig3. Efficiency of capacitance change

5 EDLCの電圧バランス回路

1個のEDLCは耐電圧が2.5Vと低いため3章の仕様を満たすには約200FのEDLCを170個直列接続する必要がある。各EDLCの電圧が均一でないと全体電圧を270V~380Vと変化させられないため、電圧バランス回路が必要となる。各EDLCの電圧をモニタし過電圧になると抵抗に放電させる電圧モニタ回路があるが170個必要で高価となる。新方式では毎日約200~300回の充放電回数となるため、安価な分圧抵抗で電圧均一化可能と考えられる。しかし分圧抵抗の場合、省エネ率への影響が十分小さくなければならない。

6 分圧抵抗の決定法

直列のEDLCは十分時間が経過すると各コンデンサの電圧は漏れ抵抗と分圧抵抗Rだけで決まるので、内部抵抗は無視し、図4(b)の回路で考えることができる。

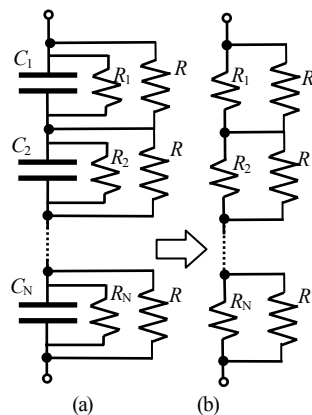


図4 EDLCのモデル
Fig4 Model of EDLC circuit.

直列数 N 、漏れ抵抗 R_i ($i=1\sim N$ …基準値 R_0)、分圧抵抗 R (ばらつき 0)、定格電圧 V (標準値 $V=2.5V$)、電圧ダイレティング係数 d (標準値 $d=0.9$)とする。 d は直列EDLCを最大電圧 $d \times NV$ [V]で使うことを意味する。

漏れ抵抗のばらつきを $\pm x\%$ とすると分圧抵抗 R は

$$R < \frac{(1-x^2)(1-d)}{d-1+x(d+1)} R_0 \dots (1)$$

と選ぶ必要がある。

7 分圧抵抗の省エネ率への影響

EDLC蓄電式エレベータ(住宅用・オフィス用)における分圧抵抗の省エネ率への影響を1日のエレベータの走行・電力シミュレーションにより求めた。EDLCは $C=240F$ ($R_{in}=4m\Omega$ 、 $R_0=8k\Omega$)を170セル直列接続した。分圧抵抗は余裕を見て(1)式から $R=300\Omega$ とした。

省エネ率 $= 1 - (\text{回生有の消費電力}) / (\text{回生無の消費電力})$ とすれば、1日の省エネ率の変動(分圧抵抗有り)は図5のようになる。省エネ率の1日の平均は分圧抵抗の有と無で41.7%と42.4%(住宅用)、42.2%と42.7%(オフィス用)となり、分圧抵抗の省エネ率への影響は極めて少ない。また直列EDLCの容量を変えた場合の省エネ率を図6に示す。1.2F以上は不要である。

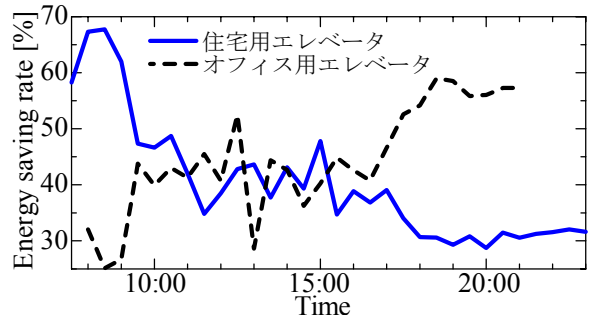


図5 省エネ率の一日の変動
Fig.5 Energy saving rate during one day operation.

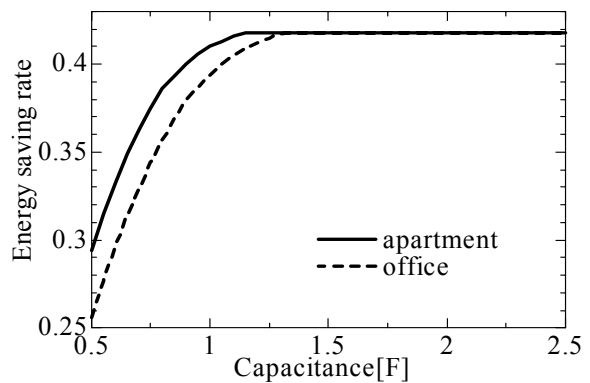


図6 直列EDLC容量と省エネ率の関係

Fig.6 Relationship between capacitance and energy saving rate.

8 まとめ

頻繁に力行回生を繰り返す用途では、EDLCを用いたモータ電力回生蓄電システムが有効であることを示し、提案方式で重要な点を具体的に述べた。

9 参考文献

- (1) 岩田・峯村・八代・金子・阿部、日本機械学会 TRANSLOG2006, S3-2 3215(2006)
- (2) 八代・峯村・金子・阿部、平19電全大4-020
- (3) 峯村・八代・金子・阿部、平19電全大4-018